THE WORLD SCIENCE CONGRESSES

WOSCON

4. ULUSLARARASI PRİZREN BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ

KONGRE KİTABI

29-30 AĞUSTOS 2026

KOSOVA

www.wosconkongreleri.com

4. INTERNATIONAL PRIZREN SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS CONGRESS BOOK

29–30 August 2026, KOSOVA

EDITOR
Assoc. Prof. Dr. Davut ATILGAN

10.09.2026

by BILSEL PUBLISHING

ISBN: '978-625-8531-63-3'

All rights of this book belong to BILSEL PUBLISHING.
The book is not intended for commercial profit.
It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Bu kitabın tüm hakları BİLSEL YAYINCILIK yayınevine aittir.
Kitap ticari bir kar amacı gütmemektedir.
Yayın etiği kurallarına uymak yazarın sorumluluğundadır.

https://www.wosconkongreleri.com/

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law.

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

4. INTERNATIONAL PRIZREN SCIENTIFIC RESEARCH

AND INNOVATION CONGRESS

DATE and PLACE

29–30 August, KOSOVA

ORGANIZATION

Bilgiseli Uluslararası Bilimsel

Araştırmalar Strateji Geliştirme

Kongre ve Org.Hizm.Tic.Ltd.Şti

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman of the Organizing Committee

Assoc. Prof. Dr. Davut ATILGAN

University Academician Representative

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

PARTICIPANTS COUNTRY

Türkiye/ Ukrania-Algeria-Iran-Nigeria-Azerbaijan-Bulgaria

Benin-Pakistan-Jordan-Dubai-Romania

United Arab Emirates-North Macedonia

CONGRESS ORGANIZING COMMITTEE MEMBERS

Prof. Habil. Dr. Laura Diaconu Maxim,

Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania

Prof. Dr. Marinescu Valentina

University of Bucharest,Romania

Prof. Dr. Khiari Reguia,

Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA) Omar El

BERNAOUI, Algeria

Prof. Dr. Abdelkarim BOUA

Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Prof. Dr. Froilan D. Mobo,

Philippine Merchant Marine Academy

Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,

Prof. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Prof. Dr. Perihan ÜNÜVAR

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Prof. Dr. Gökçe Cerev

Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Perihan ÜNÜVAR

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Mohammad Jafar Chamankar,

Urmia University/Iran

Assoc. Prof. Dr. Vakeel Ahmad Khan,

Aligarh Muslim University, India

Assoc. Prof. Dr. Aliaksandr Susha,

Belarusian State University, Belarus

Assoc. Prof. Dr. Nesrine El Houari,

University of Tlemce Algeria

Assoc. Prof. Dr. Valbona Habili Sauku

Tirana University, Albanıa

Doç. Dr. Halit Bakır

Sivas Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi

Doç. Dr. Abdülhakim Bahadır DARI

Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi

Doç. Dr. Irmak KARADUMAN ER

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Doç. Dr. Davut ATILGAN

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Mansoor Ahmed,

Government College University,Pakistan

Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI,

Univesity of Tizi Ouzou – Algeria

Dr. Drita AVDYLI

Chairwoman of National Chamber of Mediation Albania

Dr. Ramona Marinache,

University of Bucharest,Romania

Dr. Iosefina Blazsani-Batto,

Teacher's Training Center Sibiu under Romanian Ministry of Education Romania

Dr. Mohammed BENTAHAR,

Tahar Moulay University, Algeria

Dr. Seda ÇELLEK

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Dr. Esra KÜRKCÜ AKGÖNÜL

Dokuz Eylül Üniversitesi

Dr. Zarifa Nazirli

Baku State University

Dr. Mustafa KAVGACI

Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi

SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr. Chaya Bagrecha

Jain Deemed tobe University, India

Prof. Dr. MEZIANI Brahim

Djilali Bounaama University of Khemis Miliana, Algeria

Prof. Dr. Nana Jincharadze

Euripean University, Georgia

Prof. Dr. Marinescu Valentina

University of Bucharest,Romania

Prof. Dr. Khiari Reguia,

Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA) Omar El BERNAOUI, Algeria

Prof. Dr. Abdelkarim BOUA

Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Prof. Dr. Laura Diaconu Maxim,

Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania

Prof. Dr. Froilan D. Mobo,

Philippine Merchant Marine Academy

Prof. Dr. Mamoona Mushtaq/Shahid

Govt. Graduate College Township, Pakistan

Prof. Dr. Kiril Postolov

University Ss. Kiril and Metodij, North Macedonia

Prof. Dr. Hendri Hermawan-ADINUGRAHA

UIN K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Indonesia

Prof. Dr. Özgür ALPARSLAN

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet ILKIM

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Korkmaz BELLİTÜRK

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Prof. Dr. Perihan ÜNÜVAR

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Henry Akpojubaro Efegbere

Edo State University Uzairue, Nigeria

Assoc. Prof. Dr. Girija Shankar Panigrahi,

KIIT Deemed to be University,India

Assoc. Prof. Dr. Seyed Mehdi Talebi

Arak university , Iran

Assoc. Prof. Dr. Rozina Khattak

Shaheed Benazir Bhutto Women University,Pakistan

Assoc. Prof.Dr. Mohammad Jafar Chamankar,

Urmia University/Iran

Assoc. Prof. Dr. Vakeel Ahmad Khan,

Aligarh Muslim University, India

Assoc. Prof. Dr. Aliaksandr Susha,

Belarusian State University, Belarus

Assoc. Prof. Dr. Nesrine El Houari,

University of Tlemce Algeria

Assoc. Prof. Dr. Valbona Habili Sauku

Tirana University, Albanıa

Doç. Dr. Doğan Çiloğlu

Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. H. Burçin HENDEN ŞOLT

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Doç. Dr. Recep BÜYÜKTOLU

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Doç. Dr. Çağatay YAMÇIÇIER

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe Nihan BASMACI FİLİZ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Doç. Dr. M. Cüneyt GÖKÇE

Mardin Artuklu Üniversitesi

Doç. Dr. Gamze BİLGEN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Dott. Ervin IBRAHIMI MD

Area Vasta 2, Cooss- Marche, Italy

Dr. Vıncent Abıodun Mıcheal,

The Federal Polytechnıc, Bıda, Nıgerıa

Dr. Israr Ali Khan,

Institute of Numerical Sciences KUST, Pakistan

Dr. Ananda Majumdar,

Brander Garden After School Parents Association

Dr Muhammad Faisal,

Ministry of State and Frontier Region (SAFRON)

Dr hc Vicente Pironti

Open Unıversıty Humanıza, Brazil

Dr. Gopalakrishnan Chinnasamy,

Jain Deemed to-be University, India

Dr. Vaishali Krishna

Jawaharlal Nehru University,India

Lec. Diaconu Luminitsa,

The Academy of Economic Studies of Moldova

Lec. Ezekıel Pıus NYATIRIMOH,

Federal Unınversıty Wukarı, Nıgerıa

Dr. Bahadır AKKURT

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Dr. Taner AKARSU

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Dr. Muhammet Serhat ÖZASLAN

Ardahan Üniversitesi

Dr. Sema İÇEL

Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Bilal Kır

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Dr. Seda ÇELLEK

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Dr. Esra KÜRKCÜ AKGÖNÜL

Dokuz Eylül Üniversitesi

Dr. Zarifa Nazirli

Baku State University

4. INTERNATIONAL PRIZREN SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

August 29–30 2026, KOSOVA

CONGRESS PROGRAM

Join Zoom Meeting ID: 889 1114 7391

Passcode: 570740

Join Zoom Meeting

https://us06web.zoom.us/j/88911147391?pwd=iDSrJCXJPmHlLQvmdeSQb889MoAifR.1

PARTICIPATING COUNTRIES

Ukrania-Algeria-Iran-Nigeria-Azerbaijan-Bulgaria
Benin-Pakistan-Jordan-Dubai-Romania
United Arab Emirates-North Macedonia/

IMPORTANT

- **To be able to make a meeting online, login via https://zoom.us/join site, enter ID instead of**
- **"Meeting ID or Personal link Name'' and solidify the session.**
- **The presentation will have 10 minutes .**
- **The Zoom application is free and no need to create an account.**
- **The Zoom application can be used without registration.**
- **The application works on tablets, phones and PCs.**
- **Speakers must be connected to the session 10 minutes before the presentation time.**
- **All congress participants can connect live and listen to all sessions.**

TECHNICAL INFORMATION

- **Make sure your computer has a microphone and is working.**
- **You should be able to use screen sharing feature in Zoom.**
- **Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.**

ÖNEMLİ

- **Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için**
- **online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır.**
- **Online sunum yapabilmek için https://zoom.us/join sitesi üzerinden giriş yaparak "Meeting ID**
- **or Personal Link Name" yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz.**
- **Sunumlar için 10 dakika süre ayrılmıştır.**
- **Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur.**
- **Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir.**
- **Uygulama tablet, telefon ve PC'lerde çalışmaktadır.**
- **Sunum yapacakların sunum saatinden 10 dk önce oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir.**
- **Tüm katılımcılar oturumlara online katılıp dinleyebilir.**

TEKNİK BİLGİLER

- **Bilgisayarınızda çalışır durumda mikrofon bulunmalıdır.**
- **Zoom'da ekran paylaşma özelliği kullanılabilmelidir.**
- **Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir.**

Kongreye katılım zorunludur, katılım sağlamayan katılımcılarımıza Kongre Katılım Belgesi gönderilmeyecektir.

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Doç. Dr. Davut ATILGAN

SESSION-1 HALL-1

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Doç. Dr. Emre SERİN *Doç. Dr. Davut ATILGAN*	*Mersin Üniversitesi,* *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*	*SPORA KATILIMIN YAŞAM DOYUM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BAZI DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ*
Dr. Yusuf KURT *Dr. Cihad Onur KURHAN* *Doç. Dr. Davut ATILGAN*	*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,* *İnönü Üniversitesi*	*SPORCULARDA UYKU KALİTESİ, TOPARLANMA VE SPORTİF PERFORMANS İLİŞKİSİ*
Dr. Cihad Onur KURHAN *Dr. Yusuf KURT* *Doç. Dr. Davut ATILGAN*	*İnönü Üniversitesi,* *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*	*SPORCULARDA ANTRENMAN YÜKÜ, TOPARLANMA VE YORGUNLUK İLİŞKİSİ: LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ*
Dr. Öğr. Üyesi, Erol BAYKAN	*Yozgat Bozok Üniversitesi*	*GELENEKSEL SPORLARIN YAYGINLAŞTIRILMASI BAĞLAMINDA ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN TUTUMLARININ DEMOGRAFİK VE SPORTİF ÖZELLİKLERE GÖRE İNCELENMESİ*
Dr. Öğr. Üyesi, Eren BOZYILAN *Doç. Dr. Mehmet KARTAL*	*Adıyaman Üniversitesi*	*ESPORCULARDA RUMİNASYON VE PERFORMANS: HATA SONRASI YENİDEN ODAKLANMA VE ÖZ-DÜZENLEME SÜREÇLERİ*
Dr. Öğr. Üyesi, Eren BOZYILAN *Prof. Dr. Aykut DÜNDAR*	*Adıyaman Üniversitesi*	*ESPORCULARDA ZİHİNSEL YORGUNLUK VE TİLT: BİLİŞSEL YÜK, ÖZ-DÜZENLEME VE PERFORMANS BOZULMASI*
Dr. Mesut SÜLEYMANOĞULLARI	*Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi*	*EGZERSİZİN TÜKÜRÜK LİZOZİM KONSANTRASYONU VE SEKRESYON HIZI ÜZERİNE ETKİLERİ: SİSTEMATİK DERLEME VE META-ANALİZ*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Delil DOĞAN

SESSION-1 HALL-2

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Uzm.Dt., Merve GÜNEY *Uzm.Dt., Delil DOĞAN*	*Fırat Üniversitesi*	*EKSTERNAL KÖK REZORPSİYONU İLE İLİŞKİLİ İLERİ GİNGİVAL ÇEKİLMENİN MULTİDİSİPLİNER YÖNETİMİ: 1 YILLIK OLGU TAKİBİ*
Uzm.Dt., Merve GÜNEY *Uzm.Dt., Delil DOĞAN*	*Fırat Üniversitesi*	*MANDİBULAR ANTERİOR BÖLGEDE GİNGİVAL ÇEKİLMELERİN SERBEST DİŞ ETİ GREFTİ İLE TEDAVİSİ: 2 YILLIK OLGU TAKİBİ*
Arş. Gör. Dt. , Merve GÜRELİ *Uzm. Dt. , Delil DOĞAN*	*Fırat Üniversitesi*	*PROTETİK REHABİLİTASYON SONRASI GELİŞEN, PERSİSTAN VE ALVEOLER KEMİK DESTRÜKSİYONU İLE SEYREDEN MANDİBULAR LEZYON: OLGU SUNUMU*
Arş. Gör. Dt. , Merve GÜRELİ *Uzm. Dt. , Delil DOĞAN*	*Fırat Üniversitesi*	*TRAVMATİK DENTAL YARALANMA SONRASI GELİŞEN PERSİSTAN PERİAPİKAL LEZYONUN KOMBİNE CERRAHİ-ENDODONTİK YÖNETİMİ*
Delil DOĞAN	*Fırat Üniversitesi*	*İMPLANT DESTEKLİ RESTORASYONDA GEÇİCİ ABUTMENT VE KOMPOZİT İLE PERİ-İMPLANT YUMUŞAK DOKU ÇIKIŞ PROFİLİNİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ: OLGU SUNUMU*
Delil DOĞAN	*Fırat Üniversitesi*	*BUKKAL MUKOZADA LOKALİZE İRRİTASYON FİBROMUNUN EKSİZYONEL YAKLAŞIMLA YÖNETİMİ: OLGU SUNUMU*
Ahmet Mehdi SEMUR *Delil DOĞAN*	*Fırat Üniversitesi*	*AKUT GİNGİVAL APSENİN CERRAHİ OLMAYAN YÖNETİMİ: DRENAJ VE MEKANİK DEBRİDMAN İLE KLİNİK İYİLEŞME*
Ahmet Mehdi SEMUR *Delil DOĞAN*	*Fırat Üniversitesi*	*TAM DİŞSİZ HASTADA MAKSİLLA VE MANDİBULADA EŞ ZAMANLI ALVEOLOPLASTİ: OLGU SUNUMU*
Emre ARSLAN *Delil DOĞAN*	*Fırat Üniversitesi*	*KANAL TEDAVİSİ SONRASI PERSİSTAN PERİAPİKAL LEZYONDA KOMBİNE CERRAHİ YAKLAŞIM: APİKAL REZEKSİYON VE RETROGRAD DOLGU*
Emre ARSLAN *Delil DOĞAN*	*Fırat Üniversitesi*	*EPULİS EKSİZYONU VE EŞ ZAMANLI VESTİBÜLOPLASTİ İLE YUMUŞAK DOKU YÖNETİMİ: OLGU SUNUMU*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Doç. Dr. Adem YOLCU

SESSION-1 HALL-3

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Adem YOLCU *Taha Yasin ÖZTÜRK*	*Kafkas University*	*AN INTERVAL-WIDTH-SENSITIVE ENTROPY AND GAINED–LOST DOMINANCE MODEL FOR CYBERSECURITY SOFTWARE SELECTION*
Adem YOLCU *Taha Yasin ÖZTÜRK*	*Kafkas University*	*A BORDA-BASED WASPAS–MOORA CONSENSUS FRAMEWORK UNDER Q-RUNG ORTHOPAIR FUZZY SOFT INFORMATİON*
Dr. Öğr. Üyesi Barış KURT	*Muş Alparslan Üniversitesi*	*MAKINE ÖĞRENMESI İLE FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLER: GAFF2 TABANLI MOLEKÜLER TANIMLAYICILARLA ERİME NOKTASI VE STANDART BUHARLAŞMA ENTALPİSİNİN MODELLENMESİ*
Merih LEBLEBİCİ *Ali ÇALHAN*	*Duzce University*	*ROBUST PORT SELECTION FOR FLUID ANTENNA SYSTEMS IN UAV COMMUNICATIONS UNDER SPATIAL JITTER AND IMPERFECT CSI*
Doç.Dr.Mustafa Akkaya *Elif Nur Eren*	*Manisa Celal Bayar Üniversitesi*	*GRAFEN/h-BN/Al_2O_3 NANOYAĞLAYICININ R134a SİSTEMİNDE ENERJİ–EKSERJİ PERFORMANSI*
Prof.Dr.Kadir ABACI *Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Çağrı BARUTÇU*	*Mersin Üniversitesi,* *Hakkari Üniversitesi*	*SENKRON GENERATÖR MODELLERİ İLE DURUM DEĞİŞKENLERİNİN FAZ UZAYINDA İNCELENMESİ*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Prof.Dr.Özlem TOKUŞOĞLU

SESSION-1 HALL-4

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Prof.Dr.Özlem TOKUŞOĞLU	*Celal Bayar University, Dokuz Eylul University,*	*PHENOLIC BIOACTIVE ALTERATIONS OF SPIRULINA MICROALGAE BASED NUTRACETICALS AND FUNCTIONAL FOODS BY NON-THERMAL PULSED ELECTRICAL FIELD (PEF) PROCESSING*
Prof.Dr.Özlem TOKUŞOĞLU	*Celal Bayar University, Dokuz Eylul University,*	*BIOMASS LIPID PROFILES OF SUPERFOOD SPIRULINA MICROALGAE AS FUNCTIONAL DRINK AND FOOD SUPPLEMENT*
Dr. Öğr. Üyesi, Emel ATMACA	*Selçuk Üniversitesi*	*ORGANİK TARIM UYGULAMALARININ ARBUSKÜLER MİKORİZAL FUNGUS (AMF) SPORLARIN SAYI VE ÇEŞİTLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ*
Dr. Öğretim Üyesi Hülya ŞEN ARSLAN	*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi*	*PROPOLİSİN ANTİOKSİDAN KAPASİTESİNİ ARTIRMAK İÇİN ENZİM DESTEKLİ EKSTRAKSİYON*
Yüksek Lisans Öğrencisi Duygu Rana GÜRAN *Prof. Dr. Bilsen TURAL* *Prof. Dr. Servet TURAL* *Dr. Öğr. Üyesi Erdal ERTAŞ*	*Dicle Üniversitesi, Batman Üniversitesi*	*BAY LEAVE SULU ÖZÜTÜ KULLANILARAK ÜRETİLEN BİYOJENİK SELENYUM NANOPARÇACIKLARININ SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DENK

SESSION-1 HALL-5

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr. Öğr. Üyesi, Fatma GÖKMEN YILMAZ	*Selçuk Üniversitesi*	*FARKLI ŞEKİLERDE UYGULANAN LİTYUMUN ISPANAKTA BİOFORTİFİKASYONU VE LİTYUM ALIM ETKİNLİĞİNE ETKİLERİ*
Arş. Gör Benian YILMAZ Prof. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU Prof. Dr. Tarkan ŞAHİN Doç. Dr. Mükremin ÖLMEZ	*Kafkas Üniversitesi*	*YERLEŞİM SIKLIĞINA MARUZ BIRAKILAN ETLİK PİLİÇLERDE POSTBİYOTİK İLAVESİNİN AYAK TABAN DERMATİTİ ÜZERİNE ETKİSİ*
Prof. Dr. Tarkan ŞAHİN Prof. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU Arş. Gör Benian YILMAZ Doç. Dr. Mükremin ÖLMEZ	*Kafkas Üniversitesi*	*YERLEŞİM SIKLIĞINA MARUZ BIRAKILAN BROYLERLERDE PRECİSİON BİOTİC İLAVESİNİN AYAK TABAN DERMATİTİ ÜZERİNE ETKİSİ*
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DENK Doç.Dr.Esra KAYA Zir Müh. Yahya PALA	*Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Van il tarım ve orman müdürlüğü*	*VAN İLİNİN ÇOĞRAFİ İŞARETLİ HAYVANSAL ÜRÜNLERİ*
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DENK Doç.Dr.Esra KAYA Zir Müh. İdris CALAN	*Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Van il tarım ve orman müdürlüğü*	*İNCİ KEFALİNİN ÖZELLİKLERİ VE BÖLGE HALKINA KATKILARI*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Kıvanç KAMBUROĞLU

SESSION-1 HALL-6

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Prof. Dr. Kıvanç KAMBUROĞLU	*Ankara University*	*FORENSIC ODONTOLOGY*
Prof. Dr. Kıvanç KAMBUROĞLU	*Ankara University*	*DENTAL RADIOLOGICAL EXAMINATION IN FORENSIC DENTİSTRY*
Arş. Gör. Mert Can KITOĞLU *Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Tevfik GÜLŞEN*	*Gaziantep Üniversitesi*	*DENTOMAKSİLLOFASİYAL BÖLGEDE SHEAR WAVE ELASTOGRAFİ: GÜNCEL UYGULAMA ALANLARI VE KLİNİK KULLANIMA GEÇİŞ ENGELLERİ*
Dr. Öğr. Üyesi, Agit ŞİMŞEK *Melike ALTUNTOP* *Sümeyye Sıla TOSUN*	*İnönü Üniversitesi*	*YARIK DAMAK ONARIMI GEÇİRMİŞ 6–10 YAŞ ARASI ÇOCUKLARDA ARTİKÜLASYON BOZUKLUKLARI VE VELOFARİNGEAL FONKSİYONUN DEĞERLENDİRİLMESİ*
Dr. Öğr. Üyesi, Agit ŞİMŞEK *Sümeyye Sıla TOSUN* *Melike ALTUNTOP*	*İnönü Üniversitesi*	*SEREBRAL PALSİLİ ÇOCUKLARDA KONUŞMA MOTOR PERFORMANSI VE ARTİKÜLASYON ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ*
Fzt, Çağla SOYCAN *Dr.Öğr.Üyesi, Gönül ERTUNÇ GÜLÇELİK*	*Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi*	*FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ÖĞRENCİLERİNDE YAPAY ZEKÂ OKURYAZARLIĞININ YAPAY ZEKÂ KAYGISI VE ÇEVRİMİÇİ ÖĞRENMEYE HAZIR BULUNUŞLUK İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Doç.Dr.Mustafa Akkaya

SESSION-1 HALL-7

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr. Öğretim Üyesi, Bekir Emre ALTUN *Dr. Öğretim Üyesi, Feyyaz ALPSALAZ* *Dr. Öğretim Üyesi, Hasan UZEL*	*Amasya University*	*HİYERARŞİK KARŞITLIK ÖĞRENMELİ DEĞİŞTİRİLMİŞ ÇIKARMA-ORTALAMA TABANLI OPTİMİZATÖR (MSHO) KULLANILARAK IEEE 33 BARALI DAĞITIM SİSTEMİNDE ÇOK AMAÇLI OPTİMAL GÜÇ AKIŞI*
Dr. Öğretim Üyesi, Bekir Emre ALTUN *Dr. Öğretim Üyesi, Hasan UZEL* *Dr. Öğretim Üyesi, Feyyaz ALPSALAZ*	*Amasya University*	*PSO, WOA, SSA VE MFO ALGORİTMALARI KULLANILARAK 22 BARALI 380 KV TÜRKİYE GÜÇ SİSTEMİNİN OPTİMAL GÜÇ AKIŞI ANALİZİ*
Doç.Dr.Mustafa Akkaya	*Manisa Celal Bayar Üniversitesi*	*TÜRKİYE'DE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR: YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİLERİ VE GELECEK PROJEKSİYONLARI*
Sanem ÜNAL *Prof. Dr. Çiğdem Belgin DİKMEN*	*Yozgat Bozok Üniversitesi*	*ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNDE EĞİTİM YAPILARININ KAPSAYICI TASARIM VE MEKÂNSAL ERİŞİLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA SORGULANMASI: YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ DOĞU VE BATI YERLEŞKELERİ ÖRNEĞİ*
Dr.Öğr.Üyesi, Betül UÇ *Mimar, Mehmet Emin EVCİ* *Mimar, Zeynep YÜKSEL*	*İstanbul Ticaret Üniversitesi*	*ÜNİVERSİTE KAMPÜS YAPILARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR İÇ MEKÂN TASARIMI: AHŞAP, AKUSTİK KONFOR VE BİYOFİLİK YAKLAŞIMLAR ÜZERİNE BİR İNCELEME*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Dr. Öğretim Üyesi Diğdem GÖÇ GÜRBÜZ

SESSION-1 HALL-8

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr. Öğretim Üyesi Diğdem GÖÇ GÜRBÜZ	*Marmara Üniversitesi*	*HASTALIK VE SAĞLIK SİGORTASI*
Öğretim Görevlisi, Oğuzhan ÖZYİĞİT Araştırma Görevlisi, Ahmet TUZCUOĞLU Prof. Dr. Emrah CENGİZ	*İstanbul Üniversitesi*	*MARKA KİMLİĞİNDE DÜZENLEYİCİ UYUM: KİŞİ İÇİ BİR İNCELEME*
Öğr. Gör. Dr. Mustafa GÜLSÜN	*Muş Alparslan Üniversitesi*	*DİJİTAL MEDYADA SAĞLIK İLETİŞİMİ: YOUTUBE'DA YAYINLANAN SAĞLIK VİDEOLARININ BETİMSEL ANALİZİ*
Hilal Köşker Güven	*Karabük Üniversitesi*	*ÇEVRE, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE DİN İLİŞKİSİ BAĞLAMİNDA İLAHİYAT EĞİTİMİ: HOLLANDA, TÜRKİYE VE BOSNA-HERSEK ÖRNEĞİ*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Doç. Dr, Emine TUĞCU

SESSION-1 HALL-9

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Doç. Dr, Emine TUĞCU	*Başkent Üniversitesi*	*MODERN ŞİİRİN PEŞİNDE: TEVFİK FİKRET'İN ŞİİRLERİNDE GÜNDELİK HAYAT*
Leyla Hasanova	*Azerbaijan State Pedagogical University*	*THE REPRESENTATİON OF MULTİCULTURAL VALUES İN AZERBAİJANİ LİTERATURE*
Doçent Doktor, AYGUN AHMADOVA	*Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi*	*AZERBAYCAN ÇOCUK EDEBİYATINDA AHLAKİ-DİDAKTİK DÖNEMİN OLUŞUM TARİHİ*
Dr. Öğr. Türkan HÜSEYNOVA	*Azerbaycan Devlet Pedaqoji Üniversitesi*	*CHRİS KELLY'NİN ANALİZLERİ IŞIĞINDA ROUSSEAU'DA KİMLİK, KAHRAMANLIK VE TOPLUMSAL İNŞA*
Dr. Öğr. Türkan HÜSEYNOVA	*Azerbaycan Devlet Pedaqoji Üniversitesi*	*MİCHAEL SUGRUE'NUN PERSPEKTİFİNDEN "GENÇ WERTHER'İN ACILARI": ERKEN ROMANTİZM, STURM UND DRANG VE AYDINLANMA ELEŞTİRİSİ*
Aynur Zahir qızı Bədəlova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*XIX ƏSRİN İKİNCİ YARISI AMERİKA ƏDƏBİYYATINDA REALİZM*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Mine Tulin ZATEROGLU

SESSION-1 HALL-10

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr., Emrah ŞIK	*İstanbul Teknik Üniversitesi*	*İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI KIYI ŞERİDİ DENİZ EKO SİSTEMİNİN KİMYASI*
Asst. Prof. Dr. Danışment VURAL	*Atılım University*	*SUSTAINABILITY-ORIENTED EVALUATION OF E-COMMERCE DISTRIBUTION CENTER CANDIDATES USING AN AHP-TOPSIS APPROACH*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan*	*COMPREHENSIVE ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE PATTERNS OF CHANGES IN THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ORGANIZATION OF ECOSYSTEMS UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan*	*MECHANISMS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE STRUCTURAL COMPONENTS OF BIODIVERSITY AND THE DYNAMICS OF ECOSYSTEM FUNCTIONS IN NATURAL ECOSYSTEMS*
Assoc. Prof. Dr. Mine Tulin ZATEROGLU	*Cukurova University*	*CLIMATE CHANGE, DAY ZERO AND AGRICULTURE*
Assoc. Prof. Dr. Mine Tulin ZATEROGLU	*Cukurova University*	*RENEWABLE ENERGIES IN AGRICULTURE*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Gunel Shefiyeva

SESSION-2 HALL-11

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Prof. Dr. Elman Guliyev	*Azerbaycan Dövlet Pedagoji Üniversitesi*	*SALAH NÖVRƏSİN POETİKASI*
Arzu Kərimova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*SÜNİ İNTELLEKTİN TƏHSİLDƏ İSTİFADƏSİNİN PEDAQOJİ ASPEKTLƏRİ*
Pəri Paşayeva	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*İBTİDAİ TƏHSİLDƏ PSİXOLOJİ–PEDAQOJİ MÜHİT*
Tarana AKBARI	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi*	*İLKOKUL ÖĞRENCİLERİNDE İNCE MOTOR AKTİVİTE VE SENSO-MOTOR HAFIZANIN AKADEMİK BAŞARIYA VE ZİHİNSEL TEMSİLLERE ETKİSİ*
Ulduz Fərhad Qəhrəmanova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*NİZAMİ GƏNCƏVİNİN "SİRLƏR XƏZİNƏSİ" POEMASINDA XI SÖHBƏT: "DÜNYANIN VƏFASIZLIĞI"*
Sahilə İbrahimova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*ELMİN VƏ TƏHSİL SAHƏSİNİN İNKİŞAFINDA QADINLARIN ROLU*
gunel peniyeva		*QƏTRAN TƏBRİZİ*
Gunel Shefiyeva	*Azerbaijan State Pedagogical University*	*WAYS OF WRITING AN ACADEMIC ESSAY*
Gültəkin Atəş qızı Abdullayeva	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*ORFOQRAFİYA VƏ ORFOEPİYANIN İNKİŞAF TARİXİNƏ DAİR*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00

HEAD OF SESSION: Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT

SESSION-2 HALL-12

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
PhD Petronela Daniela FERARU	*National College Iași and 'Ion Neculce' High School, Târgu Frumos, Romania,*	*THE HOUSING CRISIS AND THE DELAYED TRANSITION TO ADULTHOOD: SOCIAL VULNERABILITY AND RESIDENTIAL AUTONOMY AMONG YOUNG PEOPLE*
PhD Petronela Daniela FERARU	*PhD Petronela Daniela FERARU*	*WORK UNDER ALGORITHMIC SURVEILLANCE: PROFESSIONAL AUTONOMY, DIGITAL CONTROL, AND PSYCHOSOCIAL RISKS IN EMERGING WORK ENVIRONMENTS*
Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT	*Technical University of Civil Engineering Bucharest*	*AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT WAR RUINS BY HIFSA ASHRAF*
Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT	*Technical University of Civil Engineering Bucharest*	*AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT SUMMER LEAVES BY JESSICA RENEE DAWSON*
Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT	*Technical University of Civil Engineering Bucharest*	*AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT THERAPY AND WILDFLOWERS BY STEPHEN A. PETERS*
MSC. Armanda Xhani Baça		*ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PRIMARY EDUCATION: ITS USE BY TEACHERS FOR PLANNING, DIFFERENTIATION, AND THE CREATION OF TEACHING MATERIALS*
MSC. Armanda Xhani Baça		*THE USE OF CROSS-CURRICULAR PROJECTS IN THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' COMPETENCIES*
Moses Adeolu AGOI *Olawale Adejumo OSUNLOYE* *Olayemi Grace ABIMBOLA* *Rasheed Olatunde AJETUNMOBI*	*Lagos State University of Education, Lagos Nigeria*	*HUMAN-AI COLLABORATIVE INTELLIGENCE IN INTEGRATED SCIENCE EDUCATION: A FRAMEWORK FOR NEXT-GENERATION SCIENTIFIC LEARNING*
Saidu Bello Mamudu *Aliyu Abdumalik Jibo* *Basheer M. Babanyaya*	*Department of Hospitality and Tourism Management Federal University wukari*	*GEOLOGİCAL CONTROLS ON AGRİCULTURAL PRODUCTİVİTY: A REVİEW OF SOİL MİNERALOGY, GEOGENİC NUTRİENTS, HEAVY METALS AND SUSTAİNABLE AGRİCULTURAL MANAGEMENT*
Khalil Naziru Abdullahi *Samson Paul* *Sule M. Tanyam* *Musa Yahaya Abubakar*	*Federal University Wukari, Taraba State, Department of Pure and Applied Chemistry, University of Calabar*	*ORGANOCATALYSİS İN MODERN ORGANİC SYNTHESİS: MECHANİSMS, APPLİCATİONS, AND FUTURE PERSPECTİVE*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00

HEAD OF SESSION: KAMAL JAMALOV

SESSION-2 HALL-13

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ	*Naxçıvan Dövlət Universiteti*	*AZƏRBAYCAN ŞAİRİ ŞEYH İBRAHİM GÜLŞENİ (1426-1535) BERDEİ'NİN İLAHİ AŞK VASIFLARINDA MİNACAT KATLARI-II YAZI: III-VII KATLAR*
PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ	*Naxçıvan Dövlət Universiteti*	*Hz. NUH as. QAVMİNDEN GELEN KÜFÜRLERİN MAZMUN İŞARETLERİ VƏ BELA YELKENLERİ*
İradə Məmmədova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*BİOLOGİYA DƏRSLƏRİNDƏ TƏDRİS EKSPERİMENTİNİN ŞAGİRDLƏRİN ELMİ FƏALİYYƏTƏ MARAĞININ FORMALAŞMASINA TƏSİRİ*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan*	*THE USE OF CONCEPTUAL MODELS IN TEACHING FOOD CHAINS AND TROPHIC RELATIONSHIPS IN BIOLOGY EDUCATION*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan*	*THE POTENTIAL OF PRACTICAL AND EXPERIMENTAL METHODS IN TEACHING SOIL ECOLOGY*
KAMAL JAMALOV	*Institute Honored Teacher of the Republic of Azerbaijan*	*THE PROBLEM OF KNOWLEDGE, INTELLECT, AND PERSONALITY IN YUSUF BALASAGHUNI'S QUTADGHU BILIG*
SHAHLA MIRZAYEVA	*Institute Honored Teacher of the Republic of Azerbaijan*	*INSTRUCTIONAL SITUATIONS AND THE TECHNOLOGIES USED IN THEM*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00

HEAD OF SESSION: ALI BIDA Ahmed

SESSION-2 HALL-14

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
MOUSSI Mohamed, ALI BIDA Ahmed	*Université d&'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed,*	*ALGORITHMIC ABLEISM: HOW AI DIAGNOSTIC TOOLS AND PREDICTIVE ANALYTICS ARE REPRODUCING SOCIAL INEQUALITIES IN AUTISM DETECTION*
Nadia TEBBAL Mekki Maza Zine El Abidine RAHMOUNI Messaouda BELOUADAH Zoubir DJENDI	*university of M'sila Algeria*	*INFLUENCE OF PRECURSOR CHEMİCAL VARİABİLİTY ON SETTİNG KİNETİCS AND ULTİMATE COMPRESSİVE STRENGTH OF GEOPOLYMER MATRİCES*
MOUSSI Mohamed, ALI BIDA Ahmed	*Université d&'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed,*	*NEURO-RIGHT TO THE CITY& SENSORY REDLINING AND THE SPATIAL EXCLUSION OF AUTISTIC INDIVIDUALS IN NEOLIBERAL URBANISM*
ALI BIDA Ahmed, OUARI Abbes, MILOUA Farid	*Université d&'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed,*	*GRID RESTORATION (BLACK-START) BY OFFSHORE WIND FARMS USING MULTI-AGENT DEEP REINFORCEMENT LEARNING (MADRL)*
ALI BIDA Ahmed, OUARI Abbes , MILOUA Farid	*Université d&'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed,*	*HYBRID NEURO-FUZZY PREDICTIVE CONTROL FOR MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF FLOATING OFFSHORE WIND FARMS*
Oluwanifemi Opeyemi AGOI Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Rasheed Olatunde AJETUNMOBI	*Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria., Lagos State University of Education, Lagos Nigeria*	*MECHANICAL ENGINEERING 5.0: INTEGRATING GENERATIVE AI, DIGITAL TWINS, ROBOTICS, AND INTELLIGENT AUTOMATION FOR NEXT- GENERATION MANUFACTURING*
Muhammad Shoaib	*Kohat University of Science and Technology, Kohat,Khyber,Pakhtunkhwa,Pakistan*	*STRUCTURAL CHARACTERİZATİONS AND HOMOMORPHİC PROPERTİES OF SOFT LEFT ALMOST SEMİRİNGS*
Nazish Safdar	*Kohat University of Science and Technology, Kohat, KP, Pakistan*	*EMERGENCE OF LİMİT CYCLE AND TREATMENT İNDUCED ENTRAİNMENT İN A PLANAR MODEL*

30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00

HEAD OF SESSION: Prof. Mohammed Waheeb

SESSION-2 HALL-15

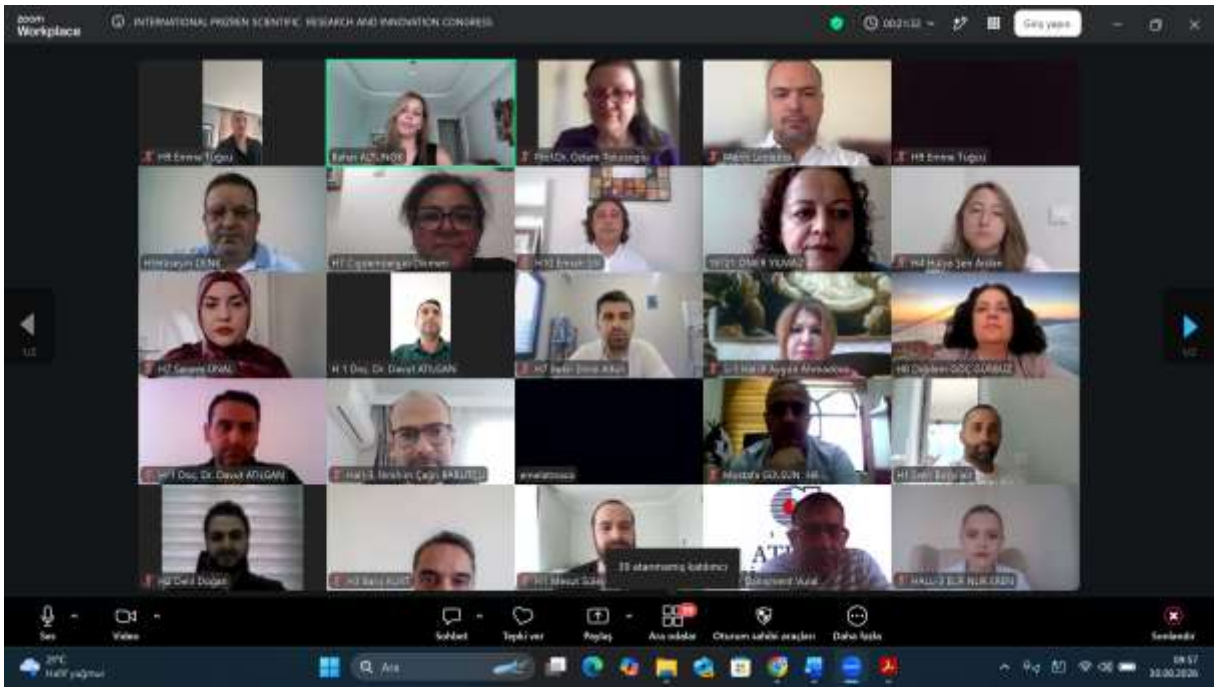
AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
PhD, Tetyana Y. Lykholat 1 , PhD, Oleh M. Marenkov 2 , PhD, Ragif V. Rakhmanov 3 , PhD, Maksim O. Kvitko 4 , Prof. Dr. Olena A. Lykholat 5 , PhD, Oleh S. Nesterenko 6 , Prof. Dr. Yuriy V. Lykholat	*Oles Honchar Dnipro National University, 4 Kryvyi Rih State Pedagogical University,*	*PROJECTS FOR GROWING MEDICINAL PLANTS ON FALLOUT LANDS OF THE DNIPRO STEPPE REGION*
Ms. Bushra Mumtaz Dr Irfan Bashir Dr Yasira Waqar Dr Afshan Naseem Dr Almas Shoaib Dr Fariha Gul Dr Aisha Sami Dr Abdul Malik Dr Sajid Masood Dr Faisal Anees Dr Aqila Rafique Ms Fareeha Sherazi	*Department of Education, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan*	*INSTRUCTİONAL MANAGEMENT OF PRİNCİPALS AND JOB PERFORMANCE OF TEACHERS: COMPARİNG PUBLİC AND PRİVATE SECTOR SCHOOLS İN PAKİSTAN*
Prof. Mohammed Waheeb	*The Hashemite University,*	*THE ROUTE OF THE NİQLAOUİ (MEDJOOL) DATE FROM THE JORDAN VALLEY TO THE ARABİAN PENİNSULA AND THE ARABİAN GULF, AND ITS ECONOMİC IMPACTS*
Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Engr. Fakhar Hassan Shah Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran Ar. Fahad Khan	*School of Architecture & Planning, UMT, Lahore, Practicing Engineer, Dubai, IIUI, Islamabad,*	*PROJECT MANAGEMENT PRACTICES IN CONSTRUCTION PROJECTS AND THEIR ROLES IN ACHIEVING SUSTAINABILITY — A COMPREHENSIVE REVIEW.*
dr. Aliaksandr Susha	*Belarusian State University, Assoc. Prof., Belarus, Minsk*	*CULTURAL COMPATİBİLİTY İN HERİTAGE REVİTALİZATİON (NEW FUNCTİONS FOR HİSTORİC PLACES)*
Dr. Mohammad Jafar Chamankar	*Urmia University, Iran*	*AMERİCANS İN THE PERSİAN GULF DURİNG WORLD WAR II*
Akbar Raimjonov	*Gulistan State University, Guliston, Republic of Uzbekistan*	*THE PRAGMA-COGNITIVE NATURE OF INDIRECT SPEECH ACTS IN ENGLISH AND UZBEK: EVIDENCE FROM INTERROGATIVE AND IMPERATIVE CONSTRUCTIONS*
Dilrabo Allayarova	*Gulistan State University, Guliston, Republic of Uzbekistan*	*PROSPECTS AND CHALLENGES OF SOLAR ENERGY UTILISATION IN THE MIRZACHO'L (HUNGRY STEPPE) REGION OF UZBEKISTAN*
Naqeeb Ullah	*Hosted Researcher At National Centre for Physics (NCP) Islamabad.*	*SYNERGİSTİC CU–FE BİMETALLİC CO-COMPOSİTES FOR EFFİCİENT ELECTROCATALYTİC REDUCTİON OF 4-NİTROPHENOL*

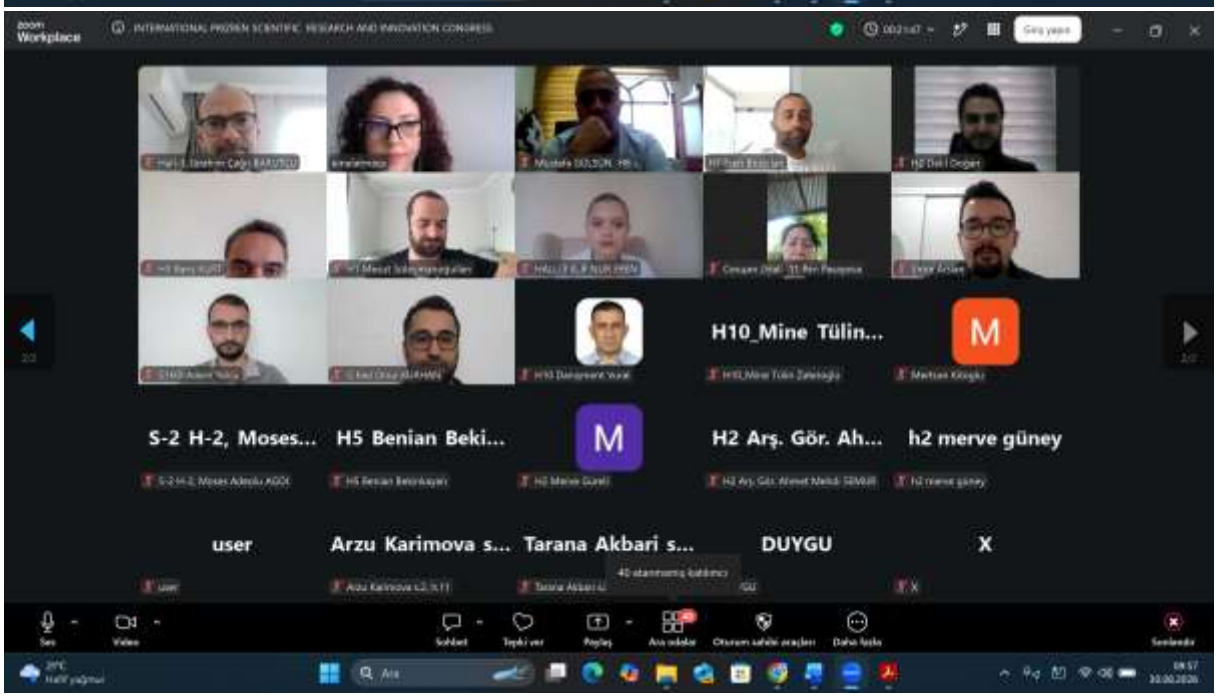
30.08.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00

HEAD OF SESSION: Dr. AISSI Jean-Roitinos

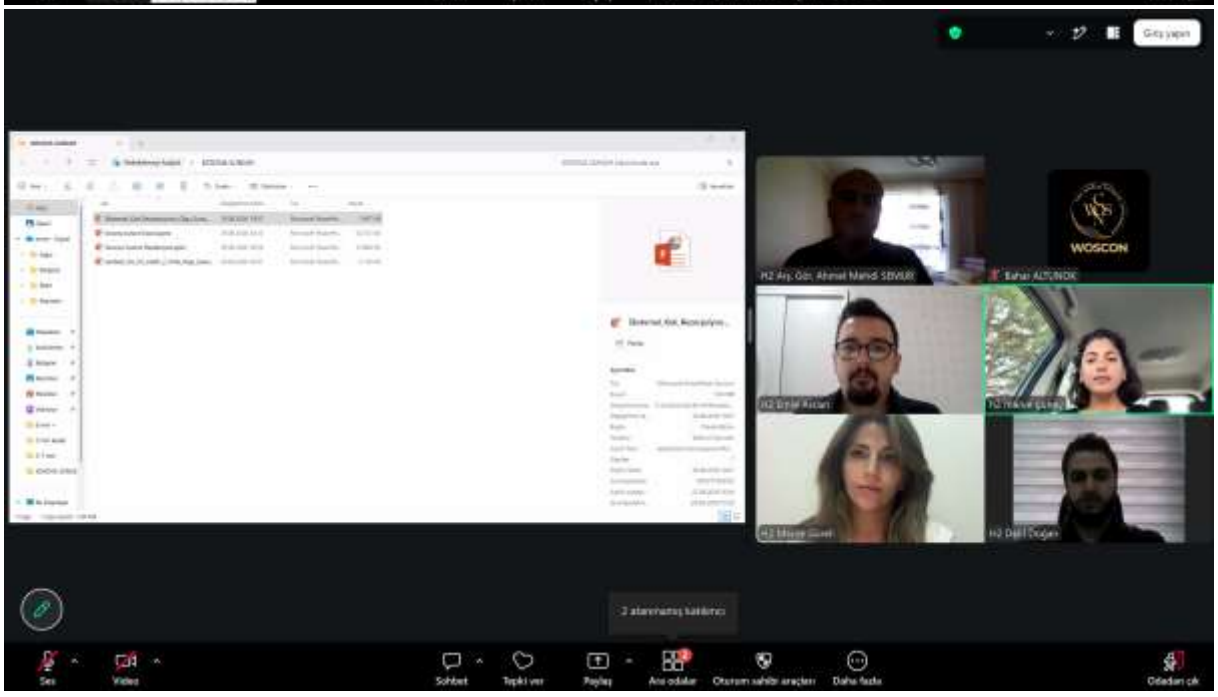
SESSION-2 HALL-16

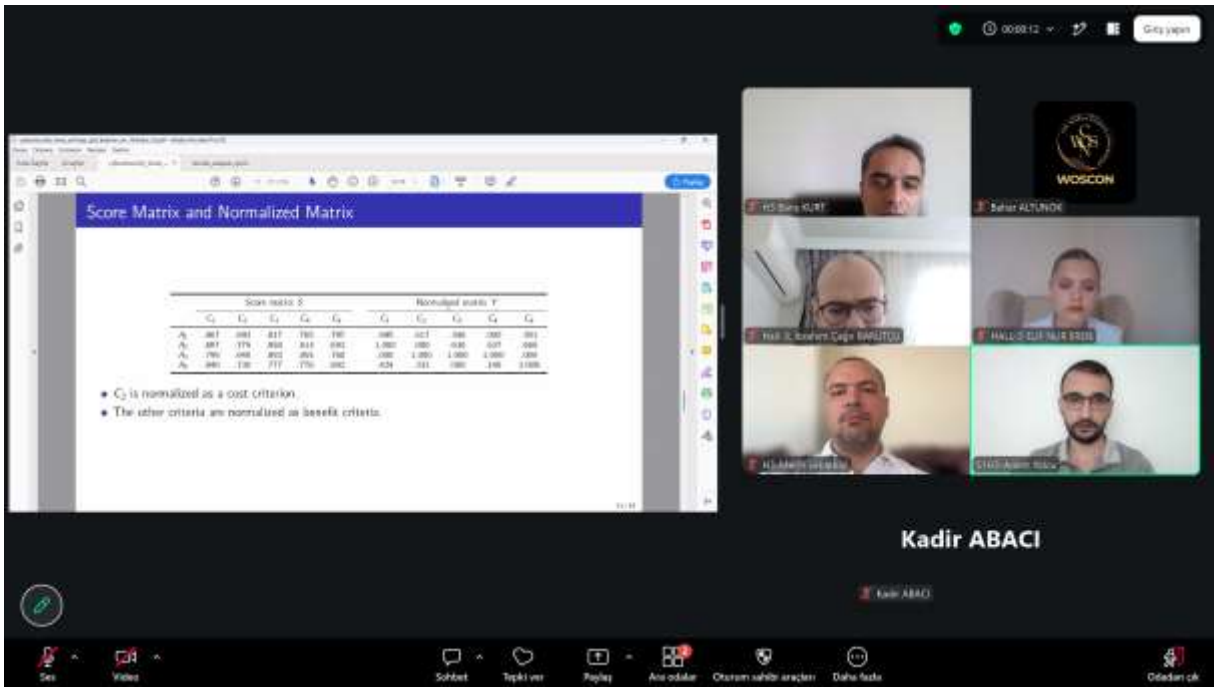
AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Muhammad Anas Khan Prof. Dr. Saad Ullah Khan Prof. Dr. Noor Muhammad Fardous	*Kohat University of Science and Technology (KUST), Kohat, Pakistan*	*HOMOZYGOSITY MAPPING OF A CONSANGUINEOUS FAMILY WITH INHERITED DWARFISM FROM DISTRICT KOHAT*
Dr Nadine AKOGBETO	*Aménagement du Territoire (DGAT) de l'Université d'Abomey-Calavi , Benin*	*PROMOTING DRIED OKRA SAUCE AT THE NEW HOTEL SOSSA : CHALLENGES AND PROSPECTS FOR BENIN'S GASTRONOMIC TOURISM*
Dr. AISSI Jean-Roitinos	*University of Abomey-Calavi (UAC) ; Benin*	*CHALLENGES OF MUNİCİPAL SOLİD WASTE MANAGEMENT İN THE TCHİKOMEY AND ZONGO NEİGHBORHOODS OF LOKOSSA, BENİN*
Velichka Marinova Blagoy Uzunov	*Sofia University "St. Kliment Ohridski", 8 Dragan Tsankov Blvd., Sofia-1164, Bulgaria*	*LIVING URBAN SURFACES: A PRELIMINARY STUDY ON CONCRETE COLONIZATION BY AUTOTROPHIC CRYPTOGAMIC ORGANISMS*
Adel BOUALI Zineb ABEOUB	*University of Medea, Medea, Algeria, Houari Boumediene University of Science and Technology, BP 32 El-Alia, 16111 Bab- Ezzouar, Algiers, Algeria*	*PHYSICAL AND MECHANICAL PERFORMANCE OF SUSTAINABLE GEOPOLYMER MORTAR PRODUCED FROM GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG*
Samia LATRECHEand Mabrouk KHEMLICHE	*University of Ferhat Abbas Setif Algeria*	*PV INSTALLATION MODELING AND MONITORING WITH BOND GRAPH*
Meral Rexhepi Majlinda Azemi Aleksandra Zakoska Eldiar Zulbeari Sani Bajrami	*Faculty of Medical Sciences, University of Tetova*	*EMERGENCY CESAREAN SECTİON AND CONCOMİTANT MYOMECTOMY İN A PRİMİPAROUS WOMAN WİTH MULTİPLE UTERİNE LEİOMYOMAS AND DYSFUNCTİONAL LABOR: A CASE REPORT*



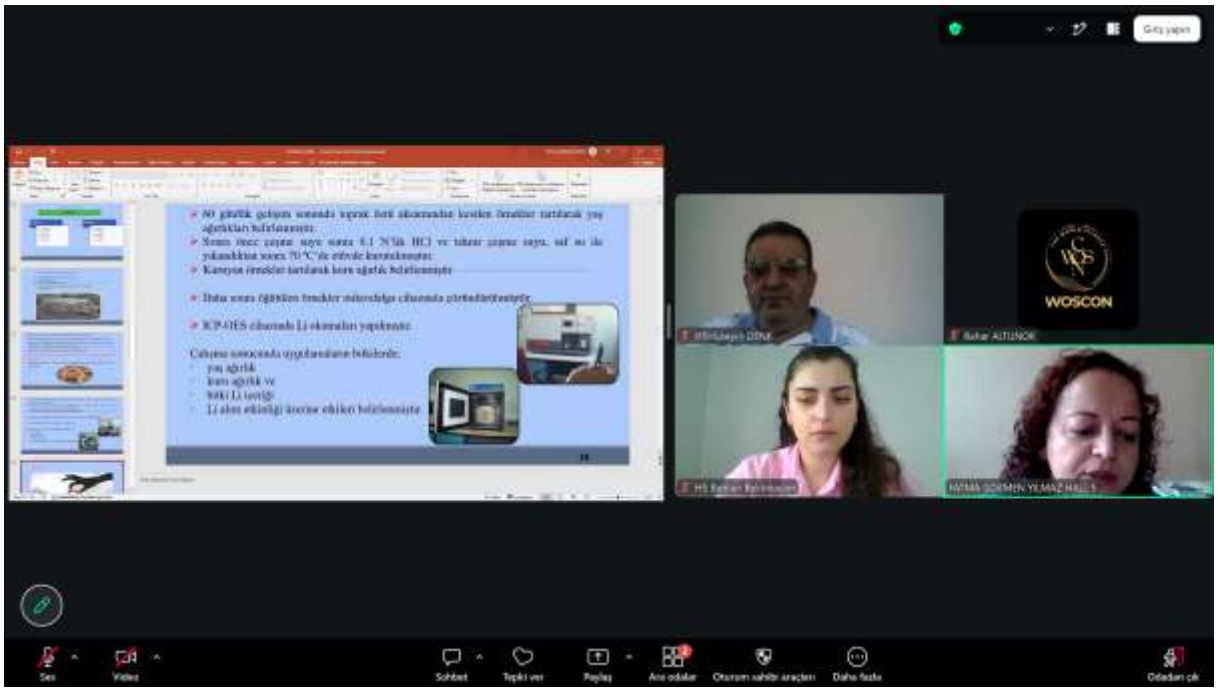

H10_Mine Tülin...
M
S-2 H-2, Moses...
H5 Benian Beki...
M
H2 Arş. Gör. Ah...
h2 merve güney
user
Arzu Karimova s...
Tarana Akbari s...
DUYGU
X

YORGUNLUK VE TOPARLANMA DENGESİ
YORGUNLUK
TOPARLANMA
DENGE
= OPTİMAL PERFORMANS
YÜKSEK YÜK ≠ HATALI YÜK
Emre Serin
H-1 Doç. Dr. Dav...
Ses
Video
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ana odalar
Otorum sahibi araçları
Daha fazla
Odadan çık


Ses
Video
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ana odalar
Otorum sahibi araçları
Daha fazla
Odadan çık

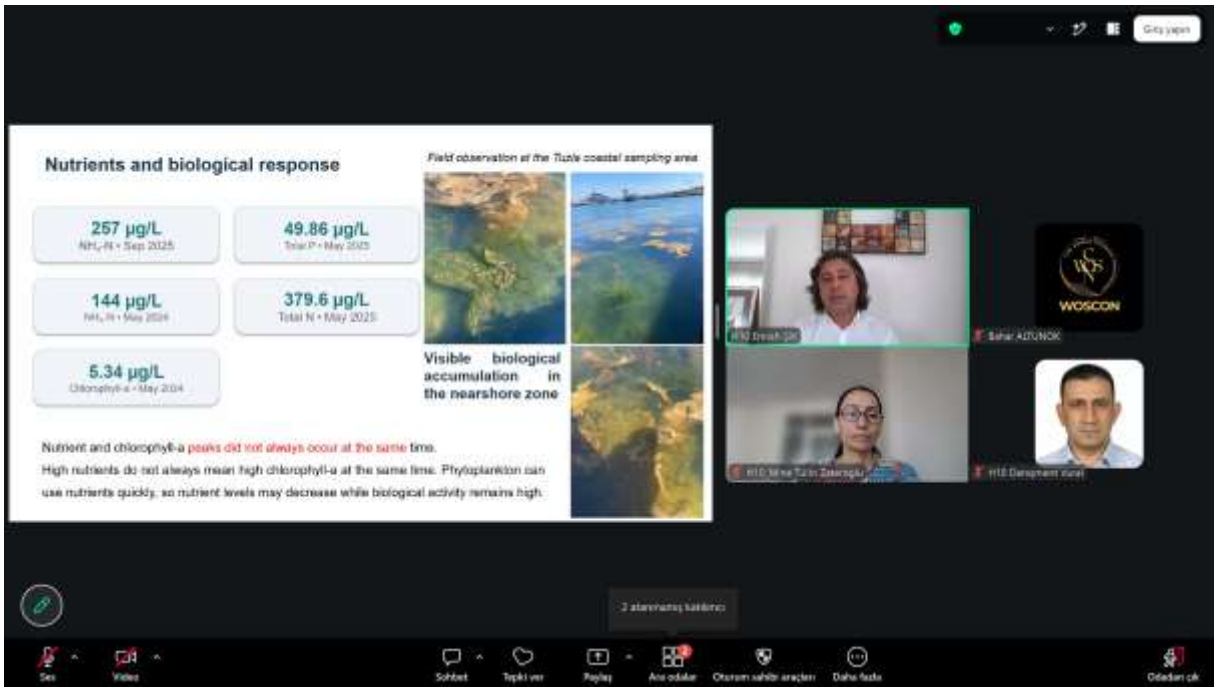

Score Matrix and Normalized Matrix
• C_2 is normalized as a cost criterion
• The other criteria are normalized as benefit criteria
WOSCON
Kadir ABACI

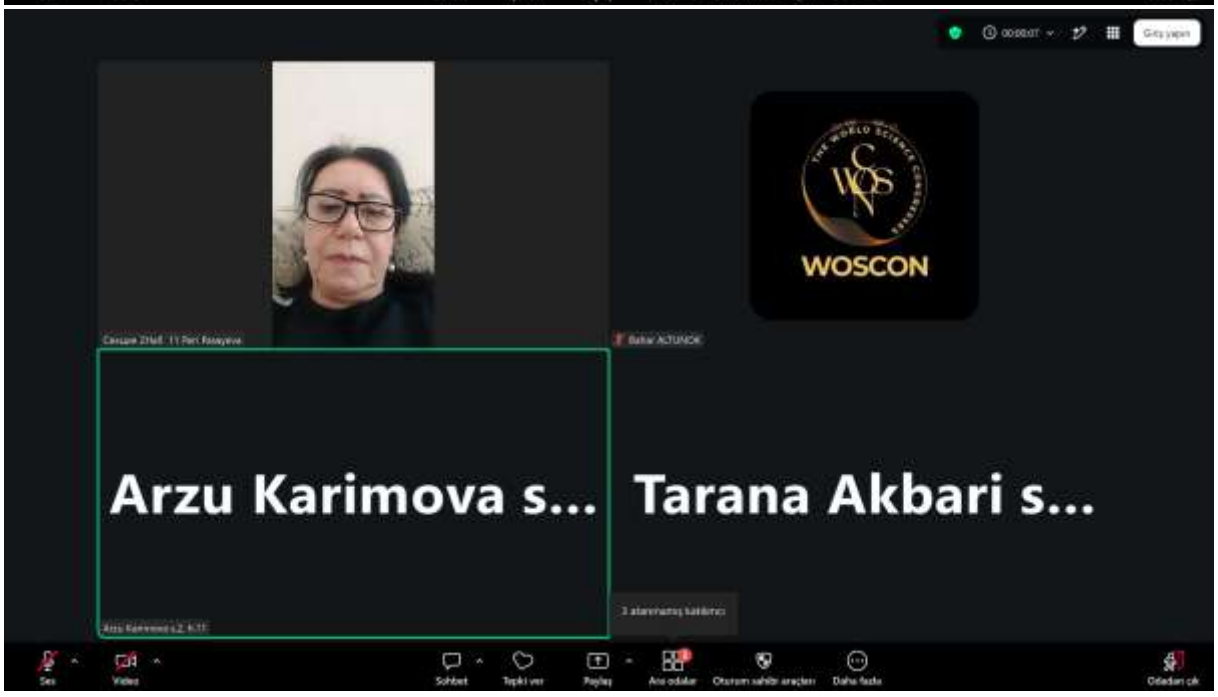
Mimarlıkta Matematik'te bir yıllık uzun süreli bir tarla deneyiminde on mısır monokültürü, mısır-patates, mısır-buğday ve mısır-patates-buğday mürettebat sistemleriyle karşılaştırılmış, çeşitlendirilmiş mürettebat sistemlerinin, monokültürle kıyasla farklı ve zaman içinde değişen AMF tür kompozisyonlarını olumlu olarak desteklediğini ortaya koymuştur (Mogyorosi ve ark., 2015).
WOSCON

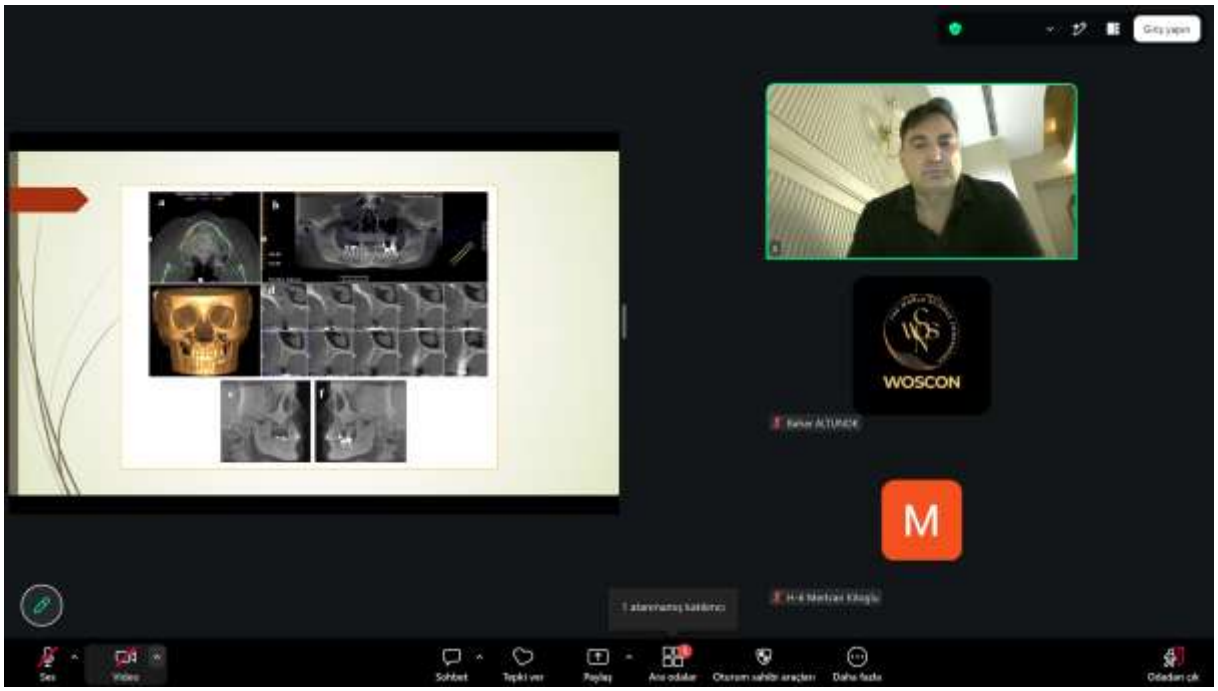

WOSCON
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ana odalar
Otorum sahibi araçları
Daha fazla
Odadan çık

İstatistiksel Karşılaştırma — 3D Çalıştırma, %3D D0
WOSCON
hall-7_Mustafa...
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ana odalar
Otorum sahibi araçları
Daha fazla
Odadan çık

SAĞLIK SİGORTASI
WOSCON
Sonuç

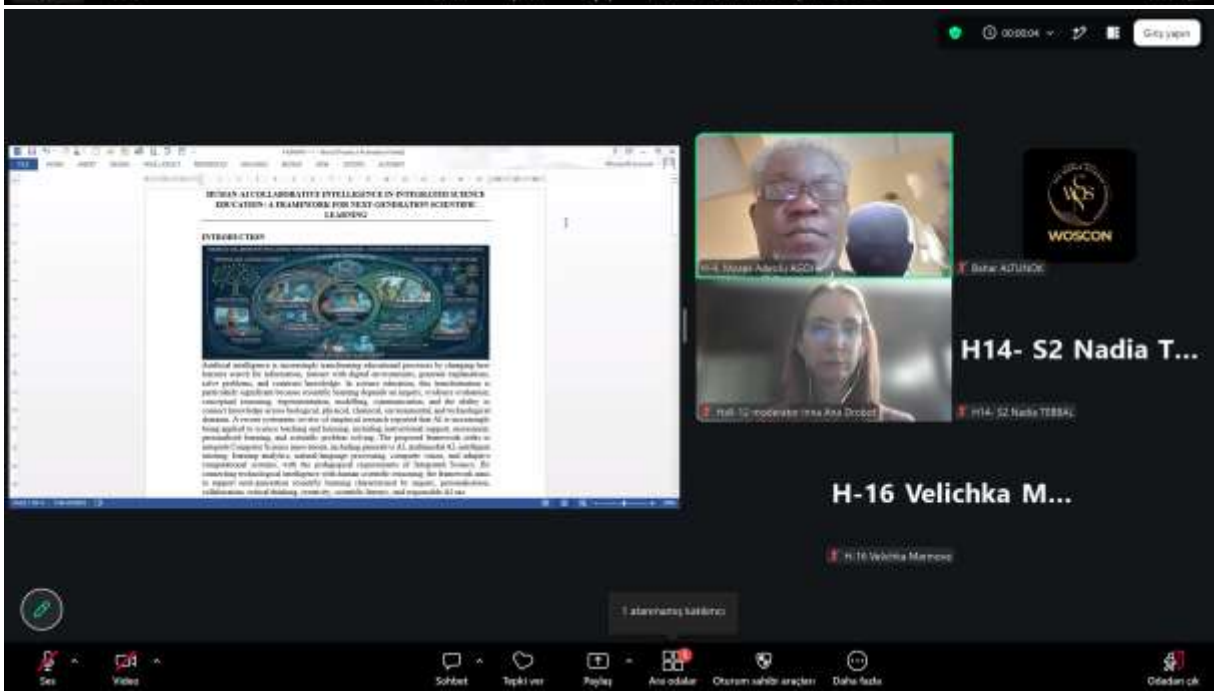

Nutrients and biological response
Field observation at the Tuzla coastal sampling area
257 µg/L
49.86 µg/L
144 µg/L
379.6 µg/L
5.34 µg/L
Visible biological accumulation in the nearshore zone
Nutrient and chlorophyll-a peaks did not always occur at the same time.
High nutrients do not always mean high chlorophyll-a at the same time. Phytoplankton can use nutrients quickly, so nutrient levels may decrease while biological activity remains high.
WOSCON
Bahar AZTUNOK


WOSCON
Bahar AZTUNOK
Arzu Karimova s...
Tarana Akbari s...

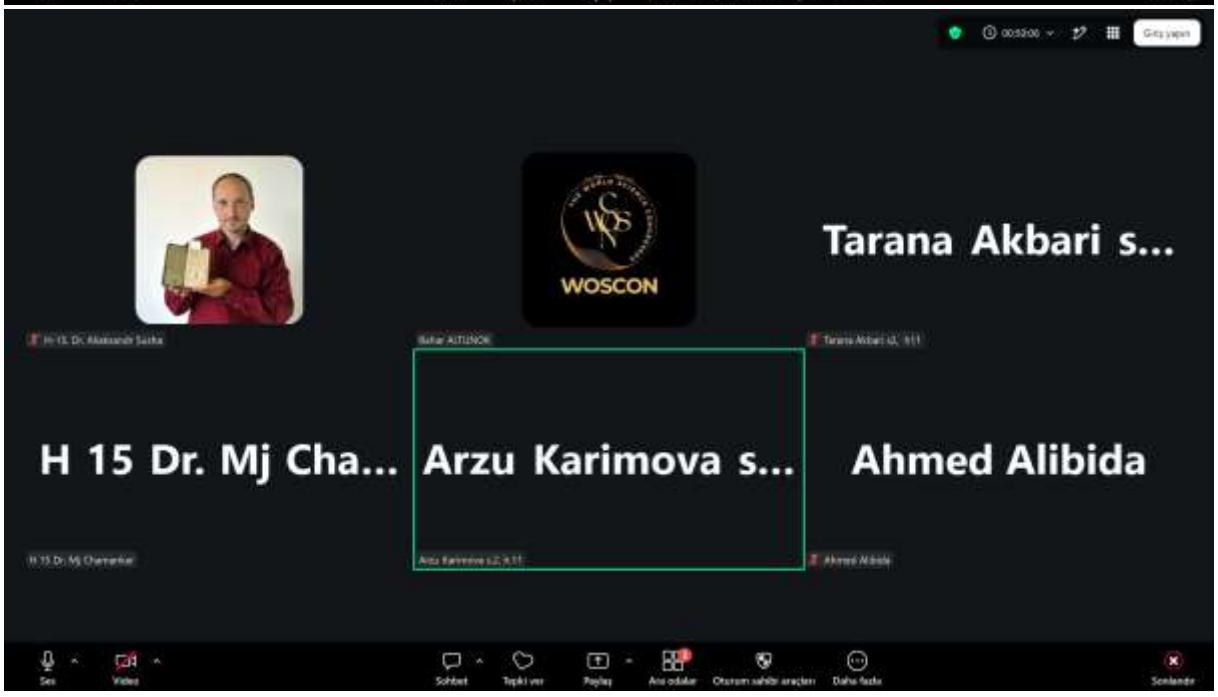

WOSCON
M
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ana odalar
Odadan çık

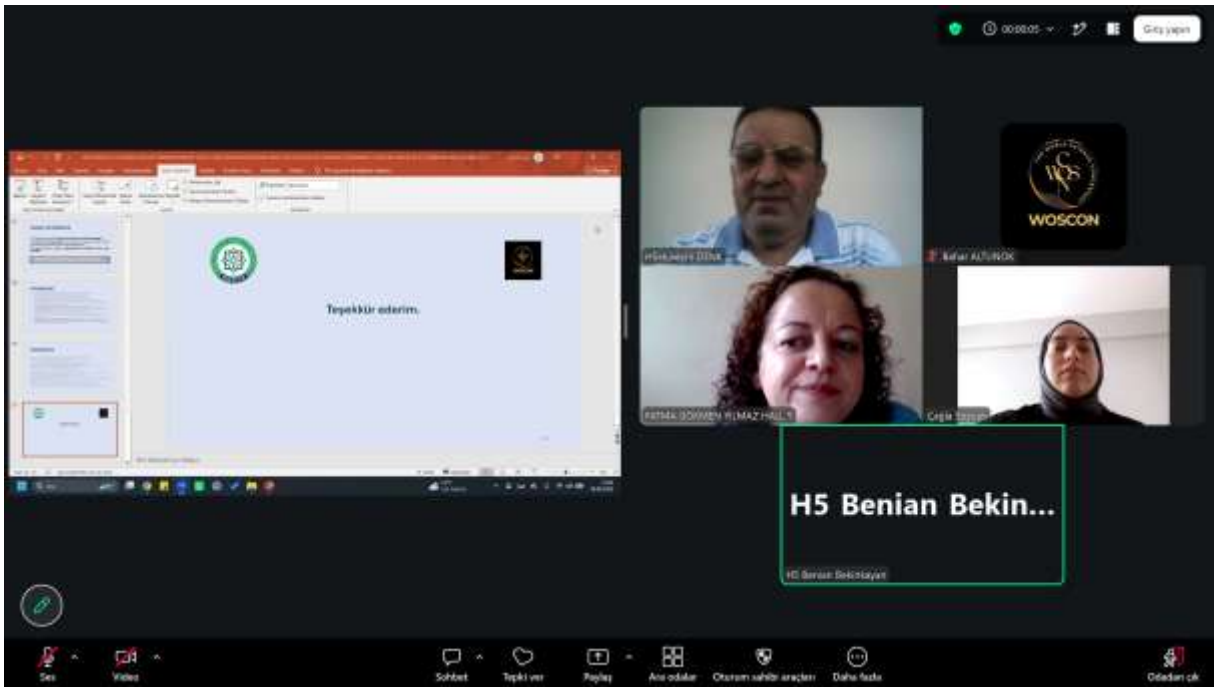
WOSCON
Yarık Damak Onarımı Geçirmiş 6–10 Yaş Arası Çocuklarda Artikülasyon Bozuklukları ve Velofarengeal Fonksiyonun Değerlendirilmesi
X
WOSCON
M
Melike Altuntop
S
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ana odalar
Odadan çık

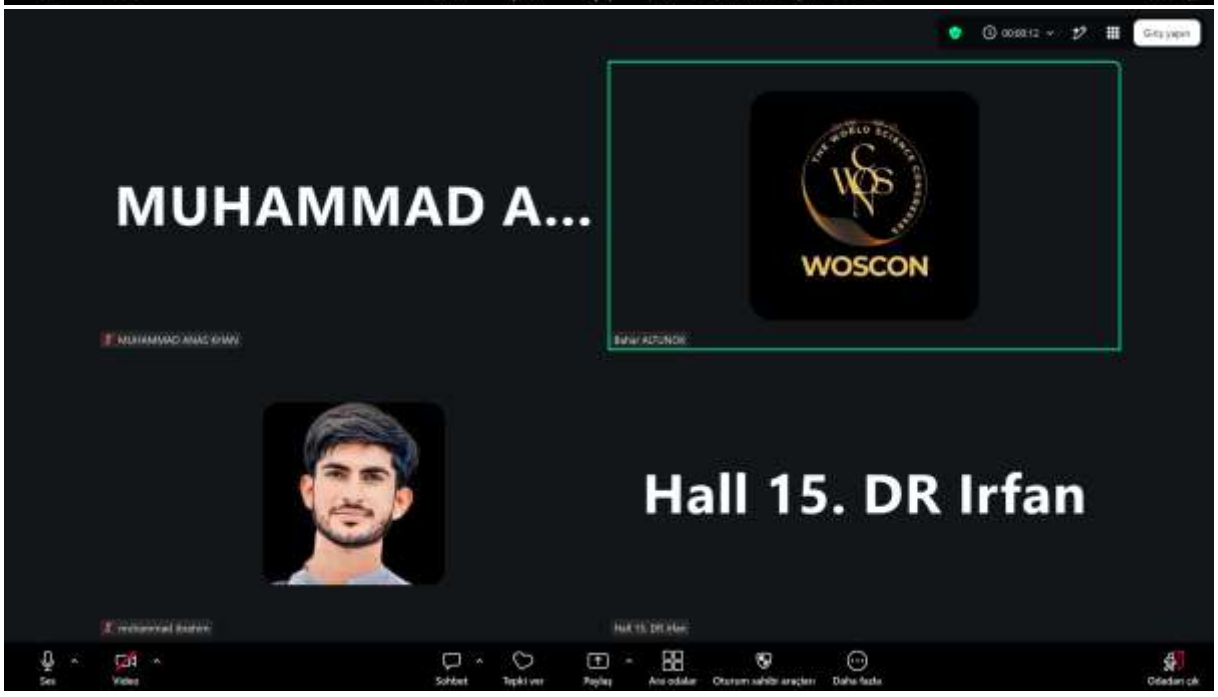
WOSCON
Dr. Mj Chamankar Dr. Prof. Kamal...


WOSCON
H14- S2 Nadia T...
H-16 Velichka M...

Conclusion & Future Work
Conclusion: Decomposing OWF-led restoration into cooperating CTDE-trained agents restores load faster and with fewer stability violations than heuristic or single-agent baselines.
Immediate Future Work:
Deep MAPPO: Replace tabular agents with deep actor-critic networks.
Full EMT Validation: Migrate the environment to Simulink/Simscape or PSS/E.
Real Data: Validate against PMU/SCADA records or the EPRI CVOW feasibility study.
Coordination: Extend to multiple OWFs and onshore black-start units simultaneously.
Ahmed Alibida
WOSCON
Samia Latreche
H-16 Velichka M...
O


WOSCON
Tarana Akbari s...
H 15 Dr. Mj Cha...
Arzu Karimova s...
Ahmed Alibida


Teşekkür ederim.
WOSCON
H5 Benian Bekin...


MUHAMMAD A...
WOSCON
Hall 15. DR Irfan

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

SPORCULARDA UYKU KALİTESİ, TOPARLANMA VE SPORTİF PERFORMANS İLİŞKİSİ 12

THE RELATIONSHIP BETWEEN SLEEP QUALITY, RECOVERY, AND ATHLETE PERFORMANCE IN ATHLETES 13

SPORCULARDA ANTRENMAN YÜKÜ, TOPARLANMA VE YORGUNLUK İLİŞKİSİ: LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ 36

THE RELATIONSHIP BETWEEN TRAINING LOAD, RECOVERY, AND FATIGUE IN ATHLETES: A LITERATURE REVIEW 37

SPORA KATILIMIN YAŞAM DOYUM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BAZI DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ 53

AN EXAMINATION OF THE EFFECT OF SPORTS PARTICIPATION ON LIFE 54

SATISFACTION ACCORDING TO SOME DEMOGRAPHIC VARIABLES 54

GELENEKSEL SPORLARIN YAYGINLAŞTIRILMASI BAĞLAMINDA ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN TUTUMLARININ DEMOGRAFİK VE SPORTİF ÖZELLİKLERE GÖRE İNCELENMESİ 64

ESPORCULARDA RUMİNASYON VE PERFORMANS: HATA SONRASI YENİDEN ODAKLANMA VE ÖZ-DÜZENLEME SÜREÇLERİ 88

RUMINATION AND PERFORMANCE IN ESPORTS PLAYERS: POST-ERROR REFOCUSING AND SELF-REGULATION PROCESSES 89

ESPORCULARDA ZİHİNSEL YORGUNLUK VE TİLT: BİLİŞSEL YÜK, ÖZ-DÜZENLEME VE PERFORMANS BOZULMASI 101

MENTAL FATIGUE AND TILT IN ESPORTS PLAYERS: COGNITIVE LOAD, SELF-REGULATION, AND PERFORMANCE IMPAIRMENT 102

EGZERSİZİN TÜKÜRÜK LİZOZİM KONSANTRASYONU VE SEKRESYON HIZI ÜZERİNE ETKİLERİ: SİSTEMATİK DERLEME VE META-ANALİZ 115

EKSTERNAL KÖK REZORPSİYONU İLE İLİŞKİLİ İLERİ GİNGİVAL ÇEKİLMENİN MULTİDİSİPLİNER YÖNETİMİ: 1 YILLIK OLGU TAKİBİ 116

MULTIDISCIPLINARY MANAGEMENT OF ADVANCED GINGIVAL RECESSION ASSOCIATED WITH EXTERNAL ROOT RESORPTION: A 1-YEAR CASE FOLLOW-UP 117

MANDİBULAR ANTERİOR BÖLGEDE GİNGİVAL ÇEKİLMELERİN SERBEST DİŞ ETİ GREFTİ İLE TEDAVİSİ: 2 YILLIK OLGU TAKİBİ 118

TREATMENT OF GINGIVAL RECESSIONS IN THE MANDIBULAR ANTERIOR REGION WITH A FREE GINGIVAL GRAFT: A 2-YEAR CASE FOLLOW-UP 119

PROTETİK REHABİLİTASYON SONRASI GELİŞEN, PERSİSTAN VE ALVEOLER KEMİK DESTRÜKSİYONU İLE SEYREDEN MANDİBULAR LEZYON: OLGU SUNUMU 120

MANDIBULAR LESION DEVELOPING FOLLOWING PROSTHETIC REHABILITATION WITH PERSISTENT COURSE AND ALVEOLAR BONE DESTRUCTION: A CASE REPORT 121

TRAVMATİK DENTAL YARALANMA SONRASI GELİŞEN PERSİSTAN PERİAPİKAL LEZYONUN KOMBİNE CERRAHİ-ENDODONTİK YÖNETİMİ 122

COMBINED SURGICAL-ENDODONTIC MANAGEMENT OF A PERSISTENT PERIAPICAL LESION FOLLOWING TRAUMATIC DENTAL INJURY 124

İMPLANT DESTEKLİ RESTORASYONDA GEÇİCİ ABUTMENT VE KOMPOZİT İLE PERİ-İMPLANT YUMUŞAK DOKU ÇIKIŞ PROFİLİNİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ: OLGU SUNUMU 126

SHAPING THE PERI-IMPLANT SOFT-TISSUE EMERGENCE PROFILE WITH A TEMPORARY ABUTMENT AND COMPOSITE RESIN IN AN IMPLANT-SUPPORTED RESTORATION: A CASE REPORT 128

BUKKAL MUKOZADA LOKALİZE İRRİTASYON FİBROMUNUN EKSİZYONEL YAKLAŞIMLA YÖNETİMİ: OLGU SUNUMU 130

MANAGEMENT OF LOCALIZED IRRITATION FIBROMA OF THE BUCCAL MUCOSA USING AN EXCISIONAL APPROACH: A CASE REPORT 131

AKUT GİNGİVAL APSENİN CERRAHİ OLMAYAN YÖNETİMİ: DRENAJ VE MEKANİK DEBRİDMAN İLE KLİNİK İYİLEŞME 132

NON-SURGICAL MANAGEMENT OF ACUTE GINGIVAL ABSCESS: CLINICAL HEALING FOLLOWING DRAINAGE AND MECHANICAL DEBRIDEMENT 133

TAM DİŞSİZ HASTADA MAKSİLLA VE MANDİBULADA EŞ ZAMANLI ALVEOLOPLASTİ: OLGU SUNUMU 134

SIMULTANEOUS ALVEOLOPLASTY OF THE MAXILLA AND MANDIBLE IN A COMPLETELY EDENTULOUS PATIENT: A CASE REPORT 135

KANAL TEDAVİSİ SONRASI PERSİSTAN PERİAPİKAL LEZYONDA KOMBİNE CERRAHİ YAKLAŞIM: APİKAL REZEKSİYON VE RETROGRAD DOLGU 136

COMBİNED SURGİCAL APPROACH TO A PERSİSTENT PERİAPİCAL LESİON FOLLOWİNG ROOT CANAL TREATMENT: APİCAL RESECTİON AND RETROGRADE FİLLİNG 137

EPULİS EKSİZYONU VE EŞ ZAMANLI VESTİBÜLOPLASTİ İLE YUMUŞAK DOKU YÖNETİMİ: OLGU SUNUMU 138

EPULIS EXCISION AND SIMULTANEOUS VESTIBULOPLASTY FOR SOFT TISSUE MANAGEMENT: A CASE REPORT 139

AN INTERVAL-WIDTH-SENSITIVE ENTROPY AND GAINED–LOST DOMINANCE MODEL FOR CYBERSECURITY SOFTWARE SELECTION 140

A BORDA-BASED WASPAS–MOORA CONSENSUS FRAMEWORK UNDER Q-RUNG ORTHOPAIR FUZZY SOFT INFORMATION 150

MAKINE ÖĞRENMESI İLE FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLER: GAFF2 TABANLI MOLEKÜLER TANIMLAYICILARLA ERİME NOKTASI VE STANDART BUHARLAŞMA ENTALPİSİNİN MODELLENMESİ 162

PHYSICOCHEMICAL PROPERTY PREDICTION WITH MACHINE LEARNING: MODELING MELTING POINT AND STANDARD ENTHALPY OF VAPORIZATION USING GAFF2-BASED MOLECULAR DESCRIPTORS 163

ROBUST PORT SELECTION FOR FLUID ANTENNA SYSTEMS IN UAV COMMUNICATIONS UNDER SPATIAL JITTER AND IMPERFECT CSI 182

ENERGY-EXERGY PERFORMANCE OF A GRAPHENE/H-BN/AL_2O_3 NANOLUBRICANT IN AN R134A SYSTEM 192

SENKRON GENERATÖR MODELLERİ İLE DURUM DEĞİŞKENLERİNİN FAZ UZAYINDA İNCELENMESİ 205

ANALYSIS OF STATE VARIABLES IN PHASE SPACE USING SYNCHRONOUS GENERATOR MODELS 206

ELECTRIC VEHICLES IN TÜRKİYE: LIFE-CYCLE IMPACTS AND FUTURE PROJECTIONS 221

PHENOLIC BIOACTIVE ALTERATIONS OF SPIRULINA MICROALGAE BASED NUTRACETICALS AND FUNCTIONAL FOODS BY NON-THERMAL PULSED ELECTRICAL FIELD (PEF) PROCESSING 234

BIOMASS LIPID PROFILES OF SUPERFOOD SPIRULINA MICROALGAE AS FUNCTIONAL DRINK AND FOOD SUPPLEMENT 240

BIOMASS LIPID PROFILES OF SUPERFOOD SPIRULINA MICROALGAE AS FUNCTIONAL DRINK AND FOOD SUPPLEMENT 241

ORGANİK TARIM UYGULAMALARININ ARBUSKÜLER MİKORİZAL FUNGUS (AMF) SPORLARININ SAYI VE ÇEŞİTLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ 247

EFFECTS OF ORGANIC FARMING PRACTICES ON THE NUMBER AND DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGUS (AMF) SPORES 248

PROPOLİSİN ANTİOKSİDAN KAPASİTESİNİ ARTIRMAK İÇİN ENZİM DESTEKLİ EKSTRAKSİYON 257

ENZYME-ASSİSTED EXTRACTİON FOR IMPROVED ANTİOXİDANT CAPACİTY OF PROPOLİS 258

***BAY LEAVE* SULU ÖZÜTÜ KULLANILARAK ÜRETİLEN BİYOJENİK SELENYUM NANOPARÇACIKLARININ SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU 269**

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOGENIC SELENIUM NANOPARTICLES PRODUCED USING *BAY LEAVE* AQUEOUS EXTRACT 271

FARKLI ŞEKİLERDE UYGULANAN LİTYUMUN ISPANAKTA BİOFORTİFİKASYONU VE LİTYUM ALIM ETKİNLİĞİNE ETKİLERİ 281

EFFECTS OF DIFFERENT APPLICATIONS OF LITHIUM ON BIOFORTIFICATION AND LITHIUM UPTAKE EFFICIENCY IN SPINACH 282

YERLEŞİM SIKLIĞINA MARUZ BIRAKILAN ETLİK PİLİÇLERDE POSTBİYOTİK İLAVESİNİN AYAK TABAN DERMATİTİ ÜZERİNE ETKİSİ 290

EFFECT OF POSTBIOTIC SUPPLEMENTATION ON FOOTPAD DERMATITIS IN BROILERS SUBJECTED TO STOCKING DENSITY 292

YERLEŞİM SIKLIĞINA MARUZ BIRAKILAN BROYLERLERDE PRECİSİON BİOTİC İLAVESİNİN AYAK TABAN DERMATİTİ ÜZERİNE ETKİSİ 301

EFFECT OF PRECISION BIOTIC SUPPLEMENTATION ON FOOTPAD DERMATITIS IN BROILERS SUBJECTED TO STOCKING DENSITY 303

İNCİ KEFALİNİN ÖZELLİKLERİ VE BÖLGE HALKINA KATKILARI 312

CHARACTERİSTİCS OF THE PEARL MULLET AND ITS CONTRUBITIONS TO THE LOCAL COMMUNİTY 313

VAN İLİNİN ÇOĞRAFİ İŞARETLİ HAYVANSAL ÜRÜNLERİ 324

GEOGRAPHCALLY İNDİCATED ANİMAL PRODUCTS OF VAN PROVİNCE 325

FORENSIC ODONTOLOGY 343

ADLİ ODONTOLOJİ 344

DENTAL RADIOLOGICAL EXAMINATION IN FORENSIC DENTISTRY 349

ADLİ DİŞ HEKİMLİĞİNDE DENTAL RADYOLOJİK MUAYENE 350

DENTOMAKSİLLOFASİYAL BÖLGEDE SHEAR WAVE ELASTOGRAFİ: GÜNCEL UYGULAMA ALANLARI VE KLİNİK KULLANIMA GEÇİŞ ENGELLERİ..... 356

SHEAR WAVE ELASTOGRAPHY IN THE DENTOMAXILLOFACIAL REGION: CURRENT APPLICATIONS AND BARRIERS TO CLINICAL TRANSLATION 357

YARIK DAMAK ONARIMI GEÇİRMİŞ 6–10 YAŞ ARASI ÇOCUKLARDA ARTİKÜLASYON BOZUKLUKLARI VE VELOFARİNGEAL FONKSİYONUN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 358

EVALUATION OF ARTICULATION DISORDERS AND VELOPHARYNGEAL FUNCTION IN CHILDREN AGED 6–10 YEARS WITH REPAIRED CLEFT PALATE..... 360

SEREBRAL PALSİLİ ÇOCUKLARDA KONUŞMA MOTOR PERFORMANSI VE ARTİKÜLASYON ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 362

EVALUATİON OF SPEECH MOTOR PERFORMANCE AND ARTİCULATİON CHARACTERİSTİCS İN CHİLDREN WİTH CEREBRAL PALSY 364

FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ÖĞRENCİLERİNDE YAPAY ZEKÂ OKURYAZARLIĞININ YAPAY ZEKÂ KAYGISI VE ÇEVRİMİÇİ ÖĞRENMEYE HAZIR BULUNUŞLUK İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ..... 365

THE RELATIONSHIP OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE LITERACY WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE ANXIETY AND ONLINE LEARNING READINESS AMONG PHYSIOTHERAPY AND REHABILITATION STUDENTS 366

HİYERARŞİK KARŞITLIK ÖĞRENMELİ DEĞİŞTİRİLMİŞ ÇIKARMA-ORTALAMA TABANLI OPTİMİZATÖR (MSHO) KULLANILARAK IEEE 33 BARALI DAĞITIM SİSTEMİNDE ÇOK AMAÇLI OPTİMAL GÜÇ AKIŞI..... 367

MULTI-OBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW IN IEEE 33-BUS DISTRIBUTION SYSTEM USING MODIFIED SUBTRACTION-AVERAGE BASED OPTIMIZER WITH HIERARCHICAL OPPOSITION LEARNING (MSHO) 368

PSO, WOA, SSA VE MFO ALGORİTMALARI KULLANILARAK 22 BARALI 380 KV TÜRKİYE GÜÇ SİSTEMİNİN OPTİMAL GÜÇ AKIŞI ANALİZİ 379

OPTIMAL POWER FLOW ANALYSIS OF 22-BUS 380 KV TURKISH POWER SYSTEM USING PSO, WOA, SSA, AND MFO ALGORITHMS..... 380

ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNDE EĞİTİM YAPILARININ KAPSAYICI TASARIM VE MEKÂNSAL ERİŞİLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA SORGULANMASI: YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ DOĞU VE BATI YERLEŞKELERİ ÖRNEĞİ 390

AN ASSESSMENT OF EDUCATIONAL BUILDINGS ON UNIVERSITY CAMPUSES IN TERMS OF INCLUSIVE DESIGN AND SPATIAL ACCESSIBILITY: THE CASE OF YOZGAT BOZOK UNIVERSITY'S EASTERN AND WESTERN CAMPUSES 391

ÜNİVERSİTE KAMPÜS YAPILARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR İÇ MEKÂN TASARIMI: AHŞAP, AKUSTİK KONFOR VE BİYOFİLİK YAKLAŞIMLAR ÜZERİNE BİR İNCELEME 402

SUSTAINABLE INTERIOR DESIGN IN UNIVERSITY CAMPUS BUILDINGS: A STUDY ON WOOD, ACOUSTIC COMFORT, AND BIOPHILIC APPROACHES 404

HASTALIK VE SAĞLIK SİGORTASI 406

DISEASE AND HEALTH INSURANCE 408

MARKA KİMLİĞİNDE DÜZENLEYİCİ UYUM: KİŞİ İÇİ BİR İNCELEME 409

REGULATORY FIT IN BRAND IDENTITY: A WITHIN-PERSON EXAMINATION 410

DİJİTAL MEDYADA SAĞLIK İLETİŞİMİ: YOUTUBE'DA YAYINLANAN SAĞLIK VİDEOLARININ BETİMSEL ANALİZİ 418

HEALTH COMMUNİCATİON İN DİGİTAL MEDİA: A DESCRİPTİVE ANALYSİS OF HEALTH VİDEOS POSTED ON YOUTUBE 419

ÇEVRE, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE DİN İLİŞKİSİ BAĞLAMINDA İLAHİYAT EĞİTİMİ: HOLLANDA, TÜRKİYE VE BOSNA-HERSEK ÖRNEĞİ 428

THEOLOGICAL EDUCATION IN THE CONTEXT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ENVIRONMENT, CLIMATE CHANGE AND RELIGION: THE CASE OF THE NETHERLANDS, TÜRKİYE AND BOSNIA AND HERZEGOVINA 430

MODERN ŞİİRİN PEŞİNDE: TEVFİK FİKRET'İN ŞİİRLERİNDE GÜNDELİK HAYAT 441

IN PURSUIT OF MODERN POETRY: EVERYDAY LİFE İN THE POETRY OF TEVFİK FİKRET . 442

THE REPRESENTATION OF MULTICULTURAL VALUES IN AZERBAIJANI LITERATURE 449

AZERBAYCAN ÇOCUK EDEBİYATINDA AHLAKİ-DİDAKTİK DÖNEMİN 455

OLUŞUM TARİHİ 455

HISTORY OF THE FORMATION OF THE MORAL-DIDACTIC PERIOD IN 456

AZERBAIJAN CHILDREN'S LITERATURE 456

CHRİS KELLY'NİN ANALİZLERİ IŞIĞINDA ROUSSEAU'DA KİMLİK, KAHRAMANLIK VE TOPLUMSAL İNŞA 462

IDENTİTY, HEROİSM, AND SOCİAL CONSTRUCTİON İN ROUSSEAU İN LİGHT OF CHRİS KELLY'S ANALYSES 464

MİCHAEL SUGRUE'NUN PERSPEKTİFİNDEN "GENÇ WERTHER'İN ACILARI": ERKEN ROMANTİZM, STURM UND DRANG VE AYDINLANMA ELEŞTİRİSİ 466
THE SORROWS OF YOUNG WERTHER FROM THE PERSPECTİVE OF MİCHAEL SUGRUE: EARLY ROMANTİCİSM, STURM UND DRANG, AND THE CRİTİQUE OF ENLİGHTENMENT 468
XIX ƏSRİN İKİNCİ YARISI AMERİKA ƏDƏBİYYATINDA REALİZM 470
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI KIYI ŞERİDİ DENİZ EKO SİSTEMİNİN KİMYASI 476
THE CHEMISTRY OF COASTAL STRIP MARINE ECOSYSTEM DEPENDING ON CLIMATE CHANGE 477
SUSTAINABILITY-ORIENTED EVALUATION OF E-COMMERCE DISTRIBUTION CENTER CANDIDATES USING AN AHP-TOPSIS APPROACH 478
RENEWABLE ENERGIES IN AGRICULTURE 479
TARIMDA YENİLENEBİLİR ENERJİ 480
CLIMATE CHANGE, DAY ZERO AND AGRICULTURE 486
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, GÜN SIFIR VE TARIM 487
COMPREHENSIVE ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE PATTERNS OF CHANGES IN THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ORGANIZATION OF ECOSYSTEMS UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION 493
MECHANISMS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE STRUCTURAL COMPONENTS OF BIODIVERSITY AND THE DYNAMICS OF ECOSYSTEM FUNCTIONS IN NATURAL ECOSYSTEMS 514
SALAH NÖVRƏSİN POETİKASI 538
SÜNİ İNTELLEKTİN TƏHSİLDƏ İSTİFADƏSİNİN PEDAQOJİ ASPEKTLƏRİ 541
YAPAY ZEKANIN EĞİTİMDE KULLANIMININ PEDAGOJİK BOYUTLARI 541
PEDAGOGICAL ASPECTS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION 542
SÜNİ İNTELLEKTİN TƏHSİLDƏ İSTİFADƏSİNİN PEDAQOJİ ASPEKTLƏRİ 543
İBTİDAİ TƏHSİLDƏ PSİXOLOJİ–PEDAQOJİ MÜHİT 549
İLKÖĞRETİMDE PSİKOLOJİK-PEDAGOJİK ORTAM 549
PSYCHOLOGICAL-PEDAGOGICAL ENVIRONMENT IN PRIMARY EDUCATION 550
İBTİDAİ TƏHSİLDƏ PSİXOLOJİ–PEDAQOJİ MÜHİT 551

İLKOKUL ÖĞRENCİLERİNDE İNCE MOTOR AKTİVİTE VE SENSO-MOTOR HAFIZANIN AKADEMİK BAŞARIYA VE ZİHİNSEL TEMSİLLERE ETKİSİ 557
THE EFFECT OF FINE-MOTOR ACTIVITY AND SENSO-MOTOR MEMORY ON ACADEMIC ACHIEVEMENT AND MENTAL REPRESENTATIONS IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS 558
NİZAMİ GƏNCƏVİNİN “SİRLƏR XƏZİNƏSİ” POEMASINDA XI SÖHBƏT: “DÜNYANIN VƏFASIZLIĞI” 564
ELMİN VƏ TƏHSİL SAHƏSİNİN İNKİŞAFINDA QADINLARIN ROLU 567
ROLE OF WOMEN İN THE DEVELOPMENT OF SCİENCE AND EDUCATİONAL SPHERE 568
QƏTRAN TƏBRİZİ YARADICILIĞINDAN 569
WAYS OF WRITING AN ACADEMIC ESSAY 571
ORFOQRAFİYA VƏ ORFOEPİYANIN İNKİŞAF TARİXİNƏ DAİR 574
ON THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF ORTHOGRAPHY AND ORTHOEPY 575
THE HOUSING CRISIS AND THE DELAYED TRANSITION TO ADULTHOOD: SOCIAL VULNERABILITY AND RESIDENTIAL AUTONOMY AMONG YOUNG PEOPLE 580
WORK UNDER ALGORITHMIC SURVEILLANCE: PROFESSIONAL AUTONOMY, DIGITAL CONTROL, AND PSYCHOSOCIAL RISKS IN EMERGING WORK ENVIRONMENTS 608
AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT WAR RUINS BY HIFSA ASHRAF 639
AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT SUMMER LEAVES BY JESSICA RENEE DAWSON 643
AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT THERAPY AND WILDFLOWERS BY STEPHEN A. PETERS 650
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PRIMARY EDUCATION: ITS USE BY TEACHERS FOR PLANNING, DIFFERENTIATION, AND THE CREATION OF TEACHING MATERIALS 656
THE USE OF CROSS-CURRICULAR PROJECTS IN THE DEVELOPMENT OF STUDENTS’ COMPETENCIES 658
HUMAN-AI COLLABORATIVE INTELLIGENCE IN INTEGRATED SCIENCE EDUCATION: A FRAMEWORK FOR NEXT-GENERATION SCIENTIFIC LEARNING 659
GEOLOGICAL CONTROLS ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY: A REVIEW OF SOIL MINERALOGY, GEOGENIC NUTRIENTS, HEAVY METALS AND SUSTAINABLE AGRICULTURAL MANAGEMENT 679
ORGANOCATALYSIS IN MODERN ORGANIC SYNTHESIS: MECHANISMS, APPLICATIONS, AND FUTURE PERSPECTIVE 699

AZƏRBAYCAN ŞAİRİ ŞEYH İBRAHİM GÜLŞENİ (1426-1535) BERDEİ'NİN İLAHİ AŞK VASIFLARINDA MİNACAT KATLARI-II YAZI: III-VII KATLAR 715

LAYERS OF *MUNAJAT* (SUPPLİCATİON) İN THE DİVİNE LOVE ATTRİBUTES OF THE AZERBAİJANİ POET SHEİKH IBRAHİM GULSHANİ (1426–1535) BARDA'İ – PART II: LAYERS III–VII 717

HZ. NUH AS. QAVMİNDEN GELEN KÜFÜRLERİN MAZMUN İŞARETLERİ VƏ BELA YELKENLERİ 719

HZ. NOAH AS. PROPHET SIGNS OF CURSES COMING FROM QAVMIN AND SAILS OF TROUBLE 721

BİOLOGİYA DƏRSLƏRİNDƏ TƏDRİS EKSPERİMENTİNİN ŞAGİRDLƏRİN ELMİ FƏALİYYƏTƏ MARAĞININ FORMALAŞMASINA TƏSİRİ 723

THE EFFECT OF TEACHING EXPERIMENTS IN BIOLOGY LESSONS ON THE FORMATION OF STUDENTS' INTEREST IN SCIENTIFIC ACTIVITY 724

THE USE OF CONCEPTUAL MODELS IN TEACHING FOOD CHAINS AND TROPHIC RELATIONSHIPS IN BIOLOGY EDUCATION 739

THE POTENTIAL OF PRACTICAL AND EXPERIMENTAL METHODS IN TEACHING SOIL ECOLOGY 758

TƏLİM SİTUASIYALARI VƏ ONLARDA İSTİFADƏ OLUNAN TEXNOLOGİYALAR 774

INSTRUCTIONAL SITUATIONS AND THE TECHNOLOGIES USED IN THEM 781

SHAHLA MIRZAYEVA 781

BALASAQUNLU YUSİFİN "QUTADĞU BİLİG" ƏSƏRİNDƏ ELM, BİLİK VƏ ŞƏXSİYYƏT PROBLEMİ 783

THE PROBLEM OF KNOWLEDGE, INTELLECT, AND PERSONALITY IN YUSUF BALASAGHUNI'S QUTADGHU BILIG 794

ALGORITHMIC ABLEISM: HOW AI DIAGNOSTIC TOOLS AND PREDICTIVE ANALYTICS ARE REPRODUCING SOCIAL INEQUALITIES IN AUTISM DETECTION 795

INFLUENCE OF PRECURSOR CHEMICAL VARIABILITY ON SETTING KINETICS AND ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH OF GEOPOLYMER MATRICES 796

NEURO-RIGHT TO THE CITY": SENSORY REDLINING AND THE SPATIAL EXCLUSION OF AUTISTIC INDIVIDUALS IN NEOLIBERAL URBANISM 797

GRID RESTORATION (BLACK-START) BY OFFSHORE WIND FARMS USING MULTI-AGENT DEEP REINFORCEMENT LEARNING (MADRL) 798

HYBRID NEURO-FUZZY PREDICTIVE CONTROL FOR MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF FLOATING OFFSHORE WIND FARMS 799

MECHANICAL ENGINEERING 5.0: INTEGRATING GENERATIVE AI, DIGITAL TWINS, ROBOTICS, AND INTELLIGENT AUTOMATION FOR NEXT-GENERATION MANUFACTURING 800

STRUCTURAL CHARACTERIZATIONS AND HOMOMORPHIC PROPERTIES OF SOFT LEFT ALMOST SEMIRINGS 816

EMERGENCE OF LIMIT CYCLE AND TREATMENT INDUCED ENTRAINMENT IN A PLANAR MODEL 817

PROJECTS FOR GROWING MEDICINAL PLANTS ON FALLOUT LANDS OF THE DNIPRO STEPPE REGION 818

INSTRUCTIONAL MANAGEMENT OF PRINCIPALS AND JOB PERFORMANCE OF TEACHERS: COMPARING PUBLIC AND PRIVATE SECTOR SCHOOLS IN PAKISTAN 820

THE ROUTE OF THE NIQLAOUI (MEDJOOL) DATE FROM THE JORDAN VALLEY TO THE ARABIAN PENINSULA AND THE ARABIAN GULF, AND ITS ECONOMIC IMPACTS 821

PROJECT MANAGEMENT PRACTICES IN CONSTRUCTION PROJECTS AND THEIR ROLES IN ACHIEVING SUSTAINABILITY — A COMPREHENSIVE REVIEW 823

CULTURAL COMPATİBİLİTY İN HERİTAGE REVİTALİZATİON (NEW FUNCTİONS FOR HİSTORİC PLACES) 824

AMERICANS IN THE PERSIAN GULF DURING WORLD WAR II 838

THE PRAGMA-COGNITIVE NATURE OF INDIRECT SPEECH ACTS IN ENGLISH AND UZBEK: EVIDENCE FROM INTERROGATIVE AND IMPERATIVE CONSTRUCTIONS 848

PROSPECTS AND CHALLENGES OF SOLAR ENERGY UTILISATION IN THE MIRZACHO‘L (HUNGRY STEPPE) REGION OF UZBEKISTAN 855

SYNERGİSTİC CU–FE BİMETALLİC CO-COMPOSİTES FOR EFFİCİENT ELECTROCATALYTİC REDUCTİON OF 4-NİTROPHENOL 865

HOMOZYGOSITY MAPPING OF A CONSANGUINEOUS FAMILY WITH INHERITED DWARFISM FROM DISTRICT KOHAT 866

PROMOTING DRIED OKRA SAUCE AT THE NEW HOTEL SOSSA : CHALLENGES AND PROSPECTS FOR BENIN'S GASTRONOMIC TOURISM 867

CHALLENGES OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE TCHIKOMEY AND ZONGO NEIGHBORHOODS OF LOKOSSA, BENIN 878

LIVING URBAN SURFACES: A PRELIMINARY STUDY ON CONCRETE COLONIZATION BY AUTOTROPHIC CRYPTOGAMIC ORGANISMS 892

PHYSICAL AND MECHANICAL PERFORMANCE OF SUSTAINABLE GEOPOLYMER MORTAR PRODUCED FROM GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG 893

PV INSTALLATION MODELING AND MONITORING WITH BOND GRAPH 895

EMERGENCY CESAREAN SECTION AND CONCOMITANT MYOMECTOMY IN A PRIMIPAROUS WOMAN WITH MULTIPLE UTERINE LEIOMYOMAS AND DYSFUNCTIONAL LABOR: A CASE REPORT 900

SPORCULARDA UYKU KALİTESİ, TOPARLANMA VE SPORTİF PERFORMANS İLİŞKİSİ

Dr. Yusuf KURT[1] Dr. Cihad Onur KURHAN[2] Doç. Dr. Davut ATILGAN[3]

[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Kahramanmaraş, Türkiye, yusufkurt0046@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6066-6109

[2]İnönü Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor, Malatya, Türkiye, cihadonurkurhan@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1892-6245

[3]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Kahramanmaraş, Türkiye, davutatilgan@ksu.edu.tr, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8475-4488

Özet

Bu çalışmanın amacı, sporcularda uyku kalitesi ve süresi ile fizyolojik ve psikolojik toparlanma, sportif performans ve sağlık arasındaki ilişkileri incelemek; uykuyu etkileyen başlıca faktörleri ve uyku değerlendirme ile geliştirme yaklaşımlarını literatür doğrultusunda değerlendirmektir. Çalışma geleneksel literatür derlemesi olarak hazırlanmıştır. Google Scholar, PubMed, Web of Science, Scopus ve SPORTDiscus'ta 2015–2025 yılları arasında yayımlanan ulusal ve uluslararası çalışmalar ilgili Türkçe ve İngilizce anahtar sözcüklerle taranmıştır. Sistematik derlemeler, meta-analizler, literatür derlemeleri ve ilgili özgün araştırmalar konu başlıklarına göre sınıflandırılarak anlatısal olarak sentezlenmiştir. İncelenen çalışmalar, sporcularda uyku süresi, kalitesi ve zamanlamasının bireysel özellikler ile antrenman, müsabaka, seyahat, psikolojik durum ve yaşam tarzı gibi sportif ve çevresel faktörlere göre değişebildiğini göstermektedir. Yetersiz veya bozulmuş uyku; toparlanma, bilişsel ve psikomotor işlevler, algılanan yorgunluk ve çeşitli sportif performans göstergelerindeki olumsuz değişikliklerle ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte etkilerin büyüklüğü uyku kaybının türüne, performans bileşenine, sporcu özelliklerine ve kullanılan değerlendirme yöntemlerine göre farklılaşmaktadır. Uyku hijyeni eğitimi, uyku fırsatının artırılması ve uygun durumlarda gündüz uykusu gibi müdahalelerde öznel uyku ve uykululuk göstergelerinde olumlu sonuçlar daha tutarlı iken, nesnel uyku ve fiziksel performans bulguları daha heterojendir. Uyku, sporcularda performans, toparlanma ve sağlıkla ilişkili çok boyutlu bir değişkendir. Bu nedenle uyku süresi tek başına değerlendirilmemeli; uyku kalitesi, zamanlaması ve düzenliliği ile bireysel özellikler, antrenman yükü ve diğer toparlanma göstergeleri birlikte ele alınmalıdır. Uykuya yönelik izlem ve müdahalelerin sporcuya özgü gereksinimlere göre planlanması daha uygun görünmektedir.

Anahtar Kelimeler: Uyku kalitesi, Uyku süresi, Sporcu, Fizyolojik toparlanma, Sportif performans.

THE RELATIONSHIP BETWEEN SLEEP QUALITY, RECOVERY, AND ATHLETE PERFORMANCE IN ATHLETES

Abstract

This study aimed to examine the relationships between sleep quality and duration, physiological and psychological recovery, athletic performance, and health in athletes, and to evaluate the main factors affecting sleep as well as approaches to sleep assessment and improvement. This study was conducted as a traditional literature review. National and international studies published between 2015 and 2025 were searched in Google Scholar, PubMed, Web of Science, and Scopus using relevant English and Turkish keywords. Systematic reviews, meta-analyses, literature reviews, and relevant original studies were classified according to the main thematic areas and synthesized narratively. The reviewed literature indicates that sleep duration, quality, and timing in athletes may vary according to individual characteristics and sport-related and environmental factors, including training, competition, travel, psychological status, and lifestyle. Insufficient or disrupted sleep has been associated with adverse changes in recovery, cognitive and psychomotor functions, perceived fatigue, and various aspects of athletic performance. However, the magnitude of these effects appears to vary according to the type of sleep loss, performance domain, athlete characteristics, and assessment methods used. Sleep-related interventions, including sleep hygiene education, increasing sleep opportunity, and appropriately timed daytime napping, have generally produced more consistent improvements in subjective sleep and sleepiness outcomes, whereas findings for objective sleep measures and physical performance remain more heterogeneous. Sleep is a multidimensional factor associated with athletic performance, recovery, and health. Therefore, sleep duration should not be evaluated in isolation; sleep quality, timing, and regularity should be considered together with individual characteristics, training load, and other recovery indicators. Sleep monitoring and intervention strategies should be tailored to the individual needs and sporting demands of each athlete.

Keywords: Sleep quality, Sleep duration, Athletes, Physiological recovery, Athletic performance.

1. GİRİŞ

Uyku, fiziksel ve bilişsel işlevlerin sürdürülmesi ve organizmanın günlük fizyolojik dengesinin korunmasıyla ilişkili temel biyolojik süreçlerden biridir. Sporcular açısından uyku; antrenman ve müsabaka sonrasında toparlanma, motor öğrenme, bilişsel işlevler ve sportif performansın sürdürülmesiyle ilişkisi nedeniyle ayrıca önem taşımaktadır. Bununla birlikte uyku ile sportif performans arasındaki ilişkinin sporcunun bireysel özellikleri, spor dalı, antrenman dönemi ve performans gereksinimlerine göre değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Nitekim uykuya yönelik müdahaleleri inceleyen sistematik derleme ve meta-analiz bulguları, uyku hijyeni ve uyku süresini uzatma gibi uygulamaların bazı öznel uyku, duygu durumu ve performans göstergeleri açısından yararlı olabileceğini; ancak objektif uyku ve fiziksel performans sonuçlarında bulguların daha değişken olduğunu göstermektedir (Gwyther vd., 2022).

Sporcuların uyku düzeni yalnızca bireysel uyku alışkanlıklarından değil, spor ortamının kendine özgü taleplerinden de etkilenebilir. Yoğun antrenman programları, erken saatlerde gerçekleştirilen antrenmanlar, gece müsabakaları, seyahat, psikolojik stres ve günlük yaşam alışkanlıkları uyku süresi ve kalitesinde değişikliklerle ilişkili olabilecek faktörler arasında değerlendirilmektedir. Özellikle genç sporcularda sportif sorumlulukların eğitim ve sosyal yaşamla birlikte yürütülmesi uyku davranışlarının daha karmaşık bir yapı göstermesine neden olabilir. Türkiye gelişim liglerinde mücadele eden 203 genç erkek futbolcuyu değerlendiren Şahin vd. (2024), uyku davranışlarının yaşam koşulları ve bazı sportif özelliklere göre farklılık gösterebildiğini bildirmiştir. Bu bulgular, sporcularda uyku değerlendirmesinin yalnızca toplam uyku süresine dayandırılmaması, uyku davranışlarının bireysel ve çevresel özelliklerle birlikte incelenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Uyku kalitesinin değerlendirilmesinde bireysel biyolojik farklılıkların da dikkate alınması yararlı olabilir. Bu kapsamda bireyin gün içerisindeki uyuma ve uyanıklık tercihlerini yansıtan kronotip, sporcularda uyku davranışı ve performansla ilişkili olabilecek değişkenlerden biridir. Türkiye'deki genç futbolcular üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada İlbak ve Açak (2024), kronotip ile uyku davranışının bazı boyutları ve mental dayanıklılık arasında anlamlı ilişkiler bulunduğunu bildirmiştir. Araştırmada ayrıca futbolcuların uyku alışkanlıkları açısından düşük uyku kalitesi gösterebildikleri belirtilmiştir. Bu sonuçlar, sporcularda uyku gereksinimlerinin değerlendirilmesinde yaş ve spor dalının yanı sıra kronotip gibi bireysel özelliklerin de dikkate alınmasının yararlı olabileceğini düşündürmektedir (İlbak ve Açak, 2024).

Günümüzde sporcuların uyku davranışlarını etkileyebilecek bir diğer unsur teknoloji ve sosyal medya kullanımıdır. Özellikle akşam saatlerinde elektronik cihaz kullanımının yatış zamanının gecikmesi ve uyku

fırsatının azalmasıyla ilişkili olabileceği tartışılmaktadır. Türkiye'deki üniversite sporcularını değerlendiren Ayyıldız ve Beşler (2022), sosyal medya kullanımı ile sporcuların uyku davranışlarını birlikte incelemiş ve uyku kalitesi, alışılmış uyku verimliliği ve uyku bozukluğu gibi boyutların yaş ve cinsiyet gibi değişkenlere göre farklılaşabildiğini bildirmiştir. Bununla birlikte sosyal medya kullanımı ile uyku arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğü konusunda nedensel sonuçlara ulaşabilmek için farklı spor dallarını kapsayan uzunlamasına ve kontrollü çalışmalara gereksinim olduğu düşünülmektedir (Ayyıldız ve Beşler, 2022).

Uyku süresi ve kalitesindeki yetersizliklerin sporcu açısından önemi yalnızca gece uykusuyla sınırlı olmayıp sonraki antrenman ve müsabaka süreçlerine de yansıyabilir. Mevcut araştırmalar uyku kaybının fiziksel ve bilişsel performans, algılanan yorgunluk ve toparlanma ile ilişkili olabileceğini göstermesine karşın, uygulanan uyku müdahalelerinin sportif performans üzerindeki etkileri her çalışmada aynı yönde değildir. Gwyther vd. (2022) 27 çalışmayı kapsayan sistematik derlemesinde uyku müdahalelerinin öznel uyku kalitesini iyileştirebildiği, uykululuğu ve olumsuz duygu durumunu azaltabildiği bildirilmiş; buna karşılık objektif uyku ölçümleri ile aerobik ve anaerobik performans göstergelerinde belirgin bir etki saptanmamıştır. Bu durum, uyku-performans ilişkisinin tek bir performans çıktısı üzerinden açıklanmasının yeterli olmayabileceğini ve sporcuya özgü koşulların değerlendirilmesinin önem taşıdığını düşündürmektedir (Gwyther vd., 2022).

Bu çerçevede uyku, sporcunun antrenman ve toparlanma sürecinin değerlendirilmesinde dikkate alınabilecek önemli değişkenlerden biri olarak görülmektedir. Ancak sporcularda uyku ile performans arasındaki ilişkinin çok faktörlü olması, uyku süresi ve kalitesinin antrenman yükü, müsabaka programı, günlük biyolojik ritim özellikleri, psikolojik durum ve yaşam tarzı gibi değişkenlerle birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. (Ayyıldız ve Beşler, 2022; Gwyther vd., 2022; İlbak ve Açak, 2024; Şahin vd., 2024). Bu doğrultuda; sporcularda uyku kalitesi ve süresi ile fizyolojik toparlanma ve sportif performans arasındaki ilişkileri literatür ışığında incelemek, sporcuların uykusunu etkileyebilecek başlıca faktörleri değerlendirmek ve uyku ile toparlanmanın izlenmesi ve geliştirilmesine yönelik yaklaşımları bütüncül bir çerçevede tartışmak önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, sporcularda uyku kalitesi ve süresi ile fizyolojik toparlanma ve sportif performans arasındaki ilişkiyi bilimsel literatür doğrultusunda incelemek; uykuyu etkileyen faktörleri, yetersiz uykuyla ilişkili olabilecek sağlık ve performans sonuçlarını ve uyku ile toparlanmanın değerlendirilmesi ve geliştirilmesine yönelik yaklaşımları ele almaktır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, sporcularda uyku kalitesi ve uyku süresi ile fizyolojik toparlanma ve sportif performans arasındaki ilişkiyi mevcut bilimsel literatür doğrultusunda incelemek amacıyla geleneksel literatür taraması yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Bu kapsamda sporcularda uyku süresi ve kalitesi, fizyolojik toparlanma, sportif performans, uyku yetersizliği, uykuyu etkileyen sportif ve bireysel faktörler, uyku değerlendirme yöntemleri ve uykuya yönelik müdahaleler ele alınmıştır.

Literatür taraması Google Scholar akademik arama motoru ile PubMed, Web of Science, SPORTDiscus ve Scopus elektronik veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama kapsamında 2015–2025 yılları arasında yayımlanan ulusal ve uluslararası bilimsel çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın amacı ve ele alınan konu başlıkları doğrultusunda uluslararası yayınların taranmasında "sleep", "sleep quality", "sleep duration", "athletes", "athletic performance", "recovery", "sleep deprivation", "chronotype", "circadian rhythm", "sleep monitoring", "sleep intervention", "sleep extension", "sleep hygiene", "training", "competition" ve "travel" anahtar kelimelerinden yararlanılmıştır. Ulusal yayınların taranmasında ise "uyku", "uyku kalitesi", "uyku süresi", "sporcular", "sportif performans", "toparlanma", "uyku yoksunluğu", "uyku-uyanıklık eğilimi", "günlük biyolojik ritim", "uyku takibi", "uyku müdahaleleri", "uyku süresinin artırılması", "uyku hijyeni", "antrenman", "müsabaka" ve "seyahat" terimleri kullanılmıştır. Anahtar kelimeler çalışmanın alt konu başlıklarına göre tek başına veya birbiriyle ilişkilendirilerek taranmıştır. Ayrıca ulaşılan çalışmaların kaynakça listeleri incelenerek konuyla ilişkili ek bilimsel yayınlara ulaşılmıştır.

Kaynakların belirlenmesinde sporcularda uyku süresi ve/veya uyku kalitesi ile fizyolojik toparlanma, sportif performans, sporcu sağlığı, antrenman ve müsabaka koşulları, seyahat, uyku-uyanıklık eğilimi, günlük biyolojik ritim, uyku değerlendirme yöntemleri ve uykuya yönelik müdahaleler arasındaki ilişkileri ele alan çalışmalar dikkate alınmıştır. Konuya ilişkin mevcut kanıtların kapsamlı biçimde değerlendirilmesi amacıyla sistematik derlemeler, meta-analizler ve literatür derlemelerinin yanı sıra ilgili özgün araştırmalardan da yararlanılmıştır. Ayrıca Türkiye'deki sporculara ilişkin bulguların değerlendirilmesi amacıyla ilgili ulusal çalışmalar incelemeye dahil edilmiştir. Sporcu örneklemiyle ilişkili olmayan, çalışmanın amacıyla doğrudan bağlantı göstermeyen veya ele alınan konu başlıklarının kapsamı dışında kalan yayınlardan yararlanılmamıştır.

İncelenen çalışmalar; uyku ve fizyolojik toparlanma, sporcularda uykuyu etkileyen faktörler, uyku ve sportif performans ilişkisi, uyku ve sporcu sağlığı, uyku değerlendirme yöntemleri ile uyku ve toparlanmanın geliştirilmesine yönelik yaklaşımlar çerçevesinde sınıflandırılmış ve bulgular anlatısal olarak sentezlenmiştir.

Çalışmalar değerlendirilirken araştırmalar arasındaki benzerlik ve farklılıkların yanı sıra yöntemsel sınırlılıklar ve bulguların genellenebilirliği de dikkate alınmıştır. Özellikle gözlemsel ve kesitsel araştırmalardan elde edilen bulguların yorumlanmasında nedensellik çıkarımından kaçınılmış ve sonuçlar mevcut kanıtların kapsamı ve sınırlılıkları doğrultusunda değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Sporcularda Uyku ve Fizyolojik Toparlanma

3.1.1. Uyku Fizyolojisi, Günlük Biyolojik Ritim ve Günlük Ritim Tipi

Uyku, hızlı göz hareketlerinin olmadığı (non-rapid eye movement [NREM]) ve hızlı göz hareketlerinin görüldüğü (rapid eye movement [REM]) dönemlerin gece boyunca döngüsel olarak birbirini izlediği fizyolojik bir süreçtir. Uyku ve uyanıklığın zamanlamasında, uyanıklık süresiyle artan homeostatik uyku baskısı ile yaklaşık 24 saatlik günlük biyolojik ritim birlikte rol oynamaktadır. Bu düzen; vücut sıcaklığı, hormonal salgılanma, uyanıklık düzeyi ve fiziksel performans gibi değişkenlerin gün içerisindeki farklılaşmasıyla ilişkilidir (Thun vd., 2015).

Günlük biyolojik ritim ile antrenman veya müsabaka zamanlaması arasındaki uyumun sportif performans açısından önemli olabileceği derlemelerde de vurgulanmaktadır. Stachowicz vd. (2025) 109 çalışmayı değerlendirdiği derlemede, müsabaka öncesi uykusuzluk, gecikmiş uyku fazı, jet lag ile ilişkili uyku bozuklukları ve kronik uyku kısıtlamasının sporcularda önemli sorunlar arasında olduğu bildirilmiştir. Ayrıca sporcunun kronotipi ile müsabaka zamanının uyumsuz olmasının performansı olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir. Bu bulgular, sporcularda yalnızca uyku süresi ve kalitesinin değil, uyku-uyanıklık ritmi ile antrenman ve müsabaka zamanlaması arasındaki uyumun da dikkate alınması gerektiğini desteklemektedir (Stachowicz vd., 2025).

Günlük ritim tipi (kronotip), bireyin uyuma, uyanma ve günlük etkinliklerini gerçekleştirme zamanına yönelik doğal eğilimini ifade etmekte; genel olarak sabahçıl, ara ve akşamcıl özelliklerle sınıflandırılmaktadır. Sporcularda günlük ritim tipi ile antrenman veya müsabaka zamanlaması arasındaki uyumun uyku düzeniyle ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Farklı spor dallarındaki sporcularda günlük ritim tipi ve uyku özelliklerinin değişebildiği (Borghi vd., 2025), Türkiye'deki genç futbolcularda da günlük ritim tipi ile bazı uyku davranışları arasında ilişkiler bulunduğu bildirilmiştir (İlbak ve Açak, 2024). Bu bulgular, sporcularda uyku değerlendirilirken bireysel günlük ritim özellikleri ile sportif faaliyetlerin zamanlamasının birlikte ele alınabileceğini düşündürmektedir.

3.1.2. Uyku Süresi, Uyku Kalitesi ve Sporcu Gereksinimleri

Sporcularda yeterli uyku; toplam sürenin yanı sıra uykuya dalma süresi, gece uyanmaları, uyku verimliliği, uyku zamanlaması ve uykunun dinlendirici olarak algılanması gibi özellikleri kapsamaktadır. Uyku gereksinimi yaş, cinsiyet, spor dalı, antrenman yükü ve bireysel özelliklere göre değişebilir. Vlahoyiannis vd. (2021), 81 çalışmayı kapsayan sistematik derlemesinde, 1.830 sporcuya ait 18.958 gecelik nesnel veride ortalama uyku süresi 7,2 ± 1,1 saat, uyku verimliliği ise %86,3 ± 6,8 olarak bildirilmiştir. Uyku özelliklerinin yaş, cinsiyet, spor türü, sportif düzey ve sezon dönemine göre farklılaşabileceği de belirtilmiştir (Vlahoyiannis vd., 2021). Sporcularda uyku gereksiniminin değerlendirilmesinde toplam uyku süresinin yanında uykunun düzenliliği ve zamanlamasının da dikkate alınması gerektiği literatürde vurgulanmaktadır. Bernecka vd. (2025), geç saatlerde gerçekleştirilen antrenmanlar, müsabaka stresi, zaman dilimleri arası seyahatler ve sportif yaşamla akademik sorumlulukların birlikte yürütülmesinin sporcularda kısalmış, düzensiz veya bölünmüş uyku örüntüleriyle ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Bu bulgular, sporcularda uyku gereksinimlerinin yalnızca belirli bir toplam uyku süresine indirgenmemesi; uyku kalitesi, zamanlaması, düzenliliği ve bireysel günlük ritim özellikleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir (Bernecka vd., 2025). Bireysel uyku zamanlaması da değerlendirmede dikkate alınabilir. Litwic-Kamińska ve Jankowski (2022), üniversite öğrencisi sporcuların sporcu olmayanlara göre daha erken uyandıklarını ve daha kısa uyuduklarını; günlük ritim tipinin ise uyku başlangıcı ve uykunun orta noktasıyla ilişkili olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle uyku süresi, kalitesi ve zamanlamasının bireysel özellikler ve antrenman programıyla birlikte değerlendirilmesi daha kapsamlı bir yaklaşım sağlayabilir.

3.1.3. Uykunun Fiziksel ve Fizyolojik Toparlanmadaki Rolü

Antrenman sonrası toparlanma; enerji kaynaklarının yenilenmesi, kas dokusunun onarımı, hormonal ve bağışıklık yanıtlarının düzenlenmesi ile nöromüsküler süreçleri kapsamaktadır. Uyku, bu süreçlerle ilişkili fizyolojik dönemlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle büyüme hormonu (GH) ve insülin benzeri büyüme faktörü-1 (IGF-1) ekseni, doku onarımı ve iltihabi yanıtlarla ilişkili mekanizmalar, uykunun egzersiz sonrası toparlanmadaki olası rolünü açıklayabilecek süreçler arasında gösterilmektedir (Chennaoui vd., 2021). Yeterli uykunun büyüme hormonu ve insülin benzeri büyüme faktörü-1 ekseni ile iltihabi süreçlerin düzenlenmesi üzerinden kas dokusunun iyileşmesiyle ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Bununla birlikte uyku ile egzersiz sonrası kas iyileşmesi arasındaki doğrudan kanıtların sınırlı olması, bu ilişkinin sporculardaki etkilerinin temkinli yorumlanmasını gerektirmektedir (Chennaoui vd., 2021). Bu nedenle uyku; beslenme, sıvı

dengesi, dinlenme ve antrenman yükünün düzenlenmesiyle birlikte ele alınabilecek toparlanma bileşenlerinden biri olarak değerlendirilebilir. Uyku ile egzersiz sonrası toparlanma arasındaki ilişkiye yönelik açıklamalar, hormonal süreçlerin yanı sıra inflamatuvar ve moleküler mekanizmaları da kapsamaktadır. Kaczmarek vd (2025) derlemesinde yetersiz uykunun endokrin homeostazdaki bozulmalarla, kortizol düzeyindeki artışla ve testosteron ile büyüme hormonu gibi anabolik hormonlardaki azalmayla ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Aynı derlemede uyku kaybının proinflamatuvar sinyal yollarının artışı ve proapoptotik gen ekspresyonundaki değişikliklerle ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Bu mekanizmalar, uyku yetersizliğinin doku yenilenmesi ve egzersize fizyolojik adaptasyon süreçlerini etkileyebileceğine ilişkin biyolojik bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte söz konusu mekanizmaların farklı sporcu gruplarında toparlanma ve performans sonuçlarına hangi büyüklükte yansıdığının belirlenebilmesi için kontrollü ve uzunlamasına çalışmalara gereksinim bulunmaktadır (Kaczmarek vd., 2025).

3.2. Sporcularda Uykuyu Etkileyen Faktörler

Sporcularda uyku süresi ve kalitesi; sportif yüklenme, müsabaka programı, seyahat, psikolojik durum, çevresel koşullar ve günlük yaşam alışkanlıklarıyla ilişkili olabilir. Erken antrenmanlar, geç müsabakalar ve sık seyahatler bazı sporcularda yeterli uyku fırsatını sınırlandırabilir. Ancak spor dalı, bireysel uyku gereksinimi ve günlük biyolojik ritimdeki farklılıklar nedeniyle bu etkenlerin sonuçları sporcular arasında değişebilir (Roberts vd., 2019; Kölling vd., 2016).

3.2.1. Antrenman ve Müsabaka Yükü

Antrenmanın yoğunluğu ve süresinin yanı sıra zamanlaması da uyku düzeniyle ilişkili olabilir. Özellikle erken sabah antrenmanları, yatış zamanı buna göre düzenlenemediğinde toplam uyku süresini sınırlandırabilir. Roberts vd. (2019) 54 çalışmayı kapsayan sistematik derleme ve meta-analizinde, erken sabah antrenmanları ve artan antrenman yükünün elit sporcularda uyku süresi ve verimliliğindeki değişikliklerle ilişkili olduğu bildirilmiştir. Aynı derlemede müsabaka gecesindeki toplam uyku süresinin önceki gecelere göre yaklaşık 60 dakika, saat 18.00 veya sonrasında başlayan müsabakaların ardından ise yaklaşık 80 dakika daha kısa olduğu belirtilmiştir (Roberts vd., 2019). Geç müsabakalar sonrasında devam eden fizyolojik ve psikolojik uyarılmışlık, toparlanma uygulamaları ve ulaşım süreci yatış zamanını geciktirebilir. Müsabaka öncesi psikolojik durum da uyku özellikleriyle ilişkili olabilir. Romyn vd. (2016), yatmadan önceki durumluk kaygı ile algılanan uyku kalitesi arasında negatif ilişki bildirmiştir. Bununla birlikte bu ilişkinin bireysel özelliklere göre değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2.2. Seyahat, Zaman Dilimi Uyumsuzluğu ve Günlük Biyolojik Ritimde Bozulma

Seyahat; erken hareket saatleri, gece yolculukları, uzun ulaşım süreleri ve alışılmadık konaklama koşulları nedeniyle uyku fırsatını etkileyebilir. Birden fazla zaman diliminin kısa sürede geçilmesi ise sporcunun günlük biyolojik ritmi ile yerel zaman arasında geçici uyumsuzluğa yol açabilir. Zaman dilimi uyumsuzluğu; uykuya dalma güçlüğü, gece uyanmaları, gündüz uykululuğu, yorgunluk ve duygu durumundaki değişikliklerle ilişkili olabilir. Sportif performans üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular ise daha değişkendir (Kölling vd., 2016). Biggins vd. (2022) 21 erkek ve 20 kadın elit futbolcuyu değerlendirdiği çalışmada, doğuya doğru yedi zaman diliminin geçildiği seyahat sonrasında uyku süresi ve yatakta geçirilen sürenin azaldığı, algılanan uyku kalitesinin kötüleştiği bildirilmiştir. Bazı belirtilerin seyahatten sonraki 13. güne kadar devam edebildiği, ancak toparlanma ve antrenmana hazır oluş ölçümlerinde anlamlı farklılık belirlenmediği görülmüştür. Bu durum, seyahat sonrasındaki uyku değişikliklerinin bütün toparlanma ve performans göstergelerine aynı ölçüde yansımayabileceğini düşündürmektedir (Biggins vd., 2022).

Seyahat yorgunluğu ile zaman dilimi uyumsuzluğunun ayrılması da önemlidir. Janse van Rensburg vd. (2020) sistematik derlemesinde yalnızca 12 sporcuya özgü çalışma belirlenmiş ve müdahalelere ilişkin kanıtların genel olarak düşük kalitede olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle ışığa maruz kalma, uyku zamanlaması, egzersiz, beslenme ve farmakolojik uygulamalara ilişkin sonuçların temkinli değerlendirilmesi uygun olabilir (Janse van Rensburg vd., 2020). Kafeinin sporculardaki etkilerinin yalnızca ergojenik yararlar üzerinden değerlendirilmemesi gerektiği literatürde de vurgulanmaktadır. Lusarczyk vd. (2025) son beş yıllık literatürü değerlendirdiği derlemede, kafeinin dayanıklılık, kuvvet, güç ve sportif performans açısından önemli olan bazı bilişsel işlevleri destekleyebildiği; buna karşın uygun olmayan tüketim zamanlaması veya aşırı alımın uyku süresi ve kalitesini olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir. Ayrıca kafein metabolizması ve duyarlılığındaki bireysel farklılıkların etkilerin büyüklüğünü değiştirebileceği vurgulanmıştır. Bu nedenle sporcularda kafein kullanımının doz, tüketim zamanı ve bireysel duyarlılık birlikte değerlendirilerek planlanması, performans yararları ile uyku ve toparlanma üzerindeki olası olumsuz etkiler arasında denge kurulması açısından önem taşımaktadır (Lusarczyk vd., 2025).

3.2.3. Psikolojik, Çevresel ve Yaşam Tarzı Faktörleri

Performans baskısı, müsabaka kaygısı ve başarısızlık endişesi bazı sporcularda uyku özellikleriyle ilişkili olabilir. Romyn vd. (2016), artan durumluk kaygı ile algılanan uyku kalitesindeki azalma arasında ilişki bildirmiştir. Türkiye'de profesyonel kadın basketbolcularda da algılanan stres ile uyku özellikleri arasında

ilişkiler belirlenmiştir (Çetin ve Köse, 2025). Bununla birlikte kesitsel bulguların nedensel bir ilişki olarak yorumlanması uygun olmayabilir.

Işık, gürültü, oda sıcaklığı ve alışılmadık konaklama koşulları özellikle deplasman ve turnuva dönemlerinde uyku düzeniyle ilişkili olabilir. Yatmadan önce elektronik cihaz kullanımı da ışığa maruz kalma, geciken yatış zamanı ve uyarıcı içerikler üzerinden uyku özellikleriyle ilişkilendirilmektedir. Ancak sporcuya özgü kanıtların sınırlılığı nedeniyle elektronik cihaz kullanımının doğrudan uyku bozukluğuna neden olduğu sonucuna varmak uygun görünmemektedir (Romyn vd., 2016). Beslenmeyle ilişkili faktörlerden özellikle kafeinin tüketim zamanı ve miktarı dikkate alınabilir. Kocak vd. (2025) 10 çalışma ve 128 sporcuyu kapsayan sistematik derleme ve meta-analizinde, akşam saatlerindeki kafein tüketiminin uyku verimliliğinde yaklaşık %4,87 azalmayla ilişkili olduğu bildirilmiştir. Toplam uyku süresinde yaklaşık 32 dakikalık azalma eğilimi görülmesine karşın sonuç istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Çalışma sayısının sınırlılığı ve katılımcıların çoğunluğunun erkek olması bulguların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır (Kocak vd., 2025). Bu bulgular, sporcularda uyku özelliklerinin sportif yüklenme, seyahat, psikolojik durum, çevresel koşullar ve günlük yaşam davranışlarıyla birlikte değerlendirilmesinin yararlı olabileceğini düşündürmektedir. Bu ilişkilerin bireysel ve sportif özelliklere göre değişebilmesi nedeniyle uyku değerlendirmesinde çok boyutlu bir yaklaşım benimsenmesi daha uygun olabilir.

3.3. Uyku Kalitesi ve Sportif Performans İlişkisi

Uyku ile sportif performans arasındaki ilişki; fiziksel kapasite, motor beceriler, bilişsel işlevler ve toparlanma üzerinden değerlendirilmektedir. Uyku süresinin azalması veya kalitesinin bozulması bazı performans göstergelerindeki olumsuz değişikliklerle ilişkili olsa da sonuçlar performans testine, uyku kaybının süresine ve sporcunun özelliklerine göre farklılaşabilmektedir (Vitale vd., 2019; Gwyther vd., 2022).

3.3.1. Kuvvet, Güç ve Dayanıklılık Performansı

Uyku kaybının kuvvet ve güç üzerindeki etkilerine ilişkin sonuçlar farklılık göstermektedir. Uzun süreli uyku yoksunluğu veya tekrarlayan uyku kısıtlamasının submaksimal kuvvet, izokinetik tepe torku ve bazı anaerobik performans göstergelerindeki azalmayla ilişkili olabileceği; kısa süreli maksimal kuvvet ve güç gerektiren görevlerin ise daha sınırlı etkilenebildiği bildirilmiştir (Vitale vd., 2019). Dayanıklılık performansının uyku kaybına daha duyarlı olabileceğine ilişkin bulgular bulunmaktadır. Yetersiz uyku; algılanan eforun artması, enerji kullanımındaki değişiklikler ve egzersizi sürdürme kapasitesiyle ilişkili olabilir. Uyku yoksunluğu sonrasında koşu performansı, kat edilen mesafe ve tükenmeye kadar geçen süre gibi bazı göstergelerde azalma

bildirilmekle birlikte sonuçlar spor dalı ve uyku kısıtlama yöntemine göre değişebilmektedir (Vitale vd., 2019). Uyku süresinin artırılmasına ilişkin kanıtlar daha sınırlıdır. Silva ve vd. (2021) sistematik derlemesinde yalnızca iki çalışma değerlendirme ölçütlerini karşılamış ve 15 performans ölçütünün altısında büyük etki büyüklükleri bildirilmiştir. Ancak kanıt kalitesinin çok düşük ile orta arasında değişmesi, sonuçların temkinli değerlendirilmesini gerektirmektedir (Silva vd., 2021b).

3.3.2. Sürat, Çeviklik ve Motor Performans

Uyku kaybının sürat ve motor beceriler üzerindeki etkileri değişkenlik göstermektedir. Bazı çalışmalarda uyku yoksunluğu sonrasında sprint, futbol topuna vuruş ve tenis servis doğruluğunda olumsuz değişiklikler bildirilirken, kısa süreli anaerobik güç gerektiren bazı görevlerde anlamlı farklılık saptanmamıştır (Vitale vd., 2019). Uyku süresinin artırıldığı bazı çalışmalarda basketbolcularda sprint ve şut, yüzücülerde sprint ve dönüş, tenis oyuncularında ise servis doğruluğunda olumlu değişiklikler bildirilmiştir (Vitale vd., 2019). Bununla birlikte deneysel çalışmaların sınırlı ve kanıt kalitesinin değişken olması nedeniyle bu sonuçların bütün sporculara genellenmesi uygun olmayabilir. Bulgular, özellikle yetersiz uyuyan bazı sporcularda yeterli uyku fırsatının belirli motor ve spora özgü performans göstergeleriyle olumlu yönde ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (Silva vd., 2021b).

3.3.3. Bilişsel Performans, Reaksiyon Süresi ve Karar Verme

Sportif performans; fiziksel kapasitenin yanı sıra dikkat, reaksiyon süresi, karar verme ve değişen koşullara uygun yanıt oluşturma gibi bilişsel ve psikomotor işlevleri de kapsamaktadır. Bu işlevlerin uyku yetersizliğine duyarlı olabileceği bildirilmektedir (Vitale vd., 2019). Uyku yoksunluğu veya kısıtlanması; dikkat, uyanıklık, reaksiyon süresi ve karar verme süreçlerindeki değişikliklerle ilişkilendirilmiştir. Uyku kaybı sonrasında reaksiyon süresinde uzama ve bazı bilişsel performans göstergelerinde azalma bildirilmekle birlikte, laboratuvar testlerinin gerçek müsabaka koşullarını tam olarak yansıtmayabileceği dikkate alınmalıdır (Vitale vd., 2019). Uyku süresinin artırıldığı bazı çalışmalarda reaksiyon süresi ve psikomotor dikkatte olumlu değişiklikler bildirilmiştir (Silva vd., 2021b). Buna karşılık Gwyther vd. (2022), 27 çalışmayı kapsayan sistematik derleme ve meta-analizinde uyku müdahalelerinin öznel uyku göstergelerinde olumlu sonuçlarla ilişkili olduğu, ancak nesnel uyku ile aerobik ve anaerobik performans göstergelerinde benzer etkilerin belirgin olmadığı bildirilmiştir.

3.3.4. Yorgunluk ve Toparlanma

Uyku, antrenman sonrasında enerji depolarının yenilenmesi, kas dokusunun onarımı, hormonal ve bağışıklık yanıtlarının düzenlenmesi gibi toparlanma süreçleriyle ilişkili bileşenlerden biridir (Vitale vd., 2019). Yetersiz uyku, algılanan yorgunluk ve uykululukla ilişkili olabilirken, uyku süresinin artırıldığı bazı çalışmalarda bu göstergelerde azalma bildirilmiştir (Vitale vd., 2019). Gwyther vd. (2022) toplam 617 sporcuyu içeren 27 çalışmayı değerlendirdiği sistematik derleme ve meta-analizde, uyku müdahalelerinin öznel uyku kalitesinde iyileşme (g = 0,62) ve uykululukta azalma (g = 0,81) ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte nesnel uyku ve bazı fiziksel performans göstergelerinde benzer etkilerin görülmemesi, öznel toparlanma ile nesnel performans değişikliklerinin her zaman paralel olmayabileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak uyku ile sportif performans arasındaki ilişkinin performans bileşenlerine göre farklılaşabileceği görülmektedir. Bilişsel işlevler, reaksiyon süresi, algılanan yorgunluk ve bazı dayanıklılık göstergeleriyle ilişkiye yönelik bulgular bulunurken, maksimal kuvvet ve kısa süreli güç performansına ilişkin sonuçlar daha değişkendir. Uyku süresinin artırılmasına yönelik bulgular da umut verici olmakla birlikte, çalışma sayısının sınırlılığı ve yöntemsel farklılıklar nedeniyle sonuçların farklı sporcu gruplarına genellenmesinde temkinli olunmalıdır (Silva vd., 2021b; Gwyther vd., 2022).

3.4. Yetersiz Uyku ve Sporcu Sağlığı

Yeterli uyku, sportif performansın yanı sıra fiziksel ve psikolojik sağlıkla ilişkili önemli bir bileşendir. Sporcularda yetersiz veya bozulmuş uyku; yorgunluk, toparlanma, bilişsel işlevler ve psikolojik zorlanmayla ilişkili olabilir. Bununla birlikte uyku ile sporcu sağlığı arasındaki ilişkinin çift yönlü olabileceği ve antrenman yükü, yaralanma, psikolojik stres ve yaşam tarzından etkilenebileceği dikkate alınmalıdır (Charest ve Grandner, 2020; Hatia vd., 2024).

3.4.1. Uyku Kısıtlaması, Uyku Yoksunluğu ve Yorgunluk

Uyku kısıtlaması, gereksinim duyulandan daha kısa süre uyumayı; uyku yoksunluğu ise uykunun belirli bir süre tamamen veya büyük ölçüde engellenmesini ifade etmektedir. Erken antrenmanlar, geç müsabakalar, seyahat ve yoğun programlar sporcularda uyku süresini sınırlandırabilir (Craven vd., 2022). Craven vd. (2022) 69 çalışmadan 227 performans sonucunu değerlendirdiği sistematik derleme ve meta-analizde, akut uyku kaybı sonrasında egzersiz performansında ortalama %7,6 azalma bildirilmiştir. Etkinin uyku yoksunluğu ve erken uyanmaya bağlı uyku kısıtlamasında daha belirgin olabileceği, uyku kaybı sonrasında uyanık geçirilen her ek saatle performanstaki azalmanın yaklaşık %0,4 arttığı belirtilmiştir. Ancak çalışmalar arasındaki farklılıklar

nedeniyle bu değerlerin bütün sporcular için geçerli olduğu düşünülmemelidir (Craven vd., 2022). Yetersiz uyku, gündüz uykululuğu, algılanan efor ve yorgunlukla da ilişkili olabilir. Yorgunluğun fiziksel, bilişsel ve psikolojik bileşenleri dikkate alındığında uyku özelliklerinin antrenman yükü ve diğer toparlanma göstergeleriyle birlikte değerlendirilmesi daha kapsamlı bir yaklaşım sağlayabilir (Charest ve Grandner, 2020).

3.4.2. Yaralanma ve Hastalık Riski ile İlişkisi

Yetersiz uykunun reaksiyon süresi, dikkat, karar verme, nöromüsküler işlevler ve fiziksel toparlanmadaki değişiklikler aracılığıyla yaralanmaya yatkınlıkla ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Charest ve Grandner, 2020). Ancak kanıtların önemli bölümünün gözlemsel çalışmalara dayanması nedeniyle kısa uyku süresinin doğrudan yaralanmaya neden olduğu sonucuna ulaşmak uygun değildir. Antrenman yükü, önceki yaralanmalar, yaş ve spor dalı gibi değişkenler bu ilişkiyi etkileyebilir. Yaralanmaya bağlı ağrı ve psikolojik stresin de uykuyu etkileyebilmesi, ilişkinin çift yönlü olabileceğini göstermektedir (Charest ve Grandner, 2020; Hatia vd., 2024).

Yetersiz uyku, bağışıklık işlevleri ve hastalık riskiyle de ilişkili olabilir. Yüksek antrenman yükü, seyahat, psikolojik stres ve yetersiz enerji alımının uyku yetersizliğiyle birlikte bulunması sporcu sağlığı açısından önem taşıyabilir. Bununla birlikte uyku süresi ile enfeksiyon veya hastalık arasındaki doğrudan ilişkiyi değerlendiren uzunlamasına sporcu çalışmalarının sınırlı olması, kesin neden-sonuç ilişkisi kurulmasını güçleştirmektedir (Hatia vd., 2024). Bu nedenle uyku, yaralanma veya hastalığın tek başına göstergesi olarak değil, diğer sağlık ve yüklenme verileriyle birlikte değerlendirilmelidir.

3.4.3. Ruhsal Sağlık ve Psikolojik İyi Oluş ile İlişkisi

Uyku ile ruhsal sağlık arasındaki ilişki çift yönlü olabilir. Yetersiz uyku; duygu durumu, stres yanıtı ve bilişsel işlevlerdeki değişikliklerle ilişkili olabilirken, kaygı, depresif belirtiler ve psikolojik stres de uyku özelliklerini etkileyebilir. Performans beklentisi, müsabaka baskısı, yaralanma ve kariyer belirsizliği gibi spora özgü etkenler de bu ilişkide rol oynayabilir (Charest ve Grandner, 2020).

Gwyther ve vd. (2022) 27 çalışma ve 617 sporcuyu kapsayan sistematik derleme ve meta-analizinde, uyku müdahalelerinin öznel uyku kalitesinde iyileşme (g = 0,62), uykululukta azalma (g = 0,81) ve olumsuz duygulanımda azalma (g = 0,63) ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Ancak örneklem büyüklükleri ve yöntemsel farklılıklar nedeniyle sonuçların farklı sporcu gruplarına genellenmesinde temkinli olunmalıdır (Gwyther vd., 2022). Türkiye'de 370 genç futbolcuyla gerçekleştirilen çalışmada uyku davranışları, günlük ritim tipi ve ruhsal dayanıklılık birlikte değerlendirilmiş; sabah tipi futbolcuların ruhsal dayanıklılık düzeylerinin akşam ve ara tipteki futbolculardan daha yüksek olduğu ve gruplar arasında bazı uyku davranışlarının farklılaştığı

bildirilmiştir (İlbak ve Açak, 2024). Ancak kesitsel tasarım nedeniyle bu bulgulardan doğrudan nedensel bir sonuç çıkarılması uygun değildir. Bu bulgular doğrultusunda uyku, psikolojik iyi oluşun tek belirleyicisi olarak değil, ruhsal sağlıkla karşılıklı ilişki gösterebilecek sağlık davranışlarından biri olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle devamlı uyku sorunlarının gündüz işlevselliği ve duygu durumundaki değişikliklerle birlikte değerlendirilmesi, sporcu sağlığının daha bütüncül biçimde izlenmesine katkı sağlayabilir.

3.5. Sporcularda Uykunun Değerlendirilmesi ve İzlenmesi

Sporcularda uykunun değerlendirilmesi; uyku süresi ve kalitesinin yanı sıra uykuya dalma süresi, gece uyanmaları, uyku verimliliği ve gündüz uykululuğunu kapsayabilir. Bu amaçla öz bildirime dayalı yöntemlerden laboratuvar ölçümlerine kadar farklı araçlar kullanılmaktadır. Yöntemlerin uygulanabilirlik, maliyet ve ölçüm özellikleri farklı olduğundan, değerlendirme amacına uygun aracın seçilmesi önem taşımaktadır (Halson, 2019; Vlahoyiannis vd., 2020).

3.5.1. Öz Bildirime Dayalı Değerlendirme ve Uyku Günlükleri

Öz bildirim ölçekleri ve uyku günlükleri; uyku süresi ve kalitesi, uykuya dalma güçlüğü, gündüz uykululuğu ve uykuya ilişkin yakınmaların değerlendirilmesinde kullanılabilir. Uyku günlükleri ayrıca yatış ve uyanış zamanları ile gece ve gündüz uykularının izlenmesine olanak sağlar. Ancak bu verilerin bireysel algı ve hatırlamadan etkilenebileceği dikkate alınmalıdır (Halson, 2019). Simim vd. (2020) 75 çalışmayı kapsayan sistematik derlemesinde hareket temelli ölçümlerin %25, Likert tipi ölçeklerin %16 ve uyku günlüklerinin %13 oranında kullanıldığı bildirilmiştir. Sporcular için geliştirilen Sporcu Uyku Tarama Anketi (Athlete Sleep Screening Questionnaire [ASSQ]) ise uyku süresi ve kalitesi, uykusuzluk belirtileri, günlük ritim tipi, seyahat ve uykuda solunum sorunlarını değerlendirmektedir (Samuels vd., 2016). Bu araçların klinik tanıdan çok, ayrıntılı değerlendirme gerektirebilecek sporcuların belirlenmesinde kullanılması daha uygun olabilir.

3.5.2. Hareket Temelli Uyku Ölçümü, Giyilebilir Teknolojiler ve Uyku Laboratuvarı Değerlendirmeleri

Hareket temelli uyku ölçümü (aktigrafi), bileğe takılan cihazlarla hareket örüntülerinin kaydedilmesine dayanmakta; uyku süresi, zamanlaması ve verimliliğinin doğal ortamda izlenmesine olanak sağlamaktadır. Olimpik sporcuları kapsayan sistematik bir derlemede aktigrafinin en sık kullanılan nesnel uyku değerlendirme yöntemi olduğu bildirilmiştir (de Mello vd., 2024). Bununla birlikte uykuyu hareket üzerinden tahmin etmesi, özellikle hareketsiz uyanıklık dönemlerinde ölçüm hatalarına yol açabilir (Vlahoyiannis vd., 2021). Akıllı saat, bileklik ve yüzük gibi giyilebilir teknolojiler uzun süreli izlem açısından pratik olmakla birlikte, cihazlar arasındaki ölçüm ve hesaplama farklılıkları nedeniyle sonuçların klinik ölçümlerle eşdeğer kabul edilmemesi

gerekir (Halson, 2019). Daha ayrıntılı değerlendirmede kullanılan çoklu fizyolojik uyku kaydı (polisomnografi), beyin elektriksel etkinliği, göz hareketleri, kas etkinliği ve solunum gibi değişkenlerin eş zamanlı kaydedilmesine olanak sağlar. Ancak maliyet ve uzman personel gereksinimi rutin sporcu takibindeki kullanımını sınırlandırabilir (Vlahoyiannis vd., 2020).

3.5.3. Sporcu Takibinde Uyku Verilerinin Kullanımı

Uyku verileri; antrenman, müsabaka, seyahat ve toparlanma süreçleriyle birlikte değerlendirilerek sporcunun uyku örüntüsündeki değişikliklerin izlenmesinde kullanılabilir. Elit sporcularda hareket temelli ölçümlerin yanı sıra anket ve uyku günlüklerinden de yararlanıldığı bildirilmektedir (Silva vd., 2021a). Tek bir gecelik ölçüm yerine sporcunun bireysel uyku örüntüsündeki değişimlerin izlenmesi daha anlamlı olabilir. Kısa uyku süresi veya düşük uyku verimliliğinin tek başına yetersiz toparlanma ya da artmış yaralanma riski olarak yorumlanması uygun değildir. Uyku verilerinin antrenman yükü, yorgunluk, ağrı, psikolojik durum ve performans göstergeleriyle birlikte değerlendirilmesi daha kapsamlı bir izlem sağlayabilir (Halson, 2019). Sonuç olarak öz bildirim yöntemleri, uyku günlükleri, hareket temelli ölçümler, giyilebilir teknolojiler ve uyku laboratuvarı değerlendirmeleri birbirini tamamlayan yöntemler olarak kullanılabilir. Klinik açıdan önemli olabilecek uyku sorunlarında ise daha ayrıntılı değerlendirmeye başvurulması düşünülebilir.

3.6. Sporcularda Uyku ve Toparlanmanın Geliştirilmesi

Sporcularda uyku ve toparlanmanın geliştirilmesi; uyku davranışlarının düzenlenmesi, yeterli uyku fırsatının oluşturulması ve sportif programın bireysel gereksinimlere göre planlanmasını içerebilir. Uyku müdahalelerinin özellikle öznel uyku kalitesi ve gündüz uykululuğunda olumlu değişikliklerle ilişkili olabileceği, performans üzerindeki sonuçların ise daha değişken olduğu bildirilmektedir (Bonnar vd., 2018; Gwyther vd., 2022).

3.6.1. Uyku Hijyeni ve Uyku Eğitimi

Uyku hijyeni; düzenli yatış ve uyanış saatleri, uygun uyku ortamı, yatmadan önce uyarıcı etkinliklerin azaltılması ve geç saatlerde kafein tüketiminin sınırlandırılması gibi davranışları kapsamaktadır. Elit sporcularda uyku-uyanıklık zamanları, psikolojik uyarılmışlık ve yatmadan önceki bazı davranışların uyku kalitesiyle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Knufinke vd., 2018). Türkiye'de 412 üniversite sporcusuyla gerçekleştirilen çalışmada uyku kalitesi, alışılmış uyku verimliliği ve uyku sorunları arasında ilişkiler belirlenmiş; sosyal medya kullanımının da dikkate alınabilecek bir değişken olduğu bildirilmiştir (Ayyıldız ve Beşler, 2022). Benzer şekilde 370 genç futbolcuyla yapılan çalışmada uyku davranışlarının günlük ritim tipi ve bazı bireysel özelliklere göre farklılaşabildiği görülmüştür (İlbak ve Açak, 2024). Kesitsel nitelikteki bu

bulgular nedensellik göstermemekle birlikte, uyku eğitiminin bireysel özellikler dikkate alınarak planlanmasının yararlı olabileceğini düşündürmektedir. O'Donnell ve Driller (2016), elit kadın sporcularda kısa süreli uyku hijyeni eğitimi sonrasında toplam uyku süresinde artış bildirmiştir. Ancak kontrol grubunun bulunmaması ve izlem süresinin kısa olması nedeniyle sonuçların temkinli değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.6.2. Uyku Süresinin Uzatılması ve Gündüz Uykusu

Gece uykusunun yetersiz olduğu sporcularda daha erken yatma veya uygun koşullarda daha geç uyanma yoluyla uyku fırsatı artırılabilir. Sistematik derlemeler, uyku süresinin artırılmasının bazı sporcularda uyku, gündüz uykululuğu, yorgunluk ve belirli performans göstergelerindeki olumlu değişikliklerle ilişkili olabileceğini göstermektedir. Ancak çalışma sayısının sınırlılığı ve yöntemsel farklılıklar nedeniyle bütün sporcular için standart bir uyku uzatma süresi önermek uygun görünmemektedir (Bonnar vd., 2018; Gwyther vd., 2022). Gündüz uykusu, özellikle gece uykusunun yetersiz olduğu veya aynı gün birden fazla antrenman yapıldığı durumlarda tamamlayıcı bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Uyanıklık, algılanan yorgunluk ve bazı performans göstergelerinde olumlu değişikliklerle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Bonnar vd., 2018). Ancak süre ve zamanlamanın bireyselleştirilmesi, gündüz uykusunun gece uykusunun yerine değil, gerektiğinde onu destekleyen bir uygulama olarak kullanılması daha uygun olabilir.

3.6.3. Antrenman, Müsabaka ve Seyahat Süreçlerinin Düzenlenmesi

Erken sabah antrenmanları, geç müsabakalar ve birbirine yakın antrenmanlar yeterli uyku fırsatını sınırlandırabilir. Bu nedenle mümkün olduğunda sportif programın uyku gereksinimleri dikkate alınarak düzenlenmesi ve özellikle geç müsabakalar sonrasında yeterli toparlanma süresinin sağlanması yararlı olabilir (Bonnar vd., 2018). Seyahatlerde ise seyahat yorgunluğu ve zaman dilimi uyumsuzluğu uyku düzenini etkileyebilir. Uyku-uyanıklık zamanlarının seyahat öncesinde kademeli olarak düzenlenmesi, ışığa maruz kalmanın uygun zamanda planlanması ve varış sonrasında yeterli uyku fırsatının oluşturulması kullanılabilecek yaklaşımlar arasındadır. Ancak sporcular üzerinde gerçekleştirilen kontrollü çalışmaların sınırlılığı nedeniyle bu uygulamaların etkileri temkinli değerlendirilmelidir (Janse van Rensburg vd., 2020).

Sonuç olarak uyku ve toparlanmanın geliştirilmesinde uyku eğitimi, yeterli uyku fırsatı, gerektiğinde gündüz uykusu ve sportif programın uygun biçimde düzenlenmesi birlikte ele alınabilir. Uyku davranışlarının bireysel ve yaşam tarzına ilişkin özelliklere göre farklılaşabilmesi, uygulamaların sporcuya göre düzenlenmesinin önemine işaret etmektedir (Ayyıldız ve Beşler, 2022; İlbak ve Açak, 2024).

4. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında incelenen bulgular, uyku süresi ve kalitesinin sporcularda toparlanma, performans ve sağlık göstergeleriyle farklı düzeylerde ilişkili olabileceğine işaret etmektedir. Ancak bu ilişkiler; spor dalı, yaş, cinsiyet, antrenman yükü, uyku zamanlaması ve bireysel uyku gereksinimlerine göre değişebilmektedir. Bazı sporcu gruplarında bildirilen görece kısa uyku süreleri, yoğun sportif programların uyku fırsatını sınırlandırabileceğini düşündürmektedir (Vlahoyiannis vd., 2021). Bu nedenle toplam uyku süresinin kalite, zamanlama ve bireysel özelliklerle birlikte değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir. Nitekim uyku süresinin yanı sıra uyku kalitesi, düzenliliği, kronotip ve sosyal jetlag gibi değişkenlerin birlikte ele alınmasının sporculardaki toparlanma ve günlük performansın değerlendirilmesinde daha bütüncül bir yaklaşım sağlayabileceği belirtilmektedir (Bernecka vd., 2025). Bu yaklaşım, sporcularda uyku gereksinimlerinin yalnızca belirli bir süre ölçütü üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini desteklemektedir.

Erken antrenmanlar, geç müsabakalar ve seyahat gibi spora özgü koşullar uyku örüntüsündeki değişikliklerle ilişkilendirilmiştir. Özellikle müsabaka gecelerinde uyku süresinin azalabildiğine ilişkin bulgular, sportif programın zamanlamasının dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir (Roberts vd., 2019). Uzun mesafeli seyahat sonrasında uyku süresi ve algılanan uyku kalitesinde değişiklikler bildirilmesine karşın, performans ve toparlanma göstergelerindeki sonuçlar daha değişkendir (Biggins vd., 2022). Zaman dilimi uyumsuzluğuna yönelik sporcuya özgü müdahale çalışmalarının sınırlılığı da mevcut önerilerin temkinli yorumlanmasını gerektirmektedir (Janse van Rensburg vd., 2020). Bununla birlikte günlük biyolojik ritimdeki bozulmaların, jet lagın, kronik uyku kısıtlamasının ve kronotip ile antrenman veya müsabaka zamanlaması arasındaki uyumsuzluğun performans ve toparlanma açısından önem taşıdığına ilişkin bulgular bulunmaktadır (Stachowicz vd., 2025). Bu durum, yoğun seyahat ve müsabaka dönemlerinde yalnızca uyku süresinin değil, sporcunun bireysel günlük ritmi ile sportif program arasındaki uyumun da dikkate alınmasının yararlı olabileceğini düşündürmektedir.

Sportif performansı desteklemek amacıyla kullanılan kafein açısından ise uyku ve performans arasındaki dengenin gözetilmesi önem taşımaktadır. Kafeinin dayanıklılık, kuvvet, güç ve bazı bilişsel performans bileşenleri üzerinde ergojenik yararlar sağlayabildiği, ancak uygun olmayan doz veya tüketim zamanlamasının uyku süresi ve kalitesini olumsuz etkileyebildiği bildirilmektedir (Lusarczyk vd., 2025). Kafein metabolizması ve duyarlılığındaki bireysel farklılıklar da dikkate alındığında, sporcularda kafein kullanımının doz ve zamanlama açısından bireyselleştirilmesi daha uygun görünmektedir. Uyku kaybının performans üzerindeki

sonuçları incelenen performans bileşenine göre farklılaşmaktadır. Dayanıklılık, reaksiyon süresi, bilişsel işlevler, algılanan efor ve yorgunluk açısından olumsuz değişiklikler bildiren çalışmalar bulunurken, maksimal kuvvet ve kısa süreli güç performansına ilişkin sonuçlar daha az tutarlıdır (Vitale vd., 2019). Akut uyku kaybıyla performansta azalma arasında ilişki bildirilmiş olmakla birlikte, çalışmalar arasındaki yöntemsel farklılıklar sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır (Craven vd., 2022). Uyku süresinin artırılmasına yönelik çalışmalar da bazı performans göstergelerinde olumlu değişiklikler bildirmiştir; ancak sınırlı deneysel kanıt, etkinin büyüklüğü ve hangi sporcu gruplarında daha belirgin olduğu konusunda kesin çıkarım yapılmasını güçleştirmektedir (Silva vd., 2021b).

Uyku ile toparlanma arasındaki ilişki kas dokusunun onarımı, hormonal düzenleme, bağışıklık yanıtı ve nöromüsküler süreçler üzerinden açıklanmaktadır (Chennaoui vd., 2021). Bu mekanizmaları destekleyen bulgular, yetersiz uykunun kortizol artışı ile testosteron ve büyüme hormonu gibi anabolik hormonlardaki azalmayla ilişkili olabileceğini; ayrıca proinflamatuvar sinyal süreçlerinde değişikliklere eşlik edebileceğini göstermektedir (Kaczmarek vd., 2025). Bu mekanizmalar, uyku kaybının egzersiz sonrası fizyolojik yenilenme ve adaptasyon süreçlerini etkileyebileceğine ilişkin biyolojik bir açıklama sunmaktadır. Bununla birlikte müdahale çalışmalarında öznel ve nesnel sonuçların her zaman örtüşmediği görülmektedir. Öznel uyku kalitesi ve uykululukta olumlu değişiklikler bildirilmesine rağmen nesnel uyku veya fiziksel performans ölçümlerinde benzer sonuçlar her çalışmada gösterilememiştir (Gwyther vd., 2022). Bu farklılık, uyku verilerinin antrenman yükü ve diğer toparlanma göstergeleriyle birlikte yorumlanmasının önemine işaret etmektedir.

Yetersiz uyku ile yaralanma, hastalık ve mental sağlık arasındaki ilişkiler değerlendirilirken nedensellik konusunda dikkatli olunmalıdır. Uyku yetersizliği; dikkat, reaksiyon süresi, nöromüsküler işlevler ve toparlanmadaki değişiklikler aracılığıyla yaralanmayla ilişkili olabilir. Ancak kanıtların önemli bölümünün gözlemsel olması, yetersiz uykunun doğrudan yaralanmaya neden olduğu sonucunu desteklemek için yeterli değildir. Ayrıca ağrı, yaralanma ve psikolojik stres de uyku özelliklerini etkileyebileceğinden ilişkinin çift yönlü olması olasıdır (Charest ve Grandner, 2020; Hatia vd., 2024). Benzer yöntemsel sınırlılıklar uyku ile mental sağlık arasındaki ilişkilerin yorumlanmasında da dikkate alınmalıdır.

Türkiye'deki çalışmalar, belirli sporcu gruplarında uyku davranışlarının bireysel ve yaşam tarzına ilişkin değişkenlerle ilişkili olabileceğini göstermektedir. Genç futbolcularda günlük ritim tipi, uyku davranışları ve mental dayanıklılık; üniversite sporcularında ise sosyal medya kullanımı ile uyku özellikleri arasında ilişkiler bildirilmiştir (Ayyıldız ve Beşler, 2022; İlbak ve Açak, 2024). Bununla birlikte çalışmaların belirli

örneklemlerle sınırlı ve çoğunlukla kesitsel olması, sonuçların farklı spor dallarına ve performans düzeylerine aktarılmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle farklı sporcu gruplarını kapsayan uzunlamasına ve kontrollü müdahale çalışmalarına gereksinim bulunmaktadır.

Uyku değerlendirmesinde kullanılan yöntemler de bulguların yorumlanmasını etkileyebilir. Öz bildirim araçları saha koşullarında uygulanabilirken, hareket temelli ölçümler daha uzun süreli nesnel izlem sağlayabilmektedir; ancak bu yöntemlerin çoklu fizyolojik uyku kaydıyla eşdeğer olmadığı dikkate alınmalıdır (Halson, 2019; Vlahoyiannis vd., 2020). Dolayısıyla tek bir ölçüm veya eşik değerden ziyade sporcunun bireysel uyku örüntüsündeki değişimlerin izlenmesi daha açıklayıcı olabilir.

Uyku eğitimi, uyku süresinin artırılması ve gündüz uykusu gibi müdahalelerin bazı sporcularda uyku ve toparlanma göstergeleriyle olumlu yönde ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Ancak örneklem büyüklükleri, müdahale süreleri ve uygulama yöntemlerindeki farklılıklar, bu yaklaşımların etkilerinin bütün sporcular için aynı olacağı biçiminde yorumlanmasını sınırlandırmaktadır (Bonnar vd., 2018; Gwyther vd., 2022). Ayrıca antrenman ve müsabaka zamanlaması ile seyahat koşullarının uyku fırsatını etkileyebilmesi, müdahalelerin yalnızca bireysel uyku davranışlarıyla sınırlandırılmaması gerektiğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak incelenen çalışmalar, uyku süresi, kalitesi ve zamanlaması ile sporculardaki performans, toparlanma ve sağlık göstergeleri arasında çeşitli ilişkiler bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte örneklem özellikleri, ölçüm yöntemleri, kısa izlem süreleri ve gözlemsel araştırmaların ağırlığı nedensel çıkarımları sınırlandırmaktadır. Bu nedenle uyku verilerinin bireysel özellikler, antrenman yükü, toparlanma ve performans göstergeleriyle birlikte değerlendirilmesi mevcut kanıtların yorumlanması açısından daha uygun görünmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen bulgular, uykunun sporcularda fizyolojik ve psikolojik toparlanma, sportif performans ve genel sağlıkla ilişkili önemli bir bileşen olduğunu göstermektedir. Uyku gereksinimlerinin spor dalı, yaş, antrenman yükü, günlük biyolojik ritim ve bireysel özelliklere bağlı olarak değişebilmesi, sporcularda uykunun yalnızca toplam uyku süresi üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu doğrultuda uyku süresiyle birlikte uyku kalitesi, düzenliliği, zamanlaması ve kronotip özelliklerinin dikkate alınması daha bütüncül bir değerlendirme sağlayabilir. Sporcuların uyku düzeninin özellikle yoğun antrenman, müsabaka ve seyahat dönemlerinde düzenli olarak izlenmesi yararlı olabilir. Erken saatlerde gerçekleştirilen antrenmanlar, geç saatlerde tamamlanan müsabakalar, zaman dilimleri arası seyahatler ve bireysel günlük

ritimle uyumsuz programların uyku fırsatını sınırlandırabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanında sportif performansı desteklemek amacıyla kullanılan kafeinin dozunun ve tüketim zamanının bireysel özelliklere göre planlanması, performansa yönelik olası yararlar korunurken uyku üzerindeki olumsuz etkilerin sınırlandırılması açısından önem taşıyabilir.

Uyku eğitimi, uyku hijyeninin geliştirilmesi, gerektiğinde uyku süresinin artırılması ve gündüz uykusunun planlanması gibi uygulamalar sporcunun gereksinimleri ve sportif programı doğrultusunda bireyselleştirilmelidir. Bununla birlikte uyku verilerinin tek başına performans düzeyi, toparlanma durumu veya yaralanma riskinin doğrudan bir göstergesi olarak değerlendirilmesi uygun değildir. Uyku ölçümlerinin antrenman yükü, yorgunluk, fizyolojik toparlanma göstergeleri, psikolojik durum ve diğer sağlık verileriyle birlikte yorumlanması sporcu takibinde daha kapsamlı bir yaklaşım sağlayabilir. Mevcut bulgular uyku ile performans, toparlanma ve sağlık göstergeleri arasında önemli ilişkiler bulunduğuna işaret etmekle birlikte, çalışmalar arasındaki örneklem, spor dalı, uyku ölçüm yöntemi ve araştırma tasarımı farklılıkları kesin nedensel sonuçlara ulaşılmasını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle gelecekte farklı spor dallarını, yaş gruplarını, cinsiyetleri ve performans düzeylerini temsil eden daha geniş örneklemli, uzunlamasına ve kontrollü müdahale çalışmalarına gereksinim bulunmaktadır. Özellikle objektif ve öznel uyku ölçümlerinin birlikte kullanıldığı araştırmalar, uyku ile toparlanma ve performans arasındaki ilişkinin daha kapsamlı biçimde açıklanmasına katkı sağlayabilir.

Türkiye'deki sporculara ilişkin kanıtların sınırlı olması da gelecekteki araştırmalar açısından önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır. Farklı branş ve performans düzeylerindeki Türk sporcuların uyku özelliklerinin belirlenmesi; kronotip, antrenman ve müsabaka zamanlaması, seyahat, kafein kullanımı ve yaşam tarzı faktörlerinin uyku üzerindeki etkilerinin incelenmesi yararlı olabilir. Ayrıca sporcuya özgü uyku eğitimi ve uyku geliştirme müdahalelerinin etkinliğinin kontrollü çalışmalarla değerlendirilmesi, ulusal düzeyde uygulanabilir ve kanıta dayalı uyku yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Ayyıldız, E., ve Besler, H. K. (2022). Examination of social media addiction and sleep behavior of athletes: A study on athletes in universities. *Journal of Educational Issues, 8(*3), 124-134. https://doi.org/10.5296/jei.v8i3.20240

Paulina Bernecka, Oliwia Sójkowska-Sławińska, Anna Leśniewska, Patryk Macuk, Michał Gniedziejko, Jakub Roszak, Bartosz Michał Skorupski, Natalia Strumnik, ve Agata Firkowska. (2025). Sleep Optımızatıon For Recovery, Health And Performance In Athletes - A Lıterature Revıew. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science, 2(*4(48). https://doi.org/10.31435/ijitss.4(48).2025.4426

Biggins, M., Purtill, H., Fowler, P., O'Sullivan, K., ve Cahalan, R. (2022). Impact of long-haul travel to international competition on sleep and recovery in elite male and female soccer athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *17*(9), 1361-1370. https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0165

Bonnar, D., Bartel, K., Kakoschke, N., ve Lang, C. (2018). Sleep interventions designed to improve athletic performance and recovery: a systematic review of current approaches. *Sports Medicine*, *48*(3), 683-703. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0832-x

Borghi, S., Bizzozero, S., Vitale, J. A., Tallini, E., Corazza, F., La Torre, A., ... ve Codella, R. (2025). Chronotype, sleep hygiene, and sleep characteristics among athletes of different disciplines. *International Journal of Sports Medicine*, *46*(02), 104-114. https://doi.org/10.1055/a-2421-9310

Charest, J., ve Grandner, M. A. (2020). Sleep and athletic performance: impacts on physical performance, mental performance, injury risk and recovery, and mental health: an update. *Sleep Medicine Clinics*, *17*(2), 263-282. https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.11.005

Chennaoui, M., Vanneau, T., Trignol, A., Arnal, P., Gomez-Merino, D., Baudot, C., ... ve Chalabi, H. (2021). How does sleep help recovery from exercise-induced muscle injuries?. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *24*(10), 982-987. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.05.007

Craven, J., McCartney, D., Desbrow, B., Sabapathy, S., Bellinger, P., Roberts, L., ve Irwin, C. (2022). Effects of acute sleep loss on physical performance: a systematic and meta-analytical review. J. Craven vd. *Sports Medicine*, *52*(11), 2669-2690. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01706-y

Çetin, N., ve Köse, B. (2025). Effect of perceived stress on sleep quality and nutritional status in professional female basketball players. *Pamukkale Journal of Sport Sciences*, *16*(1), 66-87. https://doi.org/10.54141/psbd.1520276

de Mello, M. T., Stieler, E., Grade, I., Chaves Filho, A. F., Mendes, G., Ituassu, N., ve Silva, A. (2024). The sleep parameters of Olympic athletes: characteristics and assessment instruments. *International Journal of Sports Medicine*, *45*(10), 715-723. https://doi.org/10.1055/a-2233-0323

Gwyther, K., Rice, S., Purcell, R., Pilkington, V., Santesteban-Echarri, O., Bailey, A., ve Walton, C. C. (2022). Sleep interventions for performance, mood and sleep outcomes in athletes: A systematic review and meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, *58*, 102094. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102094

Halson, S. L. (2019). Sleep monitoring in athletes: motivation, methods, miscalculations and why it matters: SL Halson. *Sports Medicine*, *49*(10), 1487-1497. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01119-4

Hatia, M., Loureiro, N., Ribeiro, J., Moeda, F., Melo, M., Tocha, J., ... ve Braz, A. S. (2024). A narrative review of the impact of sleep on athletes: Sleep restriction causes and consequences, monitoring, and interventions. *Cureus*, *16*(12). https://doi.org/10.7759/cureus.76635

İlbak, İ., ve Açak, M. (2024). Investigation of sleep quality and mental toughness levels of young soccer players in terms of chronotypes. *Journal of Kinesiology and Exercise Sciences,* 34(108), 20-27. https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.6843.

Janse van Rensburg, D. C., Jansen van Rensburg, A., Fowler, P., Fullagar, H., Stevens, D., Halson, S., ... ve Cronje, T. (2020). How to manage travel fatigue and jet lag in athletes? A systematic review of interventions. *British Journal of Sports Medicine*, *54*(16), 960-968. https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101635

Kaczmarek, F., Bartkowiak-Wieczorek, J., Matecka, M., Jenczylik, K., Brzezińska, K., Gajniak, P., ... ve Mądry, E. (2025). Sleep and athletic performance: a multidimensional review of physiological and molecular mechanisms. *Journal of Clinical Medicine*, *14*(21), 7606. https://doi.org/10.3390/jcm14217606

Knufinke, M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A., Coenen, A. M., ve Kompier, M. A. (2018). Self-reported sleep quantity, quality and sleep hygiene in elite athletes. *Journal of Sleep Research*, *27*(1), 78-85. https://doi.org/10.1111/jsr.12509

Kocak, A., Georgousopoulou, E., Knight-Agarwal, C. R., Matthews, R., ve Minehan, M. (2025). The effect of consuming caffeine before late afternoon/evening training or competition on sleep: a systematic review with meta-analysis. *Sports*, *13*(9), 317. https://doi.org/10.3390/sports13090317

Kölling, S., Ferrauti, A., Pfeifer, M., Meyer, T., ve Kellmann, M. (2016). Sleep in sports: a short summary of alterations in sleep/wake patterns and the effects of sleep loss and jet-lag. *German Journal of Sports Medicine/Deutsche Zeitschrift fur Sportmedizin*, *67*(2), 35-38. https://doi.org/10.5960/dzsm.2016.215

Litwic-Kaminska, K., ve Jankowski, K. S. (2022). Self-reported chronotype and objective sleep timing in university student athletes and non-athletes. *Sleep Science*, *15*(03), 351-355. https://doi.org/10.5935/1984-0063.20220062

Weronika Lusarczyk, Natalia Sapeda, Aleksandra Białas, Aleksandra Młocek, Adrianna Truszyńska-Zawisza, Zuzanna Romanowska, ve Karolina Gorczyca. (2025). The effect of caffeıne supplementatıon on physıcal performance, recovery and sleep qualıty ın athletes – a lıterature revıew from the last 5 years. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science, 2,* 4(48). https://doi.org/10.31435/ijitss.4(48).2025.4011

O'Donnell, Shannon and Driller, Matthew W. (2016) Sleep-hygiene education improves sleep indices in elite female athletes, *International Journal of Exercise Science, 10(*4), 522-530. https://doi.org/10.70252/DNOL2901

Roberts, S. S. H., Teo, W. P., ve Warmington, S. A. (2019). Effects of training and competition on the sleep of elite athletes: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, *53*(8), 513-522. https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099322

Romyn, G., Robey, E., Dimmock, J. A., Halson, S. L., ve Peeling, P. (2016). Sleep, anxiety and electronic device use by athletes in the training and competition environments. *European journal of sport science*, *16*(3), 301-308. https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1023221

Samuels, C., James, L., Lawson, D., ve Meeuwisse, W. (2016). The athlete sleep screening questionnaire: a new tool for assessing and managing sleep in elite athletes. *British journal of sports medicine*, *50*(7), 418-422. https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094332

Silva AC, Facundo LA, Amaral AS, Borba DA, Rosa JPP, vd. (2021a) Evolution of research on elite adult athlete sleep: A systematic review. *Int J Sports Exerc Med,* 7, 204. https://doi.org/10.23937/2469-5718/1510204

Silva, A. C., Silva, A., Edwards, B., Tod, D., Amaral, A. S., Borba, D. A., Grade, I., ve de Mello, M. T. (2021b). Sleep extension in athletes: What we know so far—A systematic review. *Sleep Medicine,* 77, 128–135. https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.11.028

de Moura Simim, M. A., de Sá Souza, H., Cardoso Filho, C. A., da Silva Gianoni, R. L., Bezerra, R. R., de Oliveira Affonso, H., ... ve Claudino, J. G. (2020). Sleep quality monitoring in individual sports athletes: parameters and definitions by systematic review. *Sleep Science*, *13*(04), 267-285. https://doi.org/10.5935/1984-0063.20200032

Izabela Stachowicz, Kacper Gryboś, Maria Wydra, Ilona Kamińska, Anna Łysik, Katarzyna Ciepłucha, ve Jakub Przerwa. (2025). Cırcadıan rhythm and sleep dısorders ın athletes: rısk of ınjury and physıcal performance - a revıew of contemporary data. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*, *6*(3(47). https://doi.org/10.31435/ijitss.3(47).2025.3851

Şahin, Ö. İ., Açak, M., ve Buyukcelebi, H. (2024). Evaluation of sleep behaviors in male football players participating in youth football leagues. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, *13*(3), 1-9. https://doi.org/10.54392/ijpefs2431

Thun, E., Bjorvatn, B., Flo, E., Harris, A., ve Pallesen, S. (2015). Sleep, circadian rhythms, and athletic performance. *Sleep medicine reviews*, *23*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.smrv.2014.11.003

Vitale, K. C., Owens, R., Hopkins, S. R., ve Malhotra, A. (2019). Sleep hygiene for optimizing recovery in athletes: review and recommendations. *International Journal of Sports Medicine*, *40*(08), 535-543. https://doi.org/10.1055/a-0905-3103

Vlahoyiannis, A., Aphamis, G., Bogdanis, G. C., Sakkas, G. K., Andreou, E., ve Giannaki, C. D. (2021). Deconstructing athletes' sleep: A systematic review of the influence of age, sex, athletic expertise, sport type, and season on sleep characteristics. *Journal of Sport and Health Science, 10(*4), 387-402. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.03.006

Vlahoyiannis, A., Sakkas, G. K., Manconi, M., Aphamis, G., ve Giannaki, C. D. (2020). A critical review on sleep assessment methodologies in athletic populations: factors to be considered. *Sleep Medicine*, 74, 211-223. https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.07.029

SPORCULARDA ANTRENMAN YÜKÜ, TOPARLANMA VE YORGUNLUK İLİŞKİSİ: LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Dr. Cihad Onur KURHAN[1] Dr. Yusuf KURT[2] Doç. Dr. Davut ATILGAN[3]

[1]İnönü Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor, Malatya, Türkiye, cihadonurkurhan@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1892-6245

[2]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Kahramanmaraş, Türkiye, yusufkurt0046@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6066-6109

[3]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Kahramanmaraş, Türkiye, davutatilgan@ksu.edu.tr, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8475-4488

Özet

Bu çalışmanın amacı, sporcularda antrenman yükü, yorgunluk ve toparlanma arasındaki ilişkiyi incelemek; iç ve dış yük göstergeleri ile yorgunluk ve toparlanma ölçümlerinin sporcu izlemindeki yerini değerlendirmektir. Çalışma, geleneksel literatür taraması olarak hazırlanmıştır. Google Scholar, PubMed, Web of Science, Scopus ve SPORTDiscus'ta 2015–2025 yılları arasında yayımlanan ulusal ve uluslararası çalışmalar ilgili Türkçe ve İngilizce anahtar kelimelerle taranmıştır. Sistematik derlemeler, meta-analizler, uzlaşı raporları ve ilgili özgün araştırmalar konu başlıklarına göre sınıflandırılarak anlatısal olarak sentezlenmiştir. İncelenen çalışmalar, antrenman yükü, yorgunluk ve toparlanmanın çok boyutlu ve birbiriyle ilişkili süreçler olduğunu göstermektedir. Aynı dış yükün sporcular arasında farklı iç yanıtlar oluşturabilmesi ve yorgunluk ile toparlanmanın fizyolojik, nöromüsküler, psikolojik ve algısal bileşenler içermesi, tek bir göstergenin sporcu durumunu bütünüyle yansıtmasını güçleştirmektedir. Bulguların spor dalı, antrenman ve müsabaka dönemi ile bireysel özelliklere göre farklılaşabildiği; uyku ve antrenman dışı etmenlerin de yüklenme–toparlanma süreciyle ilişkili olduğu görülmektedir. Mevcut kanıtlar, iç ve dış yük ile öznel ve nesnel toparlanma-yorgunluk göstergelerinin birlikte değerlendirilmesini desteklemektedir. Antrenman yükü, yorgunluk ve toparlanmanın değerlendirilmesinde tek bir göstergeye dayalı yaklaşımlar yerine çok boyutlu sporcu izlenimi daha uygun görünmektedir. İç ve dış yük ile toparlanma-yorgunluk göstergelerinin branşa, antrenman dönemine ve bireysel özelliklere göre birlikte yorumlanması, yüklenme–toparlanma dengesinin değerlendirilmesine ve antrenmanın bireyselleştirilmesine katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Antrenman yükü, Yorgunluk, Toparlanma, Sporcu izlemi, Sportif performans.

THE RELATIONSHIP BETWEEN TRAINING LOAD, RECOVERY, AND FATIGUE IN ATHLETES: A LITERATURE REVIEW

Abstract

This study aimed to examine the relationship between training load, fatigue, and recovery in athletes and to evaluate the role of internal and external load indicators and fatigue and recovery measures in athlete monitoring. This study was conducted as a traditional literature review. National and international studies published between 2015 and 2025 were searched in Google Scholar, PubMed, Web of Science, Scopus, and SPORTDiscus using relevant Turkish and English keywords. Systematic reviews, meta-analyses, consensus statements, and relevant original studies were classified by topic and synthesized narratively. The reviewed evidence indicates that training load, fatigue, and recovery are multidimensional and interrelated processes. The same external load may elicit different internal responses among athletes, while fatigue and recovery involve physiological, neuromuscular, psychological, and perceptual components, limiting the ability of any single indicator to fully reflect athlete status. Findings may vary according to sport type, training and competition period, and individual characteristics, while sleep and non-training factors are also associated with the load–recovery process. Current evidence supports the combined assessment of internal and external load alongside subjective and objective indicators of fatigue and recovery. Instead of relying on a single indicator for evaluating training load, fatigue, and recovery, a multidimensional athlete assessment seems more appropriate. Integrating internal and external load with fatigue and recovery indicators while considering sport type, training period, and individual characteristics may contribute to the assessment of load–recovery balance and the individualization of training.

Keywords: Training load, Fatigue, Recovery, Athlete monitoring, Athletic performance.

1. GİRİŞ

Sportif performansın geliştirilmesi, uygun antrenman uyaranlarının yeterli toparlanma ile desteklenmesi sonucunda ortaya çıkan fizyolojik, nöromüsküler ve psikolojik adaptasyonlara bağlıdır. Bu nedenle performans gelişimi yalnızca antrenman hacmi veya şiddetinin artırılmasıyla açıklanamaz; uygulanan yükün sporcunun kapasitesi, antrenman geçmişi ve mevcut toparlanma durumuyla uyumlu olması gerekir. Yüklenme ve toparlanma arasındaki dengenin bozulması, beklenen adaptasyonların sınırlanmasına, yorgunluğun birikmesine ve performansın olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir (Kellmann vd., 2018; Moreno-Villanueva vd., 2022). Bu durum, antrenman sürecinde yalnızca gerçekleştirilen fiziksel çalışmanın değil, sporcunun bu çalışmaya verdiği bireysel yanıtın ve yüklenme sonrasındaki durumunun da izlenmesini gerekli kılmaktadır (Bourdon vd., 2017).

Antrenman yükünün değerlendirilmesinde dış yük, sporcunun gerçekleştirdiği fiziksel çalışmayı; iç yük ise organizmanın bu çalışmaya verdiği fizyolojik ve algısal yanıtı ifade etmektedir. Ancak benzer dış yüklerin sporcular arasında farklı iç yanıtlar oluşturabilmesi, antrenman yükünün tek bir gösterge üzerinden değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Nitekim sporcu özellikleri, mevcut yorgunluk düzeyi, psikolojik durum, uyku ve antrenman dışı stres etmenleri yükün nasıl tolere edildiğini etkileyebilmektedir. Sporcuların algıladığı yük ile antrenörlerin planladığı yükün bazı koşullarda farklılaşabilmesi de planlanan antrenman uyaranı ile sporcunun deneyimlediği yükün her zaman örtüşmeyebileceğini göstermektedir (Inoue vd., 2022). Bu nedenle sporcu izleme yaklaşımlarında iç ve dış yük göstergelerinin sporcunun yorgunluk ve toparlanma durumuyla birlikte değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Yorgunluk ve toparlanma da tek boyutlu süreçler değildir. Antrenman ve müsabaka yüklenmelerine verilen yanıtlar fizyolojik, nöromüsküler, psikolojik ve algısal göstergelere farklı biçimlerde yansıyabilmektedir. Öznel iyi oluş, algılanan yorgunluk, uyku ve kas ağrısı gibi göstergelerin sporcu izleminde yaygın olarak kullanılması bu çok boyutlu yapının bir sonucudur (Duignan vd., 2020). Benzer şekilde uyku, beslenme, hidrasyon ve farklı toparlanma uygulamaları yüklenme sonrasındaki toparlanma sürecini etkileyebilmektedir (Kellmann vd., 2018; Mihajlovic vd., 2023). Dolayısıyla antrenman yükü, yorgunluk ve toparlanma birbirinden bağımsız değişkenler olarak değil, sporcunun antrenmana verdiği toplam yanıtın birbiriyle ilişkili bileşenleri olarak değerlendirilmelidir Bu süreçlerin izlenmesine yönelik bilimsel literatür son yıllarda önemli ölçüde genişlemiştir. Antrenman yükünün izlenmesine ilişkin genel ilkeler ortaya konmuş (Bourdon vd., 2017), yüklenme ve toparlanma arasındaki ilişkiye yönelik uzlaşı önerileri geliştirilmiş (Kellmann vd., 2018) ve farklı sporcu gruplarında iç ve dış yük, yorgunluk, iyi oluş ve hazır oluş

göstergelerini inceleyen çalışmalar yayımlanmıştır (Moreno-Villanueva vd., 2022; Rebelo vd., 2024; Vavassori vd., 2024). Bununla birlikte mevcut literatürün önemli bir bölümü belirli bir spor dalına, belirli bir yük veya toparlanma göstergesine ya da belirli bir izleme yöntemine odaklanmaktadır. Örneğin çalışmalar takım sporlarında yük izleme araçlarını, voleybolda antrenman yükü ve hazır oluş yöntemlerini, basketbolda toparlanma stratejilerini veya belirli sporcu gruplarındaki yük–iyi oluş ilişkilerini ayrı ayrı ele almaktadır (Mihajlovic vd., 2023; Keys vd., 2023; Rebelo vd., 2024; Vavassori vd., 2024). Bu parçalı yapı, farklı araştırmalardan elde edilen bulguların antrenman sürecinin bütünü açısından birlikte yorumlanmasını güçleştirebilmektedir. Özellikle dış yükün ne olduğu, sporcunun bu yüke nasıl bir iç yanıt verdiği, ortaya çıkan yorgunluğun nasıl izlendiği ve toparlanmanın sonraki antrenmana hazır oluşla nasıl ilişkilendirilebileceği tek bir izleme çerçevesinin birbirini tamamlayan aşamalarıdır. Buna karşın farklı ölçüm yöntemleri, spor dalları ve sporcu grupları arasında yöntemsel çeşitlilik bulunması, tek bir göstergenin veya evrensel bir eşik değerin bütün sporcular için kullanılmasını güçleştirmektedir (Bourdon vd., 2017; Johnston vd., 2023). Ayrıca teknolojik izleme olanaklarının artması, daha fazla veri elde edilmesini sağlamakla birlikte hangi göstergelerin antrenman kararları açısından anlamlı olduğu ve öznel, fizyolojik ve performansa dayalı ölçümlerin nasıl birlikte yorumlanması gerektiği sorularını da gündeme getirmektedir (Keys vd., 2023; Stieler vd., 2023). Bu nedenle mevcut derlemenin katkısı, daha önceki sistematik derleme ve uzlaşı çalışmalarını tekrarlamaktan ziyade, antrenman yükü–yorgunluk–toparlanma ilişkisini ortak bir çerçevede ele alarak farklı izleme yaklaşımlarından elde edilen kanıtları bütüncül biçimde değerlendirmektir. Bu yaklaşımda iç ve dış yük göstergeleri, öznel ve nesnel yorgunluk/toparlanma ölçümleri, uyku ve antrenman dışı etmenler ile branşa ve bireye özgü farklılıklar aynı yüklenme–toparlanma sürecinin bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Böylece mevcut kanıtların yalnızca hangi ölçümlerin kullanılabileceğini değil, bu ölçümlerin birlikte nasıl anlamlandırılabileceğini ortaya koyması amaçlanmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmanın amacı, sporcularda antrenman yükü, toparlanma ve yorgunluk arasındaki ilişkiyi ulusal ve uluslararası literatür çerçevesinde incelemek; iç ve dış yük göstergeleri ile öznel ve nesnel toparlanma-yorgunluk ölçümlerinin sporcu izlemindeki yerini bütüncül olarak değerlendirmek ve farklı spor dalları ile bireysel özellikler göz önünde bulundurularak antrenman uygulamalarına yönelik çıkarımlar ortaya koymaktır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, sporcularda antrenman yükü, toparlanma ve yorgunluk arasındaki ilişkiyi mevcut bilimsel literatür doğrultusunda incelemek amacıyla geleneksel literatür taraması yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Bu kapsamda iç ve dış antrenman yükü, akut ve kronik yorgunluk, fizyolojik ve psikolojik toparlanma, sporcu iyi oluşu, antrenman yükü ve toparlanmanın izlenmesinde kullanılan yöntemler, uyku ve toparlanma ilişkisi, branşa özgü yük özellikleri ve toparlanmanın geliştirilmesine yönelik uygulamalar ele alınmıştır.

Literatür taraması Google Scholar akademik arama motoru ile PubMed, Web of Science, Scopus ve SPORTDiscus elektronik veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama kapsamında 2015–2025 yılları arasında yayımlanan ulusal ve uluslararası bilimsel çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın amacı ve ele alınan konu başlıkları doğrultusunda uluslararası yayınların taranmasında "training load", "internal training load", "external training load", "athletes", "fatigue", "recovery", "athlete monitoring", "training monitoring", "perceived exertion", "session-RPE", "well-being", "readiness", "neuromuscular fatigue", "sleep", "overreaching", "overtraining", "GPS" ve "wearable technology" anahtar kelimelerinden yararlanılmıştır. Ulusal yayınların taranmasında ise "antrenman yükü", "iç antrenman yükü", "dış antrenman yükü", "sporcular", "yorgunluk", "toparlanma", "sporcu izleme", "antrenman takibi", "algılanan efor", "seans algılanan efor", "iyi oluş", "hazır oluş", "nöromüsküler yorgunluk", "uyku", "aşırı yüklenme", "aşırı antrenman", "küresel konumlandırma sistemi" ve "giyilebilir teknoloji" terimleri kullanılmıştır. Anahtar kelimeler çalışmanın alt konu başlıklarına göre tek başına veya birbiriyle ilişkilendirilerek taranmıştır. Ayrıca ulaşılan çalışmaların kaynakça listeleri incelenerek konuyla ilişkili ek bilimsel yayınlara ulaşılmıştır.

Kaynakların belirlenmesinde sporcularda antrenman yükü ile yorgunluk, toparlanma, fiziksel ve psikolojik iyi oluş, performans, uyku ve antrenmana hazır oluş arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalar dikkate alınmıştır. Bunun yanı sıra iç ve dış antrenman yükünün değerlendirilmesinde kullanılan öznel ve nesnel yöntemler, giyilebilir teknolojiler, yük izleme uygulamaları ve farklı spor branşlarına özgü yük ve toparlanma özelliklerini ele alan çalışmalar değerlendirilmiştir. Konuya ilişkin mevcut kanıtların kapsamlı biçimde incelenmesi amacıyla sistematik derlemeler, meta-analizler, uzlaşı raporları ve ilgili özgün araştırmalardan yararlanılmıştır. Ayrıca Türkiye'deki sporculara ilişkin bulguların değerlendirilmesi amacıyla ilgili ulusal çalışmalar da incelemeye dahil edilmiştir. Sporcu örneklemiyle ilişkili olmayan, çalışmanın amacıyla doğrudan bağlantı göstermeyen veya ele alınan konu başlıklarının kapsamı dışında kalan yayınlardan yararlanılmamıştır.

İncelenen çalışmalar; antrenman yükü ve temel kavramlar, iç ve dış antrenman yükü, yorgunluk, toparlanma, yük–toparlanma–yorgunluk ilişkisi, uyku ve toparlanma, antrenman yükü ile sporcu iyi oluşu, yorgunluk ve toparlanmanın izlenmesi, branşa özgü yük ve toparlanma özellikleri ve toparlanmanın geliştirilmesine yönelik uygulamalar çerçevesinde sınıflandırılmış ve bulgular anlatısal olarak sentezlenmiştir. Çalışmalar değerlendirilirken araştırmalar arasındaki benzerlik ve farklılıkların yanı sıra örneklem özellikleri, kullanılan yük ve toparlanma göstergeleri, ölçüm yöntemleri, yöntemsel sınırlılıklar ve bulguların genellenebilirliği dikkate alınmıştır. Özellikle gözlemsel ve ilişkisel araştırmalardan elde edilen bulguların yorumlanmasında nedensellik çıkarımından kaçınılmış ve sonuçlar mevcut kanıtların kapsamı ve sınırlılıkları doğrultusunda değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Antrenman Yükünün Kavramsal Çerçevesi

Antrenman yükünün doğru biçimde tanımlanması, yüklenme-yorgunluk-toparlanma ilişkisinin anlaşılmasının ilk aşamasıdır. Bourdon vd. (2017), sporcularda yük izlemenin yalnızca gerçekleştirilen antrenmanın miktarını belirlemeye yönelik olmadığını, sporcunun bu yüke verdiği yanıtın değerlendirilmesini de içermesi gerektiğini belirtmektedir.

3.1.1. Dış Antrenman Yükü

Dış yük, sporcunun gerçekleştirdiği fiziksel işi tanımlar. Dayanıklılık sporlarında mesafe, süre, hız ve güç çıktısı; takım sporlarında toplam koşu mesafesi, yüksek hızlı koşu, sprint, hızlanma ve yavaşlama sayıları; direnç antrenmanlarında ise kaldırılan ağırlık, set, tekrar ve toplam hacim dış yükün göstergeleri olarak kullanılabilir.

Giyilebilir teknolojilerin gelişmesiyle Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi (GNSS), ivmeölçer ve diğer mikrosensör sistemleri dış yükün saha koşullarında ayrıntılı biçimde ölçülmesine olanak sağlamıştır. Keys vd. (2023) tarafından saha temelli takım sporlarında gerçekleştirilen 60 çalışmanın incelendiği sistematik derlemede, GPS ve ivmeölçerlerin dış yükün izlenmesinde yaygın olarak kullanılan teknolojiler arasında olduğu, RPE'nin ise iç yük değerlendirmesinde sıklıkla kullanıldığı bildirilmiştir. Bununla birlikte araştırmalarda farklı yük izleme ve veri analiz yöntemlerinin kullanılması nedeniyle performans ve yaralanma riskinin öngörülmesine yönelik ortak bir standart yöntemin henüz bulunmadığı belirtilmiştir. Bu nedenle teknolojik verinin artması, elde edilen her değişkenin performans veya sporcu sağlığı açısından aynı ölçüde anlamlı olduğu şeklinde yorumlanmamalı; izlenecek değişkenler spor

branşının özellikleri, antrenmanın amacı ve kullanılan yöntemin ölçüm özellikleri doğrultusunda seçilmelidir (Keys vd., 2023). Vavassori vd. (2024) tarafından voleybolda yük ve hazır oluş izleme yöntemlerinin değerlendirildiği sistematik derlemede, dış yükün özellikle sıçrama sayıları ve teknolojik izleme yöntemleri üzerinden değerlendirildiği; ancak düşük maliyetli sistemlerde dahi iç ve dış yükün bazı temel göstergelerinin birlikte kullanılabileceği bildirilmiştir.

3.1.2. İç Antrenman Yükü

İç yük, uygulanan dış yükün sporcu organizmasında oluşturduğu bireysel fizyolojik ve psikolojik stresi ifade etmektedir. Kalp atım hızı, kan laktatı, oksijen tüketimi, algılanan zorluk derecesi (RPE) ve seans algılanan zorluk derecesi (sRPE) bu amaçla yaygın olarak kullanılan göstergeler arasındadır. RPE temelli yöntemlerin temel avantajları kolay uygulanabilir, ucuz ve farklı spor branşlarına uyarlanabilir olmalarıdır. sRPE yaklaşımında sporcunun seansa ilişkin algıladığı zorluk derecesi ile seans süresi birlikte kullanılarak antrenman yüküne ilişkin pratik bir değer elde edilebilmektedir.

Inoue vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde 27 çalışma değerlendirilmiş; sporcuların algıladığı ve antrenörlerin planladığı genel RPE ve sRPE değerlerinin büyük ölçüde uyum gösterdiği, ancak özellikle kolay olarak planlanan antrenmanlarda sporcu-antrenör algısının farklılaşabildiği bildirilmiştir. Bu bulgu, antrenör tarafından planlanan antrenman yükü ile sporcunun gerçekten deneyimlediği yükün her zaman aynı olmayabileceğini göstermektedir.

Dolayısıyla antrenman programlamasında yalnızca "sporcuya ne yaptırıldığı" değil, "sporcunun uygulanan çalışmaya nasıl yanıt verdiği" de izlenmelidir.

3.2. Antrenman Yükü ve Yorgunluk İlişkisi

Yorgunluk, antrenman veya müsabaka sonucunda performans kapasitesinde geçici azalma ile karakterize olabilen çok boyutlu bir süreçtir. Kas glikojenindeki azalma, metabolit birikimi, kas hasarı, merkezi sinir sistemi değişiklikleri, otonom sinir sistemi yanıtları ve psikolojik süreçler yorgunluk oluşumuna katkıda bulunabilmektedir. Bu nedenle yorgunluğu yalnızca "kasların yorulması" biçiminde değerlendirmek doğru değildir. Fiziksel yorgunluğun yanında bilişsel ve psikolojik yorgunluk da sportif performansı etkileyebilir. Güleroğlu ve Eroğlu (2019), anaerobik egzersiz sonrası meydana gelen yorgunluğun zihinsel dayanıklılık üzerindeki akut etkisini inceleyerek yorgunluğun psikolojik boyutuna dikkat çekmiştir. Özellikle teknik karar verme, dikkat ve bilişsel kontrol gerektiren spor branşlarında bu boyut önem kazanmaktadır. Moreno-Villanueva vd. (2022) tarafından salon takım sporlarında gerçekleştirilen sistematik derleme, yorgunluğun

doğru biçimde belirlenebilmesi için farklı nitelikteki iç ve dış yük göstergelerinin periyodik ve bütünleşik biçimde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Araştırmada özellikle hazırlık dönemlerinin sonları ve yoğun müsabaka haftalarının akut ve subakut yorgunluk açısından kritik dönemler olabileceği belirtilmiştir. Yüksek antrenman yükünün tek başına olumsuz kabul edilmemesi gerekir. Yüksek performans düzeyine ulaşabilmek için organizmanın yeterli antrenman uyaranına maruz bırakılması zorunludur. Buradaki temel problem yüksek yükün varlığı değil, yükün sporcunun kapasitesine ve toparlanma durumuna göre yönetilmemesidir.

Bu nedenle:

Yüksek antrenman yükü ≠ hatalı antrenman yükü şeklinde bir ayrım yapılmalıdır. Uygun planlanan yüksek yük performans adaptasyonunu destekleyebilirken, sporcunun tolerans kapasitesini aşan ve toparlanma süresi dikkate alınmadan tekrarlanan yüklenmeler yorgunluk birikimi ve performans azalmasıyla sonuçlanabilir.

3.3. Toparlanma Kavramı ve Sportif Performans

Toparlanma, antrenman ve müsabaka sonucunda bozulan fizyolojik ve psikolojik dengenin yeniden kurulmasına yönelik çok boyutlu ve zamana bağlı bir süreçtir. Kellmann vd. (2018), toparlanmayı yalnızca fiziksel dinlenme şeklinde değil, fizyolojik ve psikolojik kaynakların yeniden oluşturulduğu kapsamlı bir süreç olarak tanımlamaktadır.

Toparlanmanın süresi ve niteliği yapılan egzersizin türüne göre değişmektedir. Kas hasarı oluşturan direnç veya pliometrik antrenmanın toparlanma gereksinimi ile metabolik yükün ön planda olduğu dayanıklılık antrenmanının toparlanma gereksinimi aynı olmayabilir. Benzer şekilde yoğun bilişsel ve taktiksel yük oluşturan bir antrenmanın psikolojik toparlanma gereksinimi de farklı olabilir. Kellmann vd. (2018), toparlanma yöntemlerinin sporcunun bireysel ve duruma özgü gereksinimleri doğrultusunda seçilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Başka bir ifadeyle, bütün sporcular için geçerli tek bir "en iyi toparlanma yöntemi" bulunmamaktadır. Yoda vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede 24 araştırma değerlendirilmiş ve su uygulamaları başta olmak üzere farklı toparlanma yöntemlerinin antrenman ve müsabaka sonrasındaki yorgunluğun azaltılmasına katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte toparlanma stratejilerinin egzersizin niteliği, sporcunun özellikleri ve hedeflenen adaptasyon dikkate alınarak seçilmesi gerekmektedir. Mihajlovic vd. (2023) basketbolcularda kullanılan toparlanma yöntemlerini sistematik olarak değerlendirmiş; uyku, beslenme, hidrasyon, soğuk su uygulaması, kompresyon giysileri, masaj ve farklı psikolojik yöntemlerin toparlanma programlarında kullanılabildiğini bildirmiştir. Araştırmacılar tek bir yönteme

dayalı yaklaşım yerine bireyselleştirilmiş ve birden fazla uygun stratejiyi içeren toparlanma programlarını önermektedir.

Dolayısıyla toparlanma, antrenmandan sonra yapılan yardımcı bir faaliyet olarak değil, antrenman programının planlı bir bileşeni olarak görülmelidir.

3.4. Uyku, Toparlanma ve Yorgunluk

Uyku, sporcunun fizyolojik ve psikolojik toparlanmasındaki en önemli davranışsal faktörlerden biridir. Uyku süresi ve kalitesindeki bozulmalar fiziksel performansın yanında bilişsel performans, duygu durumu ve algılanan yorgunluğu da etkileyebilir. Ochoa-Lácar vd. (2022) basketbolcularda uyku, toparlanma ve performans arasındaki ilişkiyi değerlendirdikleri sistematik derlemede, uyku süresi ve kalitesinin sportif toparlanma açısından önemli olduğunu bildirmiştir. Yoğun antrenman ve müsabaka takvimi, seyahatler ve geç saatlerde gerçekleştirilen müsabakalar sporcuların uyku düzenini olumsuz etkileyebilmektedir.

Gwyther vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde sporcularda uygulanan uyku müdahaleleri değerlendirilmiştir. Toplam 27 araştırmanın incelendiği çalışmada uyku hijyeni, uyku süresinin uzatılması ve benzeri müdahalelerin öznel uyku kalitesi, uykululuk ve olumsuz duygulanım üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte objektif uyku göstergeleri ve bazı fiziksel performans çıktıları üzerindeki etkilerin daha sınırlı olduğu belirtilmiştir. Hatia vd. (2024) da yetersiz uykunun kuvvet, dayanıklılık, bilişsel işlev ve genel sportif performansı olumsuz etkileyebileceğini; yarışma programları, psikolojik stres ve seyahatlerin sporculardaki uyku sorunlarına katkıda bulunabildiğini bildirmiştir. Bu veriler antrenman yükü ve uyku arasında çift yönlü bir ilişki bulunduğunu düşündürmektedir. Yoğun antrenman toparlanma ve uyku gereksinimini artırırken, yetersiz uyku sporcunun sonraki antrenman yüküne toleransını azaltabilir. Bu nedenle uyku, sporcu izlemede "antrenman dışı" bir değişken değil, toplam yük-toparlanma sisteminin önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

3.5. Yüklenme–Toparlanma–Adaptasyon Döngüsü

Antrenman sürecinin temel işleyişi basitleştirilmiş olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Antrenman yükü → Akut yorgunluk → Toparlanma → Adaptasyon → Yeni yüklenme

Antrenman sonrasında meydana gelen yorgunluk uygun toparlanma ile giderildiğinde organizma sonraki antrenman uyaranına hazırlanır. Süreç doğru yönetildiğinde uzun vadeli fizyolojik ve performans adaptasyonları ortaya çıkar. Özen vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen altı haftalık pliometrik antrenman çalışması da düzenli ve planlanmış antrenman uyaranlarının fiziksel performans parametrelerinde adaptasyon meydana

getirebildiğini göstermektedir. Ancak yüklenme-toparlanma dengesi bozulduğunda bu döngü farklı bir yöne ilerleyebilir:

Yüksek/birikimli yük → Yetersiz toparlanma → Biriken yorgunluk → Performans azalması → Fonksiyonel olmayan aşırı yüklenme → Aşırı antrenman riski

Kellmann vd. (2018), kısa süreli performans azalmasının ardından uygun toparlanmayla performans artışının meydana gelebildiği fonksiyonel aşırı yüklenmenin planlı antrenman sürecinin bir bileşeni olabileceğini belirtmektedir. Buna karşılık sistematik toparlanmanın sağlanamadığı durumlarda fonksiyonel olmayan aşırı yüklenme ve daha ileri aşamada aşırı antrenman sendromu gelişebilir. Bu nedenle antrenörün temel görevi yorgunluğu tamamen ortadan kaldırmak değildir. Belirli miktarda yorgunluk antrenman adaptasyonunun doğal sonucudur. Asıl amaç, yorgunluğun düzeyini ve süresini kontrol ederek adaptasyonu desteklemek olmalıdır.

3.6. Yorgunluk ve Toparlanmanın İzlenmesi

Sporcularda yorgunluğun değerlendirilmesinde tek bir "altın standart" yöntem bulunmamaktadır. Bunun temel nedeni yorgunluğun fizyolojik, nöromüsküler ve psikolojik bileşenlerden oluşmasıdır. Bourdon vd. (2017) ve Kellmann vd. (2018), sporcu izleme sistemlerinde objektif ve subjektif göstergelerin birlikte kullanılmasını önermektedir.

Sporcu izleminde kullanılabilecek öznel göstergeler arasında:

- RPE ve sRPE, algılanan yorgunluk, uyku kalitesi, kas ağrısı, stres, duygu durumu, algılanan toparlanma ve genel iyi oluş yer almaktadır.

Duignan vd. (2020), takım sporcularında tek maddelik öz bildirim göstergelerini değerlendiren sistematik derlemede yorgunluk, uyku kalitesi, kas ağrısı, stres ve duygu durumunun en sık kullanılan değişkenler arasında olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte bu değişkenler ile antrenman yükü arasındaki ilişkilerin çalışmalar arasında heterojen olduğu görülmüştür.

Bu durum önemli bir noktaya işaret etmektedir: sporcunun yorgunluk ve iyi oluş durumu yalnızca antrenman yükünden kaynaklanmamaktadır. Aile yaşamı, iş veya okul yükü, psikolojik stres, beslenme ve uyku gibi faktörler de sporcunun toplam stres yüküne katkıda bulunmaktadır.

Nesnel göstergeler arasında:

- Kalp atım hızı, kalp atım hızı değişkenliği (HRV), GPS/GNSS verileri, ivmeölçer verileri, karşı hareket sıçraması (CMJ), kuvvet ve güç çıktıları, kan laktatı, kreatin kinaz ve diğer bazı biyokimyasal göstergeler bulunmaktadır.

Kellmann vd. (2018), HRV'nin noninvaziv ve saha ortamında uygulanabilir bir yöntem olarak toparlanma-yorgunluk değerlendirmesinde kullanılabileceğini; ancak değerlerin antrenman dönemi, bireysel ölçüm hatası ve sporcunun kendi normal değerleri dikkate alınarak yorumlanması gerektiğini belirtmektedir. Vavassori vd. (2024), voleybolda sRPE'nin iç yük takibinde en yaygın yöntemlerden biri olduğunu, Toplam Toparlanma Kalitesi (TQR) ve iyi oluş anketlerinin hazır oluş değerlendirmesinde, CMJ'nin ise nöromüsküler durumun takibinde pratik biçimde kullanılabileceğini bildirmiştir. Rebelo vd. (2024) tarafından 31 çalışmanın değerlendirildiği sistematik derlemede de voleybolcularda günlük sRPE kullanımının, dış yük açısından sıçrama göstergelerinin ve nöromüsküler yorgunluk açısından CMJ temelli değerlendirmelerin uygulanabilir olduğu bildirilmiştir.

3.7. Spor Branşlarına Göre Yük ve Toparlanma

Antrenman yükü-yorgunluk-toparlanma ilişkisi bütün sporcular için geçerli olmakla birlikte yükün yapısı spor branşına göre önemli ölçüde değişmektedir.

Dayanıklılık sporlarında toplam mesafe, süre, tempo, güç çıktısı ve kardiyovasküler yanıtlar ön plana çıkarken, kuvvet ve güç sporlarında set, tekrar, kaldırılan ağırlık, hareket hızı ve nöromüsküler performans daha fazla önem taşıyabilir. Takım sporlarında ise toplam mesafe yanında yüksek hızlı koşu, sprint, hızlanma-yavaşlama, sıçrama, temas ve müsabaka yoğunluğu gibi çok sayıda değişken birlikte değerlendirilmelidir. Silva vd. (2023) futbol mikro-döngüsündeki antrenman yükünü değerlendiren sistematik derlemede 16 çalışmayı incelemiş ve müsabakaya kalan gün sayısına göre antrenman yükünün değiştiğini göstermiştir. Bulgular, haftanın orta bölümünde daha yüksek yüklerin uygulanabildiğini, müsabakaya yakın günlerde ise yükün azaltılması ve toparlanmaya daha fazla yer verilmesinin yaygın olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Gdovin vd. (2023), üniversite düzeyindeki erkek futbolcularda üç sezon boyunca izlenen dış antrenman yükünün haftalar ve sezon dönemleri arasında değişebildiğini bildirmiştir. Araştırmacılar, yük yönetiminde toplam ve yüksek şiddetli koşu mesafesi gibi göstergelerin izlenmesinin yanı sıra oyuncunun pozisyonu, deneyimi, takım içindeki rolü, antrenman şiddeti ve antrenman ile müsabakalar arasındaki sürenin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Bu bulgular, takım sporlarında antrenman yükünün sabit bir değer üzerinden değil, dönemsel ve bireysel özellikler dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir (Gdovin vd., 2023). Kılınç ve Özen (2015), tarafından elit güreşçiler üzerinde gerçekleştirilen çalışma, güreş gibi yüksek şiddetli ve anaerobik taleplerin belirgin olduğu branşlarda güç ve kardiyovasküler yanıtların önemini ortaya koymaktadır.

Özen vd. (2020) ise basketbolcularda pliometrik antrenman uygulamasının performans üzerindeki etkisinin kullanılan antrenman yüzeyinden etkilenebildiğini göstermiştir. Bu bulgu, dış yükün yalnızca "kaç tekrar" veya "kaç dakika" yapıldığı üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğine işaret etmektedir.

Spor branşına özgü ölçüm gereksinimleri Paralimpik sporlarda da belirginleşmektedir. Stieler vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede 22 çalışma kapsamında sekiz farklı Paralimpik spor dalında dış yükün değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler incelenmiş; GPS, kamera sistemleri, doğrusal konum dönüştürücüler ve farklı veri kayıt sistemleri dahil olmak üzere çeşitli teknolojilerin kullanıldığı belirlenmiştir. Kullanılan yöntemlerin spor dalının özelliklerine göre farklılaşması, dış yük izleminin branşa özgü olarak yapılandırılması gerektiğini desteklemektedir. Bununla birlikte araştırmacılar, kullanılan bazı yöntemlerin geçerlik ve güvenirliğine ilişkin kanıtların sınırlı olduğuna dikkat çekmiştir (Stieler vd., 2023). Dolayısıyla bütün spor branşlarına uygulanabilecek tek bir antrenman yükü veya toparlanma eşik değeri belirlemek güçtür. İzleme sistemlerinin branşa özgü ve sporcuya özgü olması gerekmektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu derlemede değerlendirilen bilimsel çalışmaların ortak noktası, sportif performansın antrenman yükünün tek başına bir sonucu olmadığıdır. Performans gelişimi, uygun antrenman uyaranı ile bu uyaranın oluşturduğu yorgunluğun yönetilmesi ve yeterli toparlanmanın sağlanması arasındaki dinamik dengeye bağlıdır. Bourdon vd. (2017) ile Kellmann vd. (2018) tarafından yayımlanan konsensüs çalışmaları, antrenman yükünün iç ve dış bileşenlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini güçlü biçimde vurgulamaktadır. Bu yaklaşımın temel nedeni, aynı dış yükün farklı sporcularda farklı fizyolojik ve psikolojik yanıt oluşturabilmesidir. Inoue vd. (2022) tarafından ortaya konulan sporcu-antrenör RPE farklılıkları da bireysel yanıtların önemini desteklemektedir. Bir antrenörün "kolay" olarak planladığı seans sporcunun mevcut toparlanma durumu nedeniyle daha zor algılanabilir. Benzer biçimde sporcunun kondisyonu geliştikçe daha önce yüksek iç yük oluşturan bir antrenman zaman içerisinde daha düşük iç yük meydana getirebilir. Dolayısıyla dış yük ile iç yük arasındaki ilişkinin zaman içerisinde değişmesi aynı zamanda adaptasyon hakkında bilgi sağlayabilir.

Yorgunluk açısından da benzer bir çok boyutluluk söz konusudur. Moreno-Villanueva vd. (2022), yorgunluğun değerlendirilmesinde farklı nitelikteki ölçümlerin birlikte kullanılmasını önermektedir. Güleroğlu ve Eroğlu'nun (2019) bulguları ise yorgunluğun psikolojik değişkenlerle de ilişkilendirilmesi gerektiğini göstermesi açısından ulusal literatürde önem taşımaktadır.

Uyku bu sistemin kritik düzenleyicilerinden biridir. Ochoa-Lácar vd. (2022), Gwyther vd. (2022) ve Hatia vd. (2024) tarafından bildirilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, uyku süresi ve kalitesinin yalnızca genel sağlık değil, sportif toparlanma açısından da dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte uyku müdahalelerinin her fiziksel performans göstergesinde otomatik iyileşme oluşturduğu söylenemez. Özellikle Gwyther vd. (2022), bazı öznel uyku ve duygu durumu göstergelerinde iyileşme bulunmasına rağmen objektif uyku ve performans ölçümlerindeki sonuçların daha sınırlı olduğunu göstermiştir. Bu durum literatürün yorumlanmasında nedensellik konusunda dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir. Toparlanma yöntemleri açısından da benzer bir durum bulunmaktadır. Yoda vd. (2024) ve Mihajlovic vd. (2023) farklı toparlanma stratejilerinin yararlı olabileceğini göstermekle birlikte, tek bir yöntemin bütün sporcular ve bütün antrenman türleri için üstün olduğunu söylemek mümkün değildir. Ayrıca bazı toparlanma uygulamalarının kronik antrenman adaptasyonları üzerindeki etkileri de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle toparlanma uygulamalarının yalnızca kısa dönemli yorgunluğu azaltma amacıyla değil, uzun dönemli adaptasyon hedefleriyle birlikte planlanması gerekir.

Spor branşları arasındaki farklılıklar da önemli bir başka konudur. Kılınç ve Özen'in (2015) güreşçiler üzerindeki çalışması anaerobik güç ve kardiyovasküler yanıtların önemini ortaya koyarken, Özen vd. (2020) basketbolcularda pliometrik antrenman uyaranına verilen adaptasyonu göstermektedir. Silva vd. (2023) ise futbolcularda mikro-döngü içindeki yük dağılımının müsabaka gününe göre değiştiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmaların birlikte değerlendirilmesi, sporcu izlemede tek bir evrensel model yerine branşa özgü sistemlerin geliştirilmesini desteklemektedir. Bununla birlikte branşa özgülük yeterli değildir; bireyselleştirme de gereklidir. Temm vd. (2022), özellikle genç kadın sporcularda antrenman dışı stresörlerin ve bireysel faktörlerin izleme sistemlerine dahil edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Sporcuların okul, iş, aile, sosyal yaşam ve uyku gibi faktörlerden etkilenmesi, antrenman yükünün toplam stresin yalnızca bir bölümünü oluşturduğunu göstermektedir. Bu nedenle literatür doğrultusunda sporcu izleme sisteminin yalnızca "yük ölçme sistemi" olarak görülmemesi gerekir. Daha doğru yaklaşım, bunu "yük–yanıt–toparlanma sistemi" şeklinde değerlendirmektir. Örneğin aynı dış yükü tamamlayan iki sporcudan biri normal RPE, iyi uyku ve normal nöromüsküler performans gösterirken diğerinin yüksek RPE, kötü uyku, yüksek kas ağrısı ve düşük CMJ performansı göstermesi durumunda iki sporcu için aynı sonraki antrenman kararının verilmesi uygun olmayabilir. Bu bağlamda bireysel referans değerleri önem kazanmaktadır. Tek bir gün ölçülen RPE, HRV veya CMJ değerinden çok, sporcunun kendi uzun dönemli değerlerine göre meydana gelen değişimin izlenmesi daha

anlamlı olabilir. Kellmann vd. (2018), ölçüm hatasının ve bireysel değişkenliğin dikkate alınması gerektiğini özellikle vurgulamaktadır. Sonuç olarak kanıtlar "yüksek yük kötüdür" veya "düşük yük iyidir" şeklindeki basit yaklaşımları desteklememektedir. Spor performansı için yeterli yüklenme gereklidir. Temel problem yükün büyüklüğünden çok, yükün sporcunun kapasitesi, antrenman dönemi ve toparlanma durumuyla uyumudur.

Öneriler

Sporcu izleminde iç ve dış antrenman yükünün birlikte değerlendirilmesi, yüklenmeye verilen bireysel yanıtların daha doğru yorumlanmasını sağlayabilir. Teknolojik olanakların sınırlı olduğu durumlarda sRPE gibi düşük maliyetli yöntemlerden yararlanılabilir. Uyku, yorgunluk, kas ağrısı, stres ve genel iyi oluş düzenli olarak izlenmeli; antrenman kararları tek bir göstergeye dayandırılmamalıdır. Değerlendirmelerde sporcunun bireysel özellikleri ve geçmiş ölçümleri dikkate alınmalı, toparlanma uygulamaları kişiye özgü planlanmalıdır. Bu doğrultuda, yorgunluğu tamamen ortadan kaldırmak yerine aşırı yorgunluk birikimini önlemeye ve yüklenme–toparlanma dengesini korumaya yönelik bireyselleştirilmiş uygulamaların benimsenmesi önerilmektedir. Sonuçda sporcularda antrenman yükü, toparlanma ve yorgunluk birbiriyle karşılıklı etkileşim gösteren ve sportif performansın gelişimini belirleyen temel süreçlerdir. Antrenman yükü performans adaptasyonu için gerekli olmakla birlikte, uygulanan yükün sporcunun bireysel kapasitesine göre düzenlenmemesi ve yeterli toparlanmanın sağlanmaması durumunda yorgunluk birikimi ve performans azalması meydana gelebilir. İncelenen literatür, antrenman yükü ile yorgunluk veya performans arasında bütün sporcular için geçerli basit ve doğrusal bir ilişki olmadığını göstermektedir. Aynı dış yük farklı sporcularda farklı iç yük meydana getirebilmekte; uyku, beslenme, psikolojik stres, antrenman geçmişi, kondisyon düzeyi ve bireysel özellikler yüklenmeye verilen yanıtı değiştirebilmektedir. Bu nedenle sporcu izlemede yalnızca antrenman hacmi veya şiddetine odaklanan yaklaşımlar yerine dış yük, iç yük ve toparlanma-yorgunluk göstergelerini birlikte değerlendiren çok boyutlu modellerin kullanılması önerilmektedir. RPE/sRPE, uyku, kas ağrısı ve algılanan toparlanma gibi düşük maliyetli yöntemlerin GPS/GNSS, HRV ve nöromüsküler performans ölçümleri gibi objektif göstergelerle desteklenmesi daha kapsamlı bir sporcu profili sağlayabilir.

Sonuç olarak sportif performansın sürdürülebilir biçimde geliştirilmesinde temel amaç sporcunun mümkün olduğunca fazla antrenman yapmasını veya yorgunluğun tamamen ortadan kaldırılmasını sağlamak değildir. Temel amaç, performans adaptasyonunu oluşturacak yeterli antrenman uyaranı ile bu uyaranın gerektirdiği toparlanma arasındaki dengeyi bireysel olarak yönetmektir.

KAYNAKLAR

Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., ve Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12(*Suppl 2), S2-161–S2-170. https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208

Duignan, C., Doherty, C., Caulfield, B., ve Blake, C. (2020). Single-item self-report measures of team-sport athlete wellbeing and their relationship with training load: A systematic review. *Journal of Athletic Training,* https://doi.org/10.4085/1062-6050-0528.19

Gdovin, J. R., Galloway, R., Tomasiello, L. S., Seabolt, M., ve Booker, R. (2023). External training load monitoring and the impact on training load management in collegiate male soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 37(*7), 1434–1439. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004080

Güleroğlu, F., ve Eroğlu, H. (2019). Anaerobik egzersiz sonrası oluşan yorgunluğun sporcuların zihinsel dayanıklılık düzeylerine akut etkisi. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 21(*3), 23–33. https://izlik.org/JA53JX47YM

Gwyther, K., Rice, S. M., Purcell, R., Pilkington, V., Santesteban-Echarri, O., Bailey, A. P., ve Walton, C. C. (2022). Sleep interventions for performance, mood and sleep outcomes in athletes: A systematic review and meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise,* 58, 102094. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102094

Hatia, M., Loureiro, N., Ribeiro, J. P. A., Moeda, F., Melo, M. C. O. L., Tocha, J., Schonenberger, A., ve Correia, C. (2024). A narrative review of the impact of sleep on athletes: Sleep restriction causes and consequences, monitoring, and interventions. *Cureus,* 16. https://doi.org/10.7759/cureus.76635

Inoue, A., Bunn, P. S., do Carmo, E. C., Lattari, E., ve da Silva, E. B. (2022). Internal training load perceived by athletes and planned by coaches: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine - Open,* 8. https://doi.org/10.1186/s40798-022-00420-3

Johnston, R. D., Jones, B., Till, K., ve Weakley, J. (2023). Methods of monitoring internal and external loads and their relationships with physical qualities, injury, or illness in adolescent athletes: A systematic review and best-evidence synthesis. *Sports Medicine,* 53. https://doi.org/10.1007/s40279-023-01844-x

Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, S. L., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, K. W., Meeusen, R., Mujika, I., Robazza, C., Skorski, S., Venter, R., ve Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 13(*2), 240–245. https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0759

Keys, G., Ryan, L., Faulkner, M., ve McCann, M. (2023). Workload monitoring tools in field-based team sports, the emerging technology and analytics used for performance and injury prediction: A systematic review. *International Journal of Computer Science in Sport,* https://doi.org/10.2478/ijcss-2023-0008

Kılınç, F., ve Özen, G. (2015). Elit serbest ve Grekoromen güreşçilerin anaerobik güç değerleri ve kalp atım sayılarının karşılaştırması. *İnönü Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 2(*2), 21–34. https://izlik.org/JA69GZ32RT

Mihajlovic, M., Cabarkapa, D., Cabarkapa, D., Philipp, N. M., ve Fry, A. (2023). Recovery methods in basketball: A systematic review. *Sports, 11(*11), 230. https://doi.org/10.3390/sports11110230

Moreno-Villanueva, A., Rico-González, M., ve Pino-Ortega, J. (2022). Monitoring of internal and external loads to interpret acute and chronic fatigue in indoor team sports: A systematic review. *International Journal of Sports Science ve Coaching,* https://doi.org/10.1177/17479541221096396

Ochoa-Lácar, J., Singh, M., Bird, S., Charest, J., Huyghe, T., ve Calleja-González, J. (2022). How sleep affects recovery and performance in basketball: A systematic review. *Brain Sciences, 12(*11), 1570. https://doi.org/10.3390/brainsci12111570

Özen, G., Atar, O., ve Koç, H. (2020). The effects of a 6-week plyometric training programme on sand versus wooden parquet surfaces on the physical performance parameters of well-trained young basketball players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine, 9(*1), 27–32. https://doi.org/10.26773/mjssm.200304

Rebelo, A., Pereira, J. R., Cunha, P., Coelho-e-Silva, M. J., ve Valente-dos-Santos, J. (2024). Training stress, neuromuscular fatigue and well-being in volleyball: A systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation,* https://doi.org/10.1186/s13102-024-00807-7

Silva, H., Nakamura, F. Y., Castellano, J., ve Marcelino, R. (2023). Training load within a soccer microcycle week—A systematic review. *Strength and Conditioning Journal,* https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000765

Stieler, E., de Mello, M. T., Lobo, I. L. B., Gonçalves, D. A. P., Resende, R. A., de Andrade, A. G. P., Lourenço, T. F., Andrade, H. A., Guerreiro, R. C., ve Silva, A. (2023). Current technologies and practices to assess external training load in Paralympic sport: A systematic review. *Journal of Sport Rehabilitation*, https://doi.org/10.1123/jsr.2022-0110

Temm, D., Standing, R. J., ve Best, R. (2022). Training, wellbeing and recovery load monitoring in female youth athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(*18), 11463. https://doi.org/10.3390/ijerph191811463

Vavassori, R., Moreno Arroyo, M. P., ve Ureña Espa, A. (2024). Training load and players' readiness monitoring methods used in volleyball. *Kinesiology,* 56(1). https://doi.org/10.26582/k.56.1.10

Yoda, I., Tisna, G. D., Suwiwa, I. G., Kusuma, K. C. A., ve Marques, N. K. (2024). Recovery methods to reduce fatigue among athletes: A systematic review and future directions. *Journal Sport Area, 9(*2). https://doi.org/10.25299/sportarea.2024.vol9(2).16928

SPORA KATILIMIN YAŞAM DOYUM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BAZI DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ

Doç. Dr. Emre SERİN[1] Doç. Dr. Davut ATILGAN[2]

[1]Mersin Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Mersin, TÜRKİYE, emreserin@mersin.edu.tr,

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9596-2912

[2] Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE,

davutatilgan@ksu.edu.tr, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8475-4488

Özet

Bu çalışmanın amacı spora katılımın yaşam doyumu üzerindeki etkisi bağlamında bazı demografik ve sportif değişkenlere göre anlamlı farklılık olup olmadığını belirlemektir. Çalışmaya Mersin ilinde spora düzenli ve ara sıra rekreatif amaçla katılım gösteren toplam 519 birey gönüllü olarak katılım göstermiştir. Araştırma kapsamında demografik sorularla birlikte "Yaşam Doyum Ölçeği" kullanıldı. Katılımcıların demografik ve sportif bilgi formunda cinsiyet, spor yapma türü (bireysel-takım), spor deneyimi (yılı) ve kendilerini nasıl hissettikleri değişkenleri belirlenmiştir. Toplanan verilerin istatistiksel analizinde SPSS31 istatistiki yazılım paket programı kullanılmıştır. Verilerin analizi yapılırken ilk olarak verilerin normallik dağılımı çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri incelenmiştir. Dağlım normal olduğu için t-Testi ve ANOVA testi yapılmış ve anlamlı gruplar arasındaki farklılığın tespiti için Post-Hoc Testlerinden LSD testi kullanılmıştır. Bulgularda katılımcıların yaşam doyum puanlarında cinsiyet değişkeninde anlamlı bir farklılık göstermediği; spor yapma türü (bireysel-takım), spor deneyimi (yılı) ve kendilerini nasıl hissettikleri değişkenleri bakımından ise anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca katılımcıların yaşam doyum puanlarının yüksek düzeyde (3.78) olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, spor deneyiminin bireylerin yaşam doyumu üzerindeki etkisini ortaya koyarak, özellikle spor yapma türü (bireysel-takım) ve kendilerini nasıl hissettikleri değişkenleri bakımından anlamlı farklılıkları anlamaya yardımcı olur. Araştırma sonuçları uzun süreli spor katılımın yaşam doyum üzerine etkisini bilimsel olarak destekler niteliktedir.

Anahtar kelimeler: Spora katılım, Yaşam doyum, Sportif değişken.

AN EXAMINATION OF THE EFFECT OF SPORTS PARTICIPATION ON LIFE SATISFACTION ACCORDING TO SOME DEMOGRAPHIC VARIABLES

Abstract

The aim of this study is to determine whether there are significant differences in the effect of sports participation on life satisfaction according to some demographic and sporting variables. A total of 519 individuals from Mersin province who regularly or occasionally participate in recreational sports voluntarily participated in the study. The study utilized the "Life Satisfaction Scale" along with demographic questions. Participants' demographic and sports information forms included variables such as gender, type of sport participation (individual-team), years of sports experience, and how they felt about themselves. The SPSS31 statistical software package program was used for the statistical analysis of the collected data. During the data analysis, the normality of the data distribution, skewness, and kurtosis values were examined first. Since the distribution was normal, t-tests and ANOVA tests were performed, and the LSD test, a Post-Hoc test, was used to determine the difference between significant groups. The findings revealed no significant difference in life satisfaction scores based on gender; however, significant differences were found based on type of sport participation (individual-team), years of sports experience, and how they felt about themselves. In addition, it was found that the participants' life satisfaction scores were at a high level (3.78). In conclusion, this study reveals the impact of sports experience on individuals' life satisfaction, helping to understand significant differences, particularly in terms of the type of sport participated in (individual-team) and how they feel about themselves. The research findings scientifically support the positive impact of long-term sports participation on life satisfaction.

Keywords: Sports participation, Life satisfaction, Sporting variables.

1. GİRİŞ

Spor yapmanın, bireylerin psikososyal sağlığını desteklemesinde ve sağlıklı bir yaşam sürdürmelerinde önemli bir rolü vardır (Ağralı Ermiş ve Dereceli, 2023). Bireyin yaşam performansı ve diğer alanlardaki fiziksel, zihinsel ve duygusal kapasitesi, spor aktiviteleri aracılığıyla belirgin şekilde etkilenebilir (Parlak, 2023).

Yaşam doyumu, bireyin hayatında önemli olarak dikkate aldığı kriterlere dayalı değerlendirmeleri sonucunda ortaya çıkan duygusal ve düşünsel tepkileri ifade eder (Proctor vd, 2017; Akt. Boz vd., 2024). Tarih boyunca, yaşam doyumunun bağlı olduğu faktörler ve hangi özellikte bireylerin daha mutlu olduğu konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Yaşam doyumu ile ilişkili olması beklenen ve çeşitli araştırmaların odak noktası haline gelen değişkenler arasında yaş, cinsiyet, gelir, çalışma durumu, ırk, evlilik, aile yapısı, eğitim düzeyi, din ve sosyal etkileşim yer alır. Bu değişkenlere ek olarak, yaşamsal etkinlikler, bireylerin kişilik özellikleri ve biyolojik etkenlerin de yaşam doyumu düzeyine olan etkisi bilinmektedir (Eroğlu, 2011; Akt. Çolak ve Ünal, 2020).

Araştırmanın amacı bireylerin yaşam doyumu düzeylerini belirlemek ve cinsiyet, spor yapma türü (bireysel-takım), spor deneyimi (yılı) ve kendilerini nasıl hissettikleri değişkenlerine göre anlamlı farklılık gösterip göstermediğini belirlemektir.

Günümüzde yaşam doyumu, bireylerin psikolojik iyi oluşunun ve yaşam kalitesinin önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Düzenli fiziksel aktivite ve sporun bireylerin fiziksel sağlığının yanı sıra ruhsal ve sosyal iyilik hâline de önemli katkılar sağladığı bilinmektedir. Bununla birlikte, yaşam doyumunun demografik ve sportif özelliklere göre nasıl değiştiğine ilişkin çalışmalar farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedir.

Çalışmanın Önemi

Bu çalışma, spor deneyiminin bireylerin yaşam doyumu üzerindeki etkisini ortaya koyarak, özellikle spor yapma türü (bireysel-takım) ve kendilerini nasıl hissettikleri değişkenleri bakımından anlamlı farklılıkları anlamaya yardımcı olur. Araştırma sonuçları uzun süreli spor katılımın yaşam doyum üzerine etkisini bilimsel olarak destekler niteliktedir.

Bu araştırma; spor yapan bireylerin yaşam doyumu düzeylerinin çeşitli değişkenler açısından değerlendirilmesine katkı sağlayacak, sporun bireylerin yaşam kalitesine etkisinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Elde edilecek bulguların spor bilimleri alanındaki araştırmacılara, antrenörlere, beden eğitimi öğretmenlerine, spor yöneticilerine ve spor politikalarının geliştirilmesine katkı sağlaması

beklenmektedir. Ayrıca bireylerin yaşam doyumunu artırmaya yönelik uygulanacak sportif ve psikososyal programların planlanmasında bilimsel bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

Araştırma soruları;

1. Katılımcıların yaşam doyum puanları hangi düzeydedir?
2. Katılımcıların yaşam doyum puanları cinsiyet değişkenine göre anlamlı farklılık göstermekte midir?
3. Katılımcıların yaşam doyumu puanları spor yapma türü (bireysel-takım) değişkenine göre anlamlı farklılık göstermekte midir?
4. Katılımcıların yaşam doyumu puanları spor deneyimi (yılı) değişkenine göre anlamlı farklılık göstermekte midir?
5. Katılımcıların yaşam doyumu puanları kendilerini nasıl hissettikleri değişkenine göre anlamlı farklılık göstermekte midir?

2. YÖNTEM

Çalışma Grubu

Bu araştırmaya Mersin ilinde spora düzenli ve ara sıra rekreatif amaçla katılım gösteren toplam 519 birey gönüllü olarak katıldı. Araştırmaya katılım gösterenlerin bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırma örneklemine dahil edilen katılımcı bilgileri

Demografik Değişkenlere Göre		n	%
Cinsiyet	Kadın	238	45.9
	Erkek	281	54.1
Spor türü	Bireysel Spor	165	31.8
	Takım Sporu	146	28.1
	Diğer mix/serbest stil	208	40.1
Spor Deneyimi (yıl)	0-1 yıl	243	46.8
	2-4 yıl	90	17.3
	5-6 yıl	75	14.5
	7-8 yıl	43	8.3
	9 yıl ve üstü	68	13.1
Kendini nasıl hissettiği	Nötr	199	38.3
	İyi	278	53.6
	Çok iyi (Mutlu-Huzurlu)	42	8.1

Tablo 1 incelendiğinde cinsiyet, spor türü (bireysel-takım), spor deneyimi (yıl) ve kendini nasıl hissettiği değişkenlerinde belirlenen kategoriler ve frekans değerleri görülmektedir.

Veri Toplama Araçları

Yaşam Doyum Ölçeği: Diener, Emmons, Larsen ve Griffin (1985) tarafından geliştirilen "Yasam Doyumu Ölçeği'nin Türkçeye uyarlanması Dağlı ve Baysal (2016) tarafından yapılmıştır. Ölçeğin özgün formu bir faktör, beş madde ve likert tipinde 7'li derecelendirmeden oluşmaktadır. Ölçeğin Türkçeye uyarlanması daha önce de Köker (1991) tarafından yapılmış ve 7'li derecelendirme olarak Türkiye'de değişik araştırmacılarca kullanılmıştır. Dağlı ve Baysal (2016) tarafından Yasam Doyumu Ölçeğinin Türkçeye uyarlanması aşamasında, özgün şeklinde yedi basamaklı olan cevap seçeneklerinin Türk kültür yapısına uygun olmadığı görüldüğünden basamak sayısı beşe indirilmiştir. Bu aşamadan sonra ilgili ölçek tekrar İngilizceden Türkçeye uyarlanmıştır. Yapılan çalışmada bu sistemdeki ölçek ifadelerinin puanlanması; "Hiç katılmıyorum (1), Çok az katılıyorum (2), Orta düzeyde katılıyorum (3), Büyük oranda katılıyorum (4) ve Tamamen katılıyorum (5)", seklindedir. Ölçeğin Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı .88 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ise Cronbach Alpha katsayısı .76 olarak bulunmuştur.

İstatistiksel Analiz

Verilerin toplanmasında ve değerlendirilmesinde IBM SPSS31 istatistiki yazılım paket programı kullanılmıştır. Veriler ortalama ve standart sapmalar hesaplanarak özetlenmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin analizi yapılırken ilk olarak verilerin normallik dağılımı çarpıklık (skewness) -.636 basıklık (kurtosis) .481 değerleri belirlenmiştir. Verilerin normal dağılım gösterdiği anlaşıldığından parametrik testlerden "Bağımsız Örneklem t-Testi ve Tek Yönlü Varyans Analizi (One Way ANOVA)" kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan istatistiksel analizler %95 güven aralığında p.0.05 ve 0.01 hata düzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada etki büyüklüğü için ikili karşılaştırmalar t-Testinde etki büyüklüğünü Cohen'in d formülünden yararlanılmıştır. Cohen, d göre değer 0.2'den küçük olması durumunda zayıf; 0.5 olması durumunda orta; 0.8'den büyük olması durumunda ise güçlü etki büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır (Cohen, 2013). Çoklu karşılaştırmalar için ANOVA testi kullanılırken etki büyüklüğünü belirlemek için eta-kare (η2) formülünden yararlanılmış olup 0.01=küçük etki; 0.06=orta etki; 0.14=büyük etki vardır (Büyüköztürk, 2011).

3. BULGULAR

Tablo 2. Katılımcıların Yaşam Doyum Ölçeği puanlarının aritmetik ortalama ve standart sapma puanları.

Ölçek	N	x̄	Min-Max	SS
Yaşam Doyum Ölçeği	519	3.78	1-5	.78

Katılımcıların Yaşam Doyum Ölçeğine ilişkin puanlarının aritmetik ortalamasının yüksek düzeyde (3.78) olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Katılımcıların cinsiyet değişkenine göre Yaşam Doyum Ölçeği puanlarının bağımsız grup t-Testi bulguları.

Ölçek	Cinsiyet	x̄	SS	*t*	*p*
Yaşam Doyum Ölçeği	Kadın	3.80	.73	.381	.352
	Erkek	3.77	.83		

*(p<0,05)

Tablo 3'e göre yapılan t-Testi sonucunda cinsiyet değişkeni açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Tablo 4. Katılımcıların Yaşam Doyum Ölçeği puanlarına göre spor türü değişkeni ANOVA testi bulguları.

Ölçek	Spor Türü	x̄	*SS*	*F*	*p*	Fark olan gruplar (LSD Testi)	Effect size
Yaşam Doyum Ölçeği	Bireysel Spor (a)	3.82	.83	8.51	.001*	a, b - c	.032
	Takım Sporu (b)	3.96	.80				
	Diğer mix/ serbest stil (c)	3.62	.70				

**($p<0.05$)*

Tablo 4 incelendiğinde yapılan ANOVA testi sonucunda spor türü değişkeni bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Yaptığı spor türü bireysel spor ve takım sporu ($\overline{X}_{bireysel}$= 3.82), ($\overline{X}_{takım}$= 3.96) olan katılımcıların puanlarının yaptığı spor türü diğer mix/serbest stil ($\overline{X}_{diğer}$= 3.62), olan katılımcıların puanlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Etki büyüklüğü eta-kare (η2) değerleri incelendiğinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerine etkisinin genel anlamda zayıf-orta düzey aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Katılımcıların Yaşam Doyum Ölçeği puanlarına göre spor deneyimi (yıl) değişkeni ANOVA testi bulguları

Ölçek	Spor Deneyimi (yıl)	x̄	*SS*	*F*	*p*	Fark olan gruplar (LSD Testi)	Effect size
Yaşam Doyum Ölçeği	0-1 yıl (a)	3.61	.74	6.13	.001*	b, c, d, e - a	.046
	2-4 yıl (b)	3.86	.71				
	5-6 yıl (c)	3.92	.91				
	7-8 yıl (d)	4.07	.70				
	9 yıl ve üstü (e)	3.95	.79				

*$(p<0.05)$

Tablo 5 incelendiğinde yapılan ANOVA testi sonucunda spor deneyimi (yıl) değişkeni bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Spor deneyim yılı 2-4 yıl, 5-6 yıl, 7-8 yıl ile 9 yıl ve üstü ($\overline{X}_{2\text{-}4\ yıl}$= 3.86), ($\overline{X}_{5\text{-}6\ yıl}$= 3.92), ($\overline{X}_{7\text{-}8\ yıl}$= 4.07), ($\overline{X}_{9\ yıl\ ve\ üstü}$ = 3.95) olan katılımcıların puanlarının spor deneyim yılı 0-1 yıl olan ($\overline{X}_{0\text{-}1\ yıl}$= 3.61) olan katılımcıların puanlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Etki büyüklüğü eta-kare (η2) değerleri incelendiğinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerine etkisinin genel anlamda zayıf-orta düzey aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Katılımcıların Yaşam Doyum Ölçeği puanlarına göre kendini nasıl hissettiği değişkeni ANOVA testi bulguları.

Ölçek	Kendini nasıl hissettiği	x̄	*SS*	*F*	*p*	Fark olan gruplar (LSD Testi)	Effect size
Yaşam Doyum Ölçeği	Nötr (a)	3.58	.68	18.87	.001*	a, b - c	.068
	İyi (b)	3.84	.82				
	Çok iyi (Mutlu-Huzurlu) (c)	4.32	.66				

*$(p<0.05)$

Tablo 6 incelendiğinde yapılan ANOVA testi sonucunda kendini nasıl hissettiği değişkeni bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Kendini iyi ve çok iyi hissettiğini ($\overline{X}_{İyi}$= 3.84), ($\overline{X}_{Çok\ iyi}$= 4.32), belirten katılımcıların puanlarının kendini nötr hissettiğini ($\overline{X}_{Nötr}$ = 3.58) belirten katılımcıların puanlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Etki büyüklüğü eta-kare (η2) değerleri incelendiğinde bağımsız

değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerine etkisinin genel anlamda orta etki ile büyük etki aralığında olduğu görülmektedir.

3. TARTIŞMA

Araştırmamızın sonucunda, Tablo 3'e göre yapılan t-Testi sonucunda cinsiyet değişkeni açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Çalışmamızın aksine alan yazında cinsiyetler arasında farklılıklar olduğu sonucuna ulaşan çalışmalar mevcut iken (Morris & Roychowdhury, 2020; Navarro vd., 2020; Şen, 2018; Sevinç ve Kapçak, 2021) çalışmamızın sonuçlarıyla benzer sonuçlara ulaşan çalışmaların varlığı da mevcuttur (Çakır, 2019; Güvendi ve Serin, 2019; Özkurt ve Küçükibiş, 2024; Molina-García vd., 2007; Cecchini vd., 2004; Karademir, 2021). Ortaya çıkan farklılıkların nedeni olarak örneklem özellikleri, araştırma metodolojileri ve ölçüm araçlarındaki çeşitliliğin olduğu düşünülmektedir.

Yaptığı spor türü bireysel spor ve takım sporu ($\overline{X}_{\text{bireysel}}$= 3.82), ($\overline{X}_{\text{takım}}$= 3.96) olan katılımcıların puanlarının yaptığı spor türü diğer mix/serbest stil ($\overline{X}_{\text{diğer}}$= 3.62), olan katılımcıların puanlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Etki büyüklüğü eta-kare (η2) değerleri incelendiğinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerine etkisinin genel anlamda zayıf-orta düzey aralığında olduğu görülmektedir. McCarthy ve ark. (2007)'nın araştırmasında da takım sporları ile ilgilenen çocuklar, kazandıkları deneyimden bireysel sporlar ile ilgilenenlere göre daha tatminkâr olduklarını belirtmişlerdir. Diğer bir araştırmada da, sporcuların kişilik özelliklerinin bireysel ve takım sporları için farklı olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada takım sporcularının daha uzlaşmacı, bireysel sporcu olan atletler daha dürüst çıkmıştır. Bununla birlikte çalışmada dışa dönüklük ve açıklık iki grup arasında da anlamlı bulunmuştur (Mc Clelland ve Winter, 1969).

Spor deneyimi (yıl) değişkeni bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Spor deneyim yılı 2-4 yıl, 5-6 yıl, 7-8 yıl ile 9 yıl ve üstü ($\overline{X}_{\text{2-4 yıl}}$= 3.86), ($\overline{X}_{\text{5-6 yıl}}$= 3.92), ($\overline{X}_{\text{7-8 yıl}}$= 4.07), ($\overline{X}_{\text{9 yıl ve üstü}}$ = 3.95) olan katılımcıların puanlarının spor deneyim yılı 0-1 yıl olan ($\overline{X}_{\text{0-1 yıl}}$= 3.61) olan katılımcıların puanlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Etki büyüklüğü eta-kare (η2) değerleri incelendiğinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerine etkisinin genel anlamda zayıf-orta düzey aralığında olduğu görülmektedir. Ayrıca, yaşla birlikte artan deneyim ve iyimserlik de yaşam doyumunun artmasında önemli bir faktör olarak belirtilmiştir (Bal ve Gülcan, 2014). Maher vd.'nin (2015) yaptığı çalışmada, yaşam doyumunun orta yetişkinlik döneminde (36-68 yaş) genç yetişkinlik dönemine göre (18-35 yaş) sabit kaldığı veya arttığı, ancak ileri yetişkinlik döneminde (69-89 yaş) yaşam doyumunun 21 azaldığı bulunmuştur. Gülcan ve Bal'ın (2014) çalışmasında ise genç yetişkinlerde yaşam doyumu düzeylerinin yaşa göre istatistiksel açıdan anlamlı bir

farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Yani ilerleyen yaş ile birlikte spora katılımın devamlılığın sağlanması her iki açıdan yaşam doyumu düzey puanlarını arttırabileceği düşünülebilir.

Araştırmamızın sonuçlarına göre kendini nasıl hissettiği değişkeni bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Kendini iyi ve çok iyi hissettiğini ($\overline{X}_{\text{İyi}}$= 3.84), ($\overline{X}_{\text{Çok iyi}}$= 4.32), belirten katılımcıların puanlarının kendini nötr hissettiğini ($\overline{X}_{\text{Nötr}}$ = 3.58) belirten katılımcıların puanlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Etki büyüklüğü eta-kare (η2) değerleri incelendiğinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerine etkisinin genel anlamda orta etki ile büyük etki aralığında olduğu görülmektedir. Mutluluk, iyi olma kaliteli bir yaşam, kişiler arası ilişkilere katkı sağlaması, başarıyı ve motivasyonu artırması ve fiziksel ve ruhsal açıdan sağlıklı bir yaşamı desteklemesi nedeniyle dünyanın pek çok yerinde bireylerin hedef olarak belirlediği, ruh sağlığı uzmanlarınınsa danışanlarında teşvik etmeye çalıştığı bir yaşantıdır (Diener ve Chan, 2011). Başar ve Sarı (2018) de yapmış oldukları çalışma bulgularına göre düzenli spor yapanlar ile yapmayanlar arasında depresyon/mutluluk, mutluluk ve psikolojik iyi oluş puanlarında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak bireylerin spor yaparken kendini iyi hissetmesi iyi hisseden kişilerin daha mutlu ve yaşamdan daha fazla doyum aldıkları sonucuna varılabilir.

4. SONUÇ

Araştırma sonucunda, katılımcıların yaşam doyumu düzeylerinin cinsiyet değişkenine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. Buna karşın, yapılan spor türü, spor deneyimi ve kendini nasıl hissetme değişkenlerinin yaşam doyumu üzerinde anlamlı farklılık oluşturduğu görülmüştür. Spor türü açısından bireysel ve takım sporu yapan katılımcıların yaşam doyumu puanlarının diğer/mix/serbest stil sporlarla ilgilenen katılımcılardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Spor deneyimi açısından ise 2 yıl ve üzeri spor deneyimine sahip katılımcıların yaşam doyumu puanlarının 0-1 yıl deneyime sahip katılımcılardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Kendini nasıl hissetme değişkeninde ise kendini iyi ve çok iyi hisseden katılımcıların yaşam doyumu puanlarının nötr hisseden katılımcılara göre daha yüksek olduğu ve bu değişkenin diğer değişkenlere kıyasla daha güçlü bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, araştırma bulguları spor türü, spor deneyimi ve bireyin kendini nasıl hissettiğinin yaşam doyumu ile ilişkili olduğunu; cinsiyetin ise anlamlı bir farklılık oluşturmadığını göstermektedir. Bu doğrultuda, düzenli ve sürdürülebilir spor katılımının ve bireyin fiziksel-psikolojik açıdan kendini iyi hissetmesinin yaşam doyumunu destekleyebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Bal, P. N., ve Gülcan, A. (2014). Genç yetişkinlerde iyimserliğin mutluluk ve yaşam doyumu üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Asya Öğretim Dergisi, 2(*1), 41-52.

Başar, S., Sarı, İ. (2018). Düzenli egzersizin depresyon, mutluluk ve psikolojik iyi oluş üzerine etkisi. *İnönü Ün. Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi. 5(*3): 25-34.

Boz, E., Kul, M., ve Çetintaş, Y. (2024). Milli takım düzeyindeki bedensel engelli para-karate sporcularının spora katılım motivasyonları ile yaşam kalite ve yaşam doyum düzeyleri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *CBÜ Beden Eğitimi Ve Spor Bilimleri Dergisi, 19(*1), 59-69.

Büyüköztürk, Ş. (2011). *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı.* Ankara: Pegem Akademi. s. 44.

Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* Academic press. Newyork.

Çolak, H., ve Ünal, H. (2020). Spor bilimleri fakültesi öğrencilerinde yaşam doyumu ve umutsuzluğun madde kullanma eğilimine etkisinin araştırılması. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (7), 344-357. https://doi.org/10.21733/ibad.685268,

Diener, E., Chan, M.Y.(2011). Happy people live longer: subjective well-being contributes to health and longevity. *Applied Psychology. 3(*1): 1-43.

Ermiş, S. A., ve Dereceli, E. (2023). *Sporda imgeleme ve güdülenme.* Spor Bilimleri Alanında Güncel Yaklaşımlar-II, 65.

Eroğlu, E. (2011). Örgütlerde iletişim kalitesini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* (26), 137–149,

Maher, J. P., Pincus, A. L., Ram, N. ve Conroy, D. E. (2015). Daily physical activity and life satisfaction across adulthood. *Developmental Psychology, 51(*10), 1407. https://doi.org/10.1037/dev0000037

McClelland, D. C. ve Winter, D. G. (1969), *Motivating economic achievement.* The Free Pres, New York.

Morris, T., ve Roychowdhury, D. (2020). Physical activity for health and wellbeing: The role of motives for participation. *Health Psychology Report, 8(*4), 391–407. https://doi.org/10.5114/hpr.2020.100111

Navarro, J., Escobar, P., Miragall, M., Cebolla, A., & Baños, R. M. (2021). Adolescent motivation toward physical exercise: The role of sex, age, enjoyment, and anxiety. *Psychological reports, 124(*3), 1049-1069. https://doi.org/10.1177/0033294120922490

Parlak, N. (2023). Amatör futbolcularda zihinsel antrenmanın zihinsel dayanıklılığa etkisinin incelenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10(*1), 83-100. https://doi.org/10.30803/adusobed.1233266

Proctor, C., Linley, P. A., Maltby, J., & Port, G. (2017). Life satisfaction. *Encyclopedia of Adolescence, 2(*1), 2165-2176.

Sevinç, K., & Kapçak, V. (2021). Spor bilimleri fakültesi öğrencilerinin spora katılım motivasyonlarının ve öz yeterlik düzeylerinin incelenmesi. *Uluslararası Egzersiz Psikolojisi Dergisi, 3(*2), 68-78. https://doi.org/10.51538/intjourexerpsyc.1038957

Şen, M. (2018). *Ortaokul ve lise öğrencilerinin spora katılım motivasyonunun incelenmesi.* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.

GELENEKSEL SPORLARIN YAYGINLAŞTIRILMASI BAĞLAMINDA ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN TUTUMLARININ DEMOGRAFİK VE SPORTİF ÖZELLİKLERE GÖRE İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Erol BAYKAN [1]

[1]Yozgat Bozok Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Spor Yöneticiliği Bölümü, Spor Bilimleri / Spor Yönetimi, erol.baykan@yobu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7429-3446

Özet

Bu araştırmanın amacı, üniversite öğrencilerinin geleneksel sporlara yönelik tutumlarının cinsiyet, yaş, öğrenim görülen fakülte ve aktif spor yapma durumuna göre farklılaşıp farklılaşmadığını incelemek ve bulguları üniversitelerde geleneksel sporların yaygınlaştırılmasına yönelik planlama çalışmaları açısından değerlendirmektir. Betimsel ve karşılaştırmalı nitelikte kesitsel tarama modeli kullanılan araştırmanın çalışma grubunu, uygun örnekleme yöntemiyle ulaşılan 450 üniversite öğrencisi oluşturmuştur. Veriler, Kişisel Bilgi Formu ve 21 maddeden oluşan Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeği kullanılarak çevrim içi ortamda toplanmıştır. Analizlerde betimsel istatistikler, bağımsız örneklemler t-testi, tek yönlü varyans analizi ve Tukey HSD testi kullanılmış; etki büyüklükleri Cohen'in d ve eta kare katsayılarıyla değerlendirilmiştir. Bulgular, tutum puanlarının cinsiyete göre anlamlı biçimde farklılaşmadığını göstermiştir. Yaşa göre yalnızca kültürel gelişim alt boyutunda anlamlı ve düşük düzeyde bir farklılık belirlenmiştir. Öğrenim görülen fakülteye göre toplam ölçek ve bütün alt boyutlarda anlamlı farklılıklar bulunmakla birlikte etki büyüklüklerinin düşük olduğu görülmüştür. Aktif spor yapan öğrencilerin fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim alt boyutları ile toplam tutum puanlarının aktif spor yapmayan öğrencilerinkinden anlamlı ancak etki büyüklüklerinin küçük olduğu belirlenmiştir. Sonuçlara göre, üniversitelerde geleneksel sporların yaygınlaştırılmasına yönelik programların fakülte özellikleri ve öğrencilerin sportif katılım durumları dikkate alınarak planlanmasının yararlı olabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Geleneksel sporlar, tutum, üniversite öğrencileri, spor yönetimi, sportif katılım.

Abstract

This study aimed to examine whether university students' attitudes toward traditional sports differed according to gender, age, faculty, and active participation in sports and to evaluate the findings in relation to planning initiatives intended to promote traditional sports at universities. The study employed a descriptive and comparative cross-sectional survey design. The sample consisted of 450 university students recruited through convenience sampling. Data were collected online using a Personal Information Form and the 21-item Attitude Scale Toward Traditional Sports. Descriptive statistics, independent-samples *t*-tests, one-way analysis of variance (ANOVA), and Tukey's HSD post hoc test were used in the analyses. Effect sizes were assessed using Cohen's *d* and eta squared (η^2). The findings indicated that attitude scores did not differ significantly by gender. Regarding age, a significant difference with a small effect size was found only in the cultural development subscale. Significant differences according to faculty were identified in the total scale score and all subscales, although the corresponding effect sizes were small. Students who actively participated in sports had significantly higher scores on the physical, social, cognitive, and cultural development subscales and on the overall scale than those who did not actively participate in sports; however, the effect sizes were small. Based on these findings, it may be beneficial to consider faculty characteristics and students' sport participation status when planning programs intended to promote traditional sports at universities.

Keywords: Traditional sports, attitude, university students, sport management, sport participation.

1. GİRİŞ

Geleneksel sporlar ve oyunlar, yerel ve bölgesel geleneklerden doğan, toplulukların kültürel kimliğini ve sosyal ilişkilerini yansıtan fiziksel kültür biçimleridir (Prabucki ve Rozmiarek, 2025). Bu etkinlikler, geçmişten kalan sportif uygulamalar olmanın ötesinde, kültürel aktarım ve toplumsal etkileşim yoluyla varlığını sürdüren yaşayan pratiklerdir (Saura ve Zimmermann, 2021). Bununla birlikte standartlaşmış küresel sporların yaygınlaşması, bazı geleneksel sporların yerel bağlamlarından uzaklaşmasına ve görünürlüklerinin azalmasına yol açmıştır (Prabucki ve Rozmiarek, 2025). Bu nedenle geleneksel sporların korunması, yalnızca belgelenmelerini değil, eğitim ve toplum yaşamı içerisinde uygulanabilir hâle getirilmelerini de gerektirmektedir (Nofrizal vd., 2024).

Geleneksel sporların fiziksel gelişimin yanında psikolojik, sosyal, bilişsel ve kültürel işlevler taşıdığı farklı araştırmalarda ortaya konulmuştur (Çinar ve Hassani, 2026; Lavega-Burgués vd., 2024; Luchoro-Parrilla vd., 2024). Çinar ve Hassani'nin (2026) 11–12 yaşlarındaki 60 öğrenciyle gerçekleştirdiği yarı deneysel çalışmada, sekiz haftalık geleneksel oyun programına katılan öğrencilerin fiziksel okuryazarlığın fiziksel, psikolojik, sosyal ve bilişsel boyutlarında anlamlı gelişme gösterdiği belirlenmiştir. Kanarya Adaları'ndaki yedi okuldan 226 öğrencinin katıldığı bir başka araştırmada ise geleneksel oyunların aile, öğretmen ve araştırmacı iş birliğiyle uygulanmasının bağlamsal öğrenmeye, fiziksel ve sosyal sürdürülebilirlik bilgisine ve duygusal iyi oluşa katkı sağladığı bildirilmiştir (Luchoro-Parrilla vd., 2024). Bu bulgular çocukluk dönemine ilişkin olmakla birlikte, geleneksel sporların fiziksel performansla sınırlandırılamayacak çok boyutlu bir eğitim içeriğine sahip olduğunu göstermektedir (Çinar ve Hassani, 2026; Luchoro-Parrilla vd., 2024).

Üniversite öğrencileriyle yürütülen araştırmalar da geleneksel oyun deneyimlerinin farklı gelişim alanlarını birlikte harekete geçirebildiğine işaret etmektedir (Lavega-Burgués vd., 2024). Lavega-Burgués vd. (2024) tarafından 140 spor bilimleri öğrencisiyle gerçekleştirilen karma yöntem araştırmasında, geleneksel bir oyunun farklı kural yapılarının katılımcıların karar verme süreçlerini, motor etkileşimlerini, fiziksel çabalarını ve duygusal deneyimlerini farklılaştırdığı belirlenmiştir. Huang ve Long'un (2025) spor psikolojisi ve geleneksel spor eğitimi üzerine gerçekleştirdiği derlemede ise öğrenci motivasyonunun düşüklüğü, öğretmen yeterliklerinin sınırlı olması, altyapı eksiklikleri ve tekdüze programlar temel uygulama sorunları arasında gösterilmiştir. Aynı çalışmada öğrenci katılımını destekleyen öğretim tasarımları, öğretmen eğitimi, teknoloji kullanımı ve okul-toplum iş birliği, geleneksel spor eğitimini güçlendirebilecek uygulamalar olarak değerlendirilmiştir (Huang ve Long, 2025).

Geleneksel sporların yaygınlaştırılmasına yönelik yönetimsel uygulamalar da araştırmalarda ele alınmıştır. Riau bölgesinde yerel yönetim, ilgili paydaşlar ve geleneksel spor temsilcilerinden oluşan 10 katılımcıyla yürütülen nitel araştırmada etkili bir yönetim yapısının kurulması, düzenli etkinlik ve festivaller gerçekleştirilmesi, geleneksel ve dijital iletişim kanallarının kullanılması, gençlere eğitim verilmesi ve kültürel uygulamaların arşivlenmesi temel koruma stratejileri olarak belirlenmiştir (Nofrizal vd., 2024). Bişkek'te yaşayan 440 kişiyle yapılan araştırmada da geleneksel spor oyunlarına yönelik genel tutumun olumlu sosyal-kültürel, ekonomik ve siyasi etki algılarıyla pozitif yönde ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Korkmaz ve Kızanlıklı, 2023). Bu bulgular, geleneksel sporların yaygınlaştırılmasının sportif katılımın yanında kültürel tanıtım, toplumsal etkileşim ve organizasyon yönetimi boyutlarıyla birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir (Korkmaz ve Kızanlıklı, 2023; Nofrizal vd., 2024).

Atılgan vd. (2024) tarafından Türkiye ve Kırgızistan'daki iki üniversiteden 323 spor bilimleri öğrencisiyle gerçekleştirilen araştırmada, geleneksel sporlara yönelik tutumların orta düzeyde olduğu; üniversite, akademik başarı, bölüm, sınıf ve doğum yeri değişkenlerine göre ölçek toplamında veya bazı alt boyutlarda anlamlı farklılıklar bulunduğu belirlenmiştir. Aynı araştırmada spor yöneticiliği öğrencilerinin toplam tutum puanlarının diğer bölüm öğrencilerinden daha yüksek olması, akademik program ve bölüm içeriğinin geleneksel sporlara yönelik tutumların farklılaşmasında rol oynayabileceğini düşündürmektedir (Atılgan vd., 2024). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören 414 öğrenciyle yürütülen araştırmada ise cinsiyet, aktif spor yapma durumu ve spor türüne göre anlamlı farklılık bulunmazken sınıf, bölüm ve yerleşim yeri değişkenlerinin bazı tutum boyutlarında farklılık oluşturduğu belirlenmiştir (Shamatava vd., 2026). Bu sonuçlar, geleneksel sporlara yönelik tutumların bireysel özelliklerin yanı sıra öğrencilerin içinde bulunduğu akademik ve sosyal çevreye göre de farklılaşabileceğine işaret etmektedir (Atılgan vd., 2024; Shamatava vd., 2026).

Geleneksel sporlara yönelik olumlu tutumun fiilî katılım ve diğer davranışsal göstergelerle aynı anlama gelmediği de dikkate alınmalıdır. Çin'in 18 bölgesinden 486 katılımcıyla gerçekleştirilen araştırmada, geleneksel spor yapanların topluluk kimliği ve sosyal etkinlik değerlendirmelerinin spor yapmayanlardan daha yüksek olduğu; geleneksel spor uygulamalarına altı ay boyunca devam eden katılımcıların başlangıç ölçümlerine göre daha yüksek değerler bildirdiği belirlenmiştir (Li, 2026). Buna karşılık Özsaydi vd. (2026) tarafından 634 ergenle gerçekleştirilen örtük profil analizinde, yüksek geleneksel spor tutumunun hem olumlu fiziksel aktivite tutumu ve düşük dijital oyun bağımlılığıyla tanımlanan "aktif-sağlıklı" profilde hem de yüksek

dijital oyun bağımlılığıyla tanımlanan "çatışmalı-bağımlı" profilde görülebildiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, geleneksel sporlara yönelik olumlu tutumun tek başına fiilî katılımın veya diğer olumlu davranışların yeterli bir göstergesi olarak yorumlanamayacağını düşündürmektedir (Özsaydi vd., 2026).

Polonya'da iki geleneksel ve iki modern su sporu etkinliğine katılan 394 kişiyle yapılan araştırmada, modern etkinliklerin fiziksel olarak aktif olmayan bireyleri çekme ve düzenli spor katılımını teşvik etme bakımından geleneksel etkinliklerden daha etkili olmadığı; geleneksel etkinliklerin ise daha fazla olumlu duygu ve yeniden katılma isteği oluşturduğu belirlenmiştir (Młodzik vd., 2021). Amsterdam Futsal Turnuvası üzerine 49 görüşme, katılımcı gözlem ve dijital etnografiyle yürütülen araştırmada kültürel sürdürülebilirliğin örgütsel kapasite ve katılım olanaklarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Spaaij ve Schaillée, 2020). Yunanistan'daki küçük ölçekli koşu organizasyonlarını yöneten 25 kişiyle gerçekleştirilen araştırmada ise organizatör görüşlerine göre kapsayıcılık, erişilebilirlik, çevresel sorumluluk ve paydaşlar arası ortaklıklar sürdürülebilir etkinlik yönetiminin temel unsurları arasında yer almıştır (Gkarane vd., 2025). Spaaij ve Schaillée (2020) ile Gkarane vd. (2025) doğrudan geleneksel sporları incelememekle birlikte, bulguları kültür temelli spor organizasyonlarında örgütsel kapasite, kapsayıcılık ve paydaş iş birliğinin önemine ilişkin aktarılabilir yönetimsel çıkarımlar sunmaktadır.

İncelenen çalışmaların geleneksel sporlara yönelik doğrudan tutumu ağırlıklı olarak spor bilimleri öğrencileri, ergenler veya yerel halk üzerinde ele aldığı görülmektedir (Atılgan vd., 2024; Korkmaz ve Kızanlıklı, 2023; Özsaydi vd., 2026; Shamatava vd., 2026). İncelenen kaynaklar kapsamında farklı fakültelerde öğrenim gören üniversite öğrencilerinin aynı araştırma içerisinde karşılaştırıldığı çalışmaların sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, üniversite öğrencilerinin geleneksel sporlara yönelik toplam tutum düzeyleri ile psikolojik gelişim, fiziksel gelişim, sosyal gelişim, bilişsel gelişim ve kültürel gelişim alt boyut puanlarını belirlemek ve bu puanların cinsiyet, yaş, öğrenim görülen fakülte ve aktif spor yapma durumuna göre farklılaşıp farklılaşmadığını incelemektir. Araştırmada spor yönetimi ayrı bir ölçüm değişkeni olarak ele alınmamıştır. Araştırmanın yönetimsel boyutu, tutum bulgularının geleneksel sporların üniversitelerde yaygınlaştırılması, hedef öğrenci gruplarının belirlenmesi ve eğitim, tanıtım ve etkinlik programlarının planlanması bakımından değerlendirilmesi üzerine yapılandırılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Etiği

Araştırmanın yürütülmesi için Yozgat Bozok Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulundan 24.07.2026 tarihli ve 7/09 karar sayılı etik kurul onayı alınmıştır. Katılımcılara araştırmanın amacı, katılımın gönüllü olduğu, istedikleri zaman araştırmadan ayrılabilecekleri ve elde edilen verilerin yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacağı açıklanmıştır. Çevrim içi veri toplama formuna erişmeden önce tüm katılımcılardan bilgilendirilmiş gönüllü onam alınmış ve doğrudan kimlik belirlemeye imkân veren herhangi bir kişisel bilgi toplanmamıştır.

2.2. Araştırma Modeli

Araştırma, üniversite öğrencilerinin geleneksel sporlara yönelik tutumlarını belirlemek ve bu tutumların cinsiyet, yaş, öğrenim görülen fakülte ve aktif spor yapma durumuna göre farklılaşıp farklılaşmadığını incelemek amacıyla nicel araştırma yaklaşımı kapsamında, betimsel ve karşılaştırmalı nitelikte kesitsel tarama deseninde yürütülmüştür. Kesitsel araştırmalarda veriler belirli bir zaman diliminde toplanarak incelenen özelliklerin mevcut durumu ortaya konulabilmekte ve farklı gruplar arasında karşılaştırmalar yapılabilmektedir (Creswell ve Creswell, 2018; Wang ve Cheng, 2020). Bu doğrultuda katılımcıların geleneksel sporlara yönelik tutum düzeyleri betimlenmiş; ölçek toplamı ve alt boyut puanlarının belirlenen değişkenlere göre anlamlı biçimde farklılaşıp farklılaşmadığı incelenmiştir. Araştırmada değişkenlere herhangi bir müdahalede bulunulmamış ve belirlenen farklılıklar nedensel ilişkiler kurulmaksızın değerlendirilmiştir. Çalışmanın geleneksel sporların yaygınlaştırılması ve spor yönetimiyle bağlantısı, bulguların üniversitelerde uygulanabilecek tanıtım, eğitim ve katılım programlarının planlanması açısından yorumlanmasıyla sınırlandırılmıştır.

2.3. Araştırma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, veri toplama sürecinde Yozgat Bozok Üniversitesinin farklı fakültelerinde aktif öğrenci kaydı bulunan ve araştırmaya gönüllü olarak katılan 450 üniversite öğrencisi oluşturmuştur. Katılımcılar uygun örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir. Araştırmaya Yozgat Bozok Üniversitesinde aktif öğrenci kaydı bulunan, 18 yaşını doldurmuş ve çevrimiçi veri toplama formunu eksiksiz yanıtlayan öğrenciler dâhil edilmiştir. Katılımcıların demografik ve sportif özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik ve Sportif Özelliklerine İlişkin Bulgular

Değişken	Grup	*n*	%
Cinsiyet	Erkek	238	52,9
	Kadın	212	47,1
	Toplam	450	100,0
Yaş	18–20 yaş	172	38,2
	21–23 yaş	221	49,1
	24 yaş ve üzeri	57	12,7
	Toplam	450	100,0
Fakülte	SBF	154	34,2
	MMF	90	20,0
	SABF	67	14,9
	İF	53	11,8
	EF	51	11,3
	İHF	35	7,8
	Toplam	450	100,0
Aktif Spor Yapma	Evet	278	61,8
	Hayır	172	38,2
	Toplam	450	100,0

Not: SBF: Spor Bilimleri Fakültesi, MMF: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, SABF: Sağlık Bilimleri Fakültesi, İF: İletişim Fakültesi, EF: Eğitim Fakültesi, İHF: İlahiyat Fakültesi

Tablo 1'e göre katılımcıların %52,9'u erkek ve %47,1'i kadındır. Katılımcıların %49,1'i 21–23 yaş grubunda yer almakta, %34,2'si Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim görmekte ve %61,8'i aktif olarak spor yaptığını belirtmektedir.

2.4. Veri Toplama Araçları

Araştırma için veriler, Google Forms üzerinden hazırlanan çevrimiçi veri toplama formuyla elde edilmiştir. Form bağlantısı öğrencilerin kurumsal e-posta adreslerine ve öğrenci WhatsApp gruplarına ulaştırılmıştır. Formun başlangıç bölümünde katılımcılara araştırmanın amacı, katılımın gönüllülük esasına dayandığı, yanıtların gizli tutulacağı ve elde edilen verilerin yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacağı açıklanmıştır. Bilgilendirilmiş gönüllü onam veren öğrenciler veri toplama formunu yanıtlamıştır. Formdaki bütün sorular zorunlu yanıtlanacak şekilde düzenlendiğinden tamamlanarak gönderilen formlarda eksik veri oluşmamıştır. Toplam 450 katılımcıdan elde edilen verilerin tamamı analizlere dâhil edilmiştir. Araştırma verilerinin elde edilmesinde Kişisel Bilgi Formu ile Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeği kullanılmıştır.

2.4.1. Kişisel Bilgi Formu

Kişisel Bilgi Formunda araştırmacı tarafından hazırlanan katılımcıların cinsiyeti, yaşı, öğrenim gördükleri fakülte, aktif spor yapma durumu, haftalık spor yapma süresi ve yaptıkları spor türüne ilişkin altı soru yer almıştır. Ancak haftalık spor yapma süresi ve spor türü soruları aktif spor yapmayan katılımcılar için koşullu olarak düzenlenmediğinden, bu katılımcıların yanıtları açık biçimde yorumlanamamıştır. Bu nedenle söz konusu iki değişken karşılaştırmalı analizlere dâhil edilmemiştir.

2.4.2. Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeği

Üniversite öğrencilerinin geleneksel sporlara yönelik tutumlarını belirlemek amacıyla Evli vd. (2021) tarafından geliştirilen Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeği kullanılmıştır. Ölçek; psikolojik gelişim (1–4. maddeler), fiziksel gelişim (5–8. maddeler), sosyal gelişim (9–12. maddeler), bilişsel gelişim (13–17. maddeler) ve kültürel gelişim (18–21. maddeler) olmak üzere beş alt boyut ve toplam 21 maddeden oluşmaktadır. Ölçek maddeleri 1 “Katılmıyorum” ile 5 “Tamamen katılıyorum” arasında puanlanan beşli Likert tipindedir. Ölçekte ters puanlanan madde bulunmamaktadır. Ölçekten alınabilecek toplam puan 21 ile 105 arasında değişmekte ve puanın yükselmesi geleneksel sporlara yönelik daha olumlu tutuma işaret etmektedir. Ölçek, bireylerin geleneksel sporlara yönelik tutum düzeylerini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir (Evli vd., 2021). Bu araştırmada alt boyut puanları, öğrencilerin gerçek psikolojik, fiziksel, sosyal, bilişsel veya kültürel gelişim düzeylerinin ölçümü olarak değil, geleneksel sporların bu alanlardaki katkılarına yönelik tutumlarının göstergesi olarak yorumlanmıştır. Özgün ölçek geliştirme çalışmasında Cronbach alfa katsayısı ölçeğin tamamı için ,864; psikolojik gelişim alt boyutu için ,756, fiziksel gelişim için ,841, sosyal gelişim için ,875, bilişsel gelişim için ,752 ve kültürel gelişim için ,767 olarak hesaplanmıştır (Evli vd., 2021). Bu araştırmada Cronbach alfa katsayılarının alt boyutlarda ,776 ile ,799 arasında değiştiği, toplam ölçek için ise ,952 olduğu belirlenmiştir. Araştırmada elde edilen tanımlayıcı istatistikler ve güvenirlik sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.

2.5. Verilerin Analizi

Araştırma verileri IBM SPSS Statistics 24.0 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Katılımcıların demografik ve sportif özellikleri frekans ve yüzde değerleriyle; ölçek puanları ise minimum, maksimum, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleriyle betimlenmiştir. Ölçek ve alt boyutların iç tutarlılığı Cronbach alfa katsayısı kullanılarak incelenmiştir. Puanların normal dağılıma uygunluğu çarpıklık ve basıklık katsayıları üzerinden değerlendirilmiştir. Büyük örneklemlerde mutlak çarpıklık değerinin 2’den, mutlak basıklık değerinin ise 7’den

büyük olması dağılımdan ciddi sapmaya işaret edebilmektedir (Kim, 2013). Araştırmada elde edilen çarpıklık ve basıklık değerlerinin bu sınırlar içerisinde bulunması nedeniyle parametrik analizler kullanılmıştır.

Katılımcıların geleneksel sporlara yönelik tutum puanlarının cinsiyet ve aktif spor yapma durumuna göre karşılaştırılmasında bağımsız örneklemler *t*-testi; yaş ve öğrenim görülen fakülteye göre karşılaştırılmasında ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Varyansların homojenliği Levene testiyle incelenmiştir. Bağımsız örneklemler *t*-testlerinde homojenlik varsayımının karşılanmadığı durumlarda eşit varyansların varsayılmadığı Welch düzeltmeli sonuçlar esas alınmıştır. Yaş ve fakülte değişkenlerine yönelik ANOVA analizlerinde varyans homojenliği varsayımının karşılandığı belirlenmiştir. ANOVA sonucunun anlamlı olduğu durumlarda farklılığın kaynaklandığı grupları belirlemek amacıyla Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

Gruplar arasındaki farklılıkların büyüklüğünü değerlendirmek amacıyla bağımsız örneklemler *t*-testlerinde Cohen'in *d*, ANOVA analizlerinde ise eta kare (η^2) etki büyüklüğü katsayıları hesaplanmıştır. Cohen'in *d* değerleri 0,20, 0,50 ve 0,80 için sırasıyla küçük, orta ve büyük; η^2 değerleri ise ,01, ,06 ve ,14 için sırasıyla küçük, orta ve büyük etki olarak yorumlanmıştır (Cohen, 1988; Green ve Salkind, 2013). İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < ,05$ olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeğine İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler ve Güvenirlik Katsayıları

Ölçek ve Alt Boyutlar	*n*	Min.	Maks.	X̄	SS	Çarpıklık	Basıklık	α
Psikolojik Gelişim	450	4	20	11,75	4,12	0,452	0,080	,799
Fiziksel Gelişim	450	4	20	12,44	4,30	0,271	-0,050	,793
Sosyal Gelişim	450	4	20	12,61	4,24	0,251	-0,272	,793
Bilişsel Gelişim	450	5	25	15,82	5,29	0,244	0,382	,776
Kültürel Gelişim	450	4	20	12,39	4,18	-0,251	0,176	,797
Toplam Ölçek	450	21	105	65,02	20,39	0,092	0,959	,952

Not. X̄ = aritmetik ortalama; SS = standart sapma; α = Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı.

Tablo 2'ye göre ölçek ve alt boyutlara ait çarpıklık değerleri −0,251 ile 0,452, basıklık değerleri ise −0,272 ile 0,959 arasında değişmektedir. Büyük örneklemlerde mutlak çarpıklık değerinin 2'den, mutlak basıklık değerinin ise 7'den büyük olması dağılımdan ciddi sapmaya işaret edebilmektedir (Kim, 2013). Bu ölçütler doğrultusunda mevcut puan dağılımlarında parametrik analizlerin kullanılmasını engelleyecek düzeyde bir sapma bulunmadığı değerlendirilmiştir. Cronbach alfa katsayıları alt boyutlarda ,776 ile ,799 arasında değişirken toplam ölçek için ,952 olarak hesaplanmıştır. Alfa katsayılarında ,70–,95 aralığının genel olarak

kabul edilebilir iç tutarlılığa işaret ettiği bildirilmektedir (Tavakol ve Dennick, 2011). Buna göre alt boyutların kabul edilebilir iç tutarlılığa sahip olduğu söylenebilir. Toplam ölçeğe ait ,952 katsayısı çok yüksek bir iç tutarlılık göstermekle birlikte, ,95'in üzerindeki alfa değerlerinin maddeler arasındaki aşırı benzerlik olasılığı bakımından dikkatli yorumlanması gerekmektedir (Tavakol ve Dennick, 2011).

3. BULGULAR

Tablo 3. Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeği ve Alt Boyut Puanlarının Cinsiyete Göre Karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyutlar	Cinsiyet	*n*	$\bar{X}$	SS	*t*	*sd*	*p*	Cohen's
Psikolojik Gelişim	Erkek	238	12,03	4,41	1,520	447,209	,129	0,14
	Kadın	212	11,44	3,76				
Fiziksel Gelişim	Erkek	238	12,49	4,52	0,248	447,988	,805	0,02
	Kadın	212	12,39	4,05				
Sosyal Gelişim	Erkek	238	12,69	4,39	0,481	448	,630	0,05
	Kadın	212	12,50	4,06				
Bilişsel Gelişim	Erkek	238	15,97	5,44	0,657	448	,512	0,06
	Kadın	212	15,65	5,13				
Kültürel Gelişim	Erkek	238	12,43	4,41	0,225	447,998	,822	0,02
	Kadın	212	12,34	3,92				
Toplam Ölçek	Erkek	238	65,63	21,30	0,673	448	,502	0,06
	Kadın	212	64,33	19,34				

Not. Psikolojik gelişim, fiziksel gelişim ve kültürel gelişim alt boyutlarında Levene testi anlamlı olduğundan eşit varyansların varsayılmadığı Welch düzeltmeli sonuçlar raporlanmıştır. $\bar{X}$ = aritmetik ortalama; SS = standart sapma; *sd* = serbestlik derecesi.

Tablo 3'e göre katılımcıların geleneksel sporlara yönelik tutum ölçeği toplam puanı ve alt boyut puanları cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemiştir (p > ,05). Cohen'in d katsayılarının 0,02 ile 0,14 arasında değişmesi, cinsiyet grupları arasındaki farklılıkların 0,20'lik küçük etki sınırının altında kaldığını göstermektedir.

Tablo 4. Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeği ve Alt Boyut Puanlarının Yaş Gruplarına Göre Karşılaştırılması

Ölçek ve Alt Boyutlar	Yaş	*n*	X̄	SS	*F*	*p*	η²	Tukey
Psikolojik Gelişim	18–20 yaş¹	172	11,39	4,46	1,190	,305	,005	-
	21–23 yaş²	221	12,04	3,78				
	≥24 yaş³	57	11,75	4,28				
	Toplam	450	11,75	4,12				
Fiziksel Gelişim	18–20 yaş¹	172	11,91	4,50	2,571	,078	,011	-
	21–23 yaş²	221	12,89	4,05				
	≥24 yaş³	57	12,33	4,48				
	Toplam	450	12,44	4,30				
Sosyal Gelişim	18–20 yaş¹	172	12,05	4,39	2,885	,057	,013	-
	21–23 yaş²	221	13,07	3,98				
	≥24 yaş³	57	12,49	4,53				
	Toplam	450	12,61	4,24				
Bilişsel Gelişim	18–20 yaş¹	172	15,14	5,44	2,797	,062	,012	-
	21–23 yaş²	221	16,40	5,03				
	≥24 yaş³	57	15,63	5,61				
	Toplam	450	15,82	5,29				
Kültürel Gelişim	18–20 yaş¹	172	11,84	4,40	3,089	,047	,014	2 >1
	21–23 yaş²	221	12,88	3,91				
	≥24 yaş³	57	12,16	4,32				
	Toplam	450	12,39	4,18				
Toplam Ölçek	18–20 yaş¹	172	62,33	21,41	2,909	,056	,013	-
	21–23 yaş²	221	67,28	19,00				
	≥24 yaş³	57	64,37	21,67				
	Toplam	450	65,02	20,39				

Not. ¹ 18–20 yaş; ² 21–23 yaş; ³ 24 yaş ve üzeri. X̄ = aritmetik ortalama; SS = standart sapma; η² = eta kare etki büyüklüğü. Bütün ANOVA analizlerinde gruplar arası serbestlik derecesi 2, grup içi serbestlik derecesi 447'dir.

Tablo 4'e göre katılımcıların geleneksel sporlara yönelik tutum puanları yaş grupları arasında yalnızca kültürel gelişim alt boyutunda anlamlı farklılık göstermiştir, $F(2, 447) = 3,089$, $p = ,047$, $\eta^2 = ,014$. Tukey HSD testi sonucunda 21–23 yaş grubundaki katılımcıların kültürel gelişim puanlarının 18–20 yaş grubundaki katılımcılardan anlamlı düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir. Etki büyüklüğünün küçük olduğu görülmüştür. Diğer alt boyutlarda ve toplam ölçek puanında yaş grupları arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p > ,05$).

Tablo 5. Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeği ve Alt Boyut Puanlarının Fakültelere Göre Karşılaştırılmas

Ölçek ve Alt Boyutlar	Fakülte	*n*	X̄	SS	*F*	*p*	η²	Tukey
Psikolojik Gelişim	SBF[1]	154	12,56	4,25	3,008	,011	,033	1 > 2
	MMF[2]	90	10,76	4,26				
	SABF[3]	67	11,19	3,96				
	İF[4]	53	11,36	4,04				
	EF[5]	51	11,59	3,64				
	İHF[6]	35	12,66	3,66				
	Toplam	450	11,75	4,12				
Fiziksel Gelişim	SBF[1]	154	13,05	4,35	5,033	< ,001	,054	1 > 2 6 > 2 6 > 3
	MMF[2]	90	11,12	4,43				
	SABF[3]	67	11,48	4,09				
	İF[4]	53	12,17	4,39				
	EF[5]	51	13,14	3,73				
	İHF[6]	35	14,46	3,52				
	Toplam	450	12,44	4,30				
Sosyal Gelişim	SBF[1]	154	13,34	4,18	4,539	< ,001	,049	1 > 2 6 > 2
	MMF[2]	90	11,13	4,50				
	SABF[3]	67	11,85	4,34				
	İF[4]	53	12,55	4,01				
	EF[5]	51	13,14	3,55				
	İHF[6]	35	13,91	3,74				
	Toplam	450	12,61	4,24				
Bilişsel Gelişim	SBF[1]	154	16,84	5,01	4,687	< ,001	,050	1 > 2 6 > 2
	MMF[2]	90	14,14	5,62				
	SABF[3]	67	14,72	5,40				
	İF[4]	53	15,30	5,38				
	EF[5]	51	16,55	4,28				
	İHF[6]	35	17,46	5,29				
	Toplam	450	15,82	5,29				
Kültürel Gelişim	SBF[1]	154	12,99	4,12	4,540	< ,001	,049	1 > 2 6 > 2 6 > 3
	MMF[2]	90	11,20	4,32				
	SABF[3]	67	11,42	4,15				
	İF[4]	53	12,11	4,37				
	EF[5]	51	13,02	3,56				
	İHF[6]	35	14,17	3,63				
	Toplam	450	12,39	4,18				
Toplam Ölçek	SBF[1]	154	68,79	20,13	4,989	< ,001	,053	1 > 2 6 > 2 6 > 3
	MMF[2]	90	58,36	21,76				
	SABF[3]	67	60,66	20,59				
	İF[4]	53	63,49	20,02				
	EF[5]	51	67,43	15,97				
	İHF[6]	35	72,66	18,01				
	Toplam	450	65,02	20,39				

Not. SBF: Spor Bilimleri Fakültesi; MMF: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi; SABF: Sağlık Bilimleri Fakültesi; İF:İletişim Fakültesi; EF: Eğitim Fakültesi; İHF: İlahiyat Fakültesi. $\bar{X}$ = aritmetik ortalama; SS = standart sapma; η^2 = eta kare etki büyüklüğü. Bütün ANOVA analizlerinde gruplar arası serbestlik derecesi 5, grup içi serbestlik derecesi 444'tür.

Tablo 5'e göre katılımcıların geleneksel sporlara yönelik tutum puanları fakültelere göre psikolojik gelişim, fiziksel gelişim, sosyal gelişim, bilişsel gelişim, kültürel gelişim ve toplam ölçekte anlamlı farklılık göstermiştir (p < ,05). Tukey HSD testi sonucunda Spor Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin psikolojik, fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim alt boyutları ile toplam ölçek puanlarının Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrencilerinden anlamlı düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir. İlahiyat Fakültesi öğrencilerinin fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim puanları ile toplam ölçek puanları Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrencilerinden; fiziksel ve kültürel gelişim ile toplam ölçek puanları ise Sağlık Bilimleri Fakültesi öğrencilerinden anlamlı düzeyde yüksektir. η^2 değerlerinin ,033 ile ,054 arasında değişmesi, fakülteler arasındaki farklılıkların küçük etki büyüklüğünde olduğunu göstermektedir.

Tablo 6. Geleneksel Sporlara Yönelik Tutum Ölçeği ve Alt Boyut Puanlarının Aktif Spor Yapma Durumuna Göre Karşılaştırılması

Ölçek ve Alt	Aktif Spor	*n*	$\bar{X}$	SS	*t*	*sd*	*p*	Cohen's
Psikolojik Gelişim	Evet	278	11,99	4,37	1,585	408,705	,114	0,15
	Hayır	172	11,38	3,67				
Fiziksel Gelişim	Evet	278	12,77	4,62	2,180	419,838	,030	0,20
	Hayır	172	11,91	3,69				
Sosyal Gelişim	Evet	278	13,03	4,35	2,792	388,815	,005	0,26
	Hayır	172	11,92	3,95				
Bilişsel Gelişim	Evet	278	16,25	5,58	2,297	406,428	,022	0,21
	Hayır	172	15,12	4,73				
Kültürel Gelişim	Evet	278	12,81	4,44	2,869	414,008	,004	0,27
	Hayır	172	11,71	3,64				
Toplam Ölçek	Evet	278	66,86	21,66	2,563	413,495	,011	0,24
	Hayır	172	62,04	17,80				

Not. Bütün karşılaştırmalarda Levene testi anlamlı olduğundan eşit varyansların varsayılmadığı Welch düzeltmeli bağımsız örneklemler *t*-testi sonuçları raporlanmıştır. $\bar{X}$ = aritmetik ortalama; SS = standart sapma; *sd* = serbestlik derecesi.

Tablo 6'ya göre katılımcıların psikolojik gelişim puanları aktif spor yapma durumuna göre anlamlı farklılık göstermemiştir (p > ,05). Buna karşılık aktif spor yapan katılımcıların fiziksel gelişim, sosyal gelişim, bilişsel

gelişim ve kültürel gelişim alt boyutları ile toplam ölçek puanlarının aktif spor yapmayan katılımcılardan anlamlı düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir (p < ,05). Anlamlı farklılıklar için Cohen'in d değerlerinin 0,20 ile 0,27 arasında değişmesi, aktif spor yapan ve yapmayan gruplar arasındaki farklılıkların küçük etki büyüklüğünde olduğunu göstermektedir.

4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Tartışma

Araştırmada geleneksel sporlara yönelik toplam tutum puanı ile psikolojik, fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim alt boyutlarının hiçbirinde cinsiyete göre anlamlı farklılık belirlenmemiştir. Erkek öğrencilerin puan ortalamaları kadın öğrencilerden sayısal olarak daha yüksek olmakla birlikte, bu farklılıklar istatistiksel olarak doğrulanmamıştır. Cohen'in d değerlerinin ,02 ile ,14 arasında değişmesi de cinsiyete bağlı farklılıkların küçük etki eşiğinin altında ve ihmal edilebilir düzeyde kaldığını göstermektedir. Buna göre cinsiyetin, mevcut örneklemde geleneksel sporlara yönelik tutumları belirgin biçimde farklılaştıran bir değişken olmadığı söylenebilir. Bu sonuç, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören 414 öğrenciyle gerçekleştirilen ve geleneksel sporlara yönelik toplam tutum ile alt boyut puanlarının cinsiyete göre anlamlı biçimde farklılaşmadığını gösteren araştırmayla örtüşmektedir (Shamatava vd., 2026). Benzer şekilde Korkmaz ve Kızanlıklı (2023), Bişkek'te yaşayan 440 katılımcının geleneksel spor oyunlarına yönelik genel tutumlarında cinsiyete bağlı anlamlı bir farklılık bulunmadığını belirlemiştir. Geleneksel ve modern su sporu etkinliklerine katılan 394 kişi üzerinde yürütülen araştırmada da cinsiyet ile tercih edilen etkinlik türü arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (Młodzik vd., 2021). Li'nin (2026) araştırmasında ise geleneksel spor bağlamında değerlendirilen topluluk kimliği ve sosyal etkinlik puanlarının kadın ve erkek katılımcılar arasında anlamlı biçimde farklılaşmadığı bildirilmiştir. Ölçülen yapılar ve örneklemler aynı olmamakla birlikte bu çalışmalar, cinsiyetin geleneksel sporlarla ilgili tutum ve değerlendirmelerde tek başına güçlü bir farklılaştırıcı olmayabileceği yorumunu desteklemektedir.

Bununla birlikte kadın ve erkek öğrencilerin benzer tutum puanlarına sahip olması, geleneksel sporlara erişimlerinin, katılım fırsatlarının veya uygulama deneyimlerinin de eşit olduğu anlamına gelmemektedir. Doğrudan geleneksel sporları incelemeyen ancak topluluk temelli bir spor organizasyonunu ele alan Spaaij ve Schaillée (2020), kadınların sporcu olarak etkinliğe katılımının bazı örgütsel ve kültürel engeller nedeniyle sınırlanabildiğini göstermiştir. Bu nedenle mevcut bulgu, cinsiyete göre farklılaştırılmış tanıtım politikalarına ihtiyaç bulunmadığı şeklinde kesin bir sonuca dönüştürülmemelidir. Bulgular, üniversitelerde geleneksel

sporlara yönelik tanıtım ve etkinliklerin kadın ve erkek öğrencileri kapsayan ortak bir yaklaşımla planlanabileceğini; ancak uygulama sürecinde erişim, temsil ve fiilî katılım olanaklarının ayrıca izlenmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Araştırmada psikolojik, fiziksel, sosyal ve bilişsel gelişim alt boyutları ile toplam tutum puanlarının yaş gruplarına göre anlamlı biçimde farklılaşmadığı belirlenmiştir. Yaşa bağlı anlamlı farklılık yalnızca kültürel gelişim alt boyutunda ortaya çıkmış ve 21–23 yaş grubundaki öğrencilerin puanları 18–20 yaş grubundaki öğrencilerden daha yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte bu farklılığa ilişkin eta kare değerinin düşük olması (η^2 = ,014), yaşın kültürel gelişim puanları üzerindeki açıklayıcılığının sınırlı kaldığını göstermektedir. Ayrıca 24 yaş ve üzerindeki öğrenciler ile diğer yaş grupları arasında anlamlı farklılık belirlenmemiştir. Bu nedenle araştırma bulguları, yaş ilerledikçe geleneksel sporlara yönelik tutumların düzenli biçimde yükseldiği şeklinde yorumlanmamalıdır. Elde edilen sonuç, Korkmaz ve Kızanlıklı'nın (2023) Bişkek'te yaşayan 440 kişiyle gerçekleştirdiği araştırmanın bulgularıyla büyük ölçüde örtüşmektedir. Söz konusu araştırmada katılımcıların geleneksel spor oyunlarına yönelik genel tutumlarının yaş gruplarına göre anlamlı biçimde farklılaşmadığı belirlenmiştir. Buna karşılık Młodzik vd. (2021), geleneksel ve modern su sporu etkinliklerine katılan 394 kişi üzerinde yürüttükleri araştırmada, ileri yaşlardaki katılımcıların geleneksel etkinlikleri, genç katılımcıların ise modern etkinlikleri daha fazla tercih ettiğini tespit etmiştir. Ancak Młodzik vd. (2021) tarafından ölçülen etkinlik tercihi, geleneksel sporlara yönelik çok boyutlu tutumla aynı yapıyı ifade etmemektedir. Ayrıca çalışmanın yaş aralığı ve katılımcı özellikleri mevcut araştırmadan farklı olduğundan, sonuçlar doğrudan karşılaştırılabilir nitelikte değildir.

Atılgan vd. (2024), sınıf düzeyine göre toplam tutum ile fiziksel, sosyal ve kültürel gelişim alt boyutlarında anlamlı farklılıklar bulunduğunu ve dördüncü sınıf öğrencilerinin bazı gruplardan daha yüksek puan aldığını belirlemiştir. Shamatava vd. (2026) ise ikinci sınıf öğrencilerinin fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim ile toplam tutum puanlarının üst sınıflardaki öğrencilerden daha düşük olduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, mevcut araştırmada 21–23 yaş grubunun kültürel gelişim puanlarının 18–20 yaş grubundan yüksek olmasının üniversite yaşamı boyunca edinilen akademik veya kültürel deneyimlerle bağlantılı olabileceğini düşündürmektedir (Atılgan vd., 2024; Shamatava vd., 2026). Ancak mevcut araştırmada öğrencilerin sınıf düzeyi, geleneksel sporlarla karşılaşma sıklığı ve önceki deneyimleri bu amaçla değerlendirilmediğinden, söz konusu açıklama olası bir yorum olarak ele alınmalıdır.

Yönetimsel açıdan bulgular, üniversitelerde düzenlenecek geleneksel spor programlarının yalnızca yaş gruplarına göre farklılaştırılmasını destekleyecek güçlü bir kanıt sunmamaktadır. Bununla birlikte 18–20 yaş grubunun kültürel gelişim puanlarının daha düşük olması, üniversiteye yeni başlayan veya daha genç öğrencilere yönelik tanıtıcı etkinliklerde geleneksel sporların tarihsel ve kültürel içeriğine daha fazla yer verilebileceğini düşündürmektedir. Ancak belirlenen etkinin küçük olması nedeniyle bu uygulamaların kesin yaş temelli bir ayrıştırmadan ziyade bütün öğrencileri kapsayan programlar içerisinde destekleyici içerikler biçiminde planlanması daha uygun olacaktır.

Araştırmada geleneksel sporlara yönelik toplam tutum puanı ile psikolojik, fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim alt boyutlarının tamamında öğrenim görülen fakülteye göre anlamlı farklılık belirlenmiştir. Tukey HSD sonuçlarına göre Spor Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin bütün alt boyutlar ve toplam ölçek puanları Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrencilerinden anlamlı düzeyde yüksektir. İlahiyat Fakültesi öğrencilerinin fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim alt boyutları ile toplam ölçek puanları Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrencilerinden; fiziksel ve kültürel gelişim alt boyutları ile toplam ölçek puanları ise Sağlık Bilimleri Fakültesi öğrencilerinden anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Bunların dışında fakülteler arasında Tukey HSD testiyle doğrulanan anlamlı bir ikili farklılık belirlenmemiştir. Eta kare değerlerinin ,033 ile ,054 arasında değişmesi, fakülteye göre ortaya çıkan farklılıkların küçük etki büyüklüğünde kaldığını göstermektedir. Dolayısıyla tutum puanlarının öğrenim görülen fakülteye göre farklılaştığı, ancak bu farklılığın sınırlı düzeyde kaldığı söylenebilir.

Atılgan vd. (2024), 323 spor bilimleri öğrencisiyle yürüttükleri araştırmada bölüm değişkenine göre toplam tutum ile fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim alt boyutlarında anlamlı farklılıklar belirlemiş; spor yöneticiliği öğrencilerinin toplam tutum puanlarının beden eğitimi ve spor öğretmenliği ile antrenörlük eğitimi öğrencilerinden daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Shamatava vd. (2026) ise 414 spor bilimleri öğrencisi üzerinde gerçekleştirdikleri araştırmada öğrenim görülen bölüme göre psikolojik ve sosyal gelişim alt boyutlarında farklılık bulunduğunu ve öğretmenlik bölümü öğrencilerinin rekreasyon bölümü öğrencilerinden daha yüksek puan aldığını belirlemiştir. Bu çalışmalar yalnızca spor bilimleri alanındaki bölümleri karşılaştırırken mevcut araştırma farklı fakülteleri kapsamaktadır. Bu çalışmalar farklı öğrenci gruplarını kapsamakla birlikte, bölüm değişkenine göre toplam tutumda veya bazı alt boyutlarda anlamlı farklılıklar ortaya çıkabildiğini göstermektedir (Atılgan vd., 2024; Shamatava vd., 2026). Bu bulgulardan hareketle, mevcut

araştırmada fakültelere göre belirlenen farklılıklar yorumlanırken akademik program özelliklerinin de dikkate alınması uygun olabilir.

Mevcut araştırmada Spor Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin bütün alt boyutlarda ve toplam ölçekte Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrencilerinden daha yüksek puan alması, spor alanındaki akademik çevrenin geleneksel sporlara yönelik tutumlarla birlikte değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte araştırmada öğrencilerin ders içerikleri, geleneksel sporlarla karşılaşma sıklıkları, ilgili etkinliklere katılımları ve bilgi düzeyleri ölçülmediğinden, bu farklılığın doğrudan fakülte eğitiminin bir sonucu olduğu ileri sürülemez. Benzer şekilde İlahiyat Fakültesi öğrencilerinin bazı alt boyutlar ve toplam ölçekte Mühendislik-Mimarlık ve Sağlık Bilimleri fakültelerinden daha yüksek puan almasının hangi akademik veya kültürel deneyimlerden kaynaklandığı mevcut verilerle açıklanamamaktadır. Huang ve Long (2025), geleneksel spor eğitiminde program içeriği, öğretici yeterlikleri, altyapı olanakları ve öğrenci motivasyonu gibi unsurların uygulamaların etkililiğinde rol oynayabileceğini belirtmiştir. Atılgan vd. (2024) tarafından farklı üniversitelerdeki öğrencilerin tutum puanlarının farklılaştığının belirlenmesi de kurumsal ve eğitsel bağlamın dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla fakülteler arasında belirlenen farklılıklar, fakülte üyeliğinin tek başına oluşturduğu bir etki şeklinde değil, ölçülmeyen akademik, kültürel ve deneyimsel özelliklerle birlikte yorumlanmalıdır.

Yönetimsel bakımdan bulgular, geleneksel sporların üniversite genelinde yaygınlaştırılmasına yönelik programların bütün fakültelerde aynı içerikle uygulanması yerine, öğrencilerin akademik çevreleri dikkate alınarak çeşitlendirilmesinin yararlı olabileceğine işaret etmektedir. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrencilerinin Spor Bilimleri ve İlahiyat fakültelerindeki bazı gruplardan daha düşük puan alması, bu fakültedeki öğrencilerin geleneksel sporlara ilişkin bilgi veya ilgilerinin düşük olduğunu kanıtlamamakta; yalnızca tanıtım ve katılım olanaklarının fakülteler düzeyinde ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir. Alan yazında Nofrizal vd. (2024), geleneksel sporların korunması ve yaygınlaştırılmasında eğitim, düzenli etkinlikler, paydaş iş birliği ve geleneksel-dijital iletişim kanallarının birlikte kullanılmasının önemini vurgulamıştır. Bununla birlikte fakülteye ilişkin etki büyüklüklerinin küçük olması, öğrencilerin fakültelerine göre kesin biçimde ayrıştırılmasını desteklememektedir. Bu nedenle bütün öğrencilere açık ortak programların hazırlanması ve içeriklerin fakültelerin özelliklerine göre esnek biçimde uyarlanması daha uygun olacaktır.

Araştırmada aktif spor yapan öğrencilerin fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim alt boyutları ile toplam tutum puanlarının aktif spor yapmayan öğrencilerden anlamlı biçimde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Psikolojik gelişim alt boyutunda ise gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Etki büyüklüklerinin küçük düzeyde kalması, tutum puanlarının aktif spor yapma durumuna göre farklılaştığını; ancak belirlenen grup farklılıklarının büyüklüğünün sınırlı olduğunu göstermektedir. Psikolojik gelişim puanlarının benzer olması ise geleneksel sporların psikolojik katkılarına yönelik değerlendirmelerin öğrencilerin aktif spor yapma durumundan bağımsız olarak yakın düzeyde olabileceğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, Shamatava vd. (2026) tarafından 414 spor bilimleri öğrencisiyle gerçekleştirilen araştırmanın bulgularıyla farklılık göstermektedir. Söz konusu araştırmada geleneksel sporlara yönelik toplam tutum ile psikolojik, fiziksel, sosyal, bilişsel ve kültürel gelişim puanlarının aktif spor yapma durumuna göre anlamlı biçimde farklılaşmadığı belirlenmiştir. İki araştırma arasındaki farklılık; örneklemlerin akademik yapısı, kurumsal çevreleri ve öğrencilerin sportif deneyimleri gibi çalışmalarda aynı biçimde denetlenmeyen özelliklerden kaynaklanmış olabilir. Mevcut araştırmanın farklı fakültelerde öğrenim gören öğrencileri kapsamasına karşılık Shamatava vd. (2026) çalışmasının yalnızca Spor Bilimleri Fakültesi öğrencileriyle yürütülmesi, sonuçların değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır.

Li'nin (2026) Çin'in 18 bölgesinden 486 katılımcıyla gerçekleştirdiği araştırmada, geleneksel spor yapan bireylerin topluluk kimliği ve sosyal etkinlik değerlendirmelerinin bu sporları yapmayanlardan daha yüksek olduğu; altı ay boyunca geleneksel spor uygulamalarına devam edenlerin başlangıç ölçümlerine göre daha yüksek değerler bildirdiği belirlenmiştir. Li'nin (2026) araştırması doğrudan geleneksel spor katılımını incelerken mevcut araştırmadaki aktif spor değişkeni herhangi bir spor dalına katılımı ifade etmektedir. Bu nedenle sonuçlar birebir karşılaştırılamasa da düzenli sportif katılımın sosyal etkileşim, hareket deneyimi ve sporun gelişimsel işlevlerine ilişkin değerlendirmelerle birlikte ele alınabileceğini göstermektedir. Özsaydi vd. (2026) tarafından 634 ergenle gerçekleştirilen örtük profil analizinde ise yüksek geleneksel spor tutumunun hem olumlu fiziksel aktivite tutumuna sahip "aktif-sağlıklı" profilde hem de yüksek dijital oyun bağımlılığıyla tanımlanan "çatışmalı-bağımlı" profilde görülebildiği belirlenmiştir. Bu sonuç, geleneksel sporlara yönelik yüksek tutumun dijital oyun bağımlılığı riskine karşı tek başına koruyucu bir gösterge olarak değerlendirilemeyeceğine işaret etmektedir (Özsaydi vd., 2026). Mevcut araştırmanın kesitsel yapısı nedeniyle aktif spor yapmanın geleneksel sporlara yönelik tutumları yükselttiği sonucuna varılamaz. Aktif spor yapan öğrencilerin sporun fiziksel, sosyal ve bilişsel işlevleriyle daha sık karşılaşmaları, spor etkinliklerine daha fazla

ilgi göstermeleri veya sportif konulara daha duyarlı olmaları puan farklılıklarında rol oynamış olabilir. Ancak spor dalı, spor yapma süresi, geleneksel spor deneyimi ve üniversite içindeki sportif etkinliklere katılım düzeyi bu karşılaştırmada değerlendirilmediğinden, söz konusu açıklamalar olası yorumlarla sınırlıdır.

Yönetimsel açıdan aktif spor yapan öğrencilerin daha yüksek tutum puanlarına sahip olması, bu grubun geleneksel spor etkinliklerine katılım bakımından ulaşılabilir bir hedef kitle olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte etkinliklerin yalnızca hâlihazırda spor yapan öğrencilere yöneltilmesi, aktif olmayan öğrencilerin geleneksel sporlarla karşılaşma fırsatını sınırlayabilir. Młodzik vd. (2021), bir spor etkinliğinin düzenlenmesinin fiziksel olarak aktif olmayan bireylerde düzenli katılımı kendiliğinden oluşturmadığını göstermiştir. Bu nedenle üniversitelerde geleneksel spor programlarının aktif öğrenciler için uygulamalı ve organizasyon temelli, aktif olmayan öğrenciler için ise düşük katılım eşiğine sahip tanıtıcı ve deneyimsel etkinliklerle desteklenmesi daha uygun olacaktır. Etki büyüklüklerinin küçük olması da kesin bir sportif katılım ayrımı yerine bütün öğrencileri kapsayan, ancak katılım deneyimlerine göre çeşitlendirilebilen programların planlanmasını desteklemektedir.

4.2. Sonuç

Araştırmada geleneksel sporlara yönelik tutumların cinsiyete göre farklılaşmadığı; yaş değişkeninde yalnızca kültürel gelişim alt boyutunda 21–23 yaş grubu lehine anlamlı farklılık bulunduğu belirlenmiştir. Tutum puanlarının fakülteye göre bütün alt boyutlarda ve toplam ölçekte farklılaştığı belirlenirken, aktif spor yapan öğrencilerin psikolojik gelişim dışındaki alt boyutlarda ve toplam tutumda daha yüksek puan aldığı görülmüştür. Etki büyüklüklerinin küçük olması, belirlenen grup farklılıklarının pratik büyüklüğünün sınırlı kaldığını göstermektedir. Sonuçlar, geleneksel sporların üniversitelerde yaygınlaştırılmasına yönelik programların bütün öğrencileri kapsayacak biçimde planlanmasını; içeriklerin fakülte özellikleri ve sportif katılım deneyimleri dikkate alınarak çeşitlendirilmesini desteklemektedir.

4.3. Öneriler

4.3.1. Bulgulara Dayalı Uygulama Önerileri

Cinsiyete göre anlamlı farklılık bulunmaması nedeniyle geleneksel spor programlarının kadın ve erkek öğrencileri kapsayan ortak bir yaklaşımla hazırlanması; uygulama sürecinde katılım, temsil ve erişim olanaklarının cinsiyet açısından izlenmesi önerilmektedir.

Yaşa göre yalnızca kültürel gelişim alt boyutunda ve küçük etki büyüklüğünde farklılık belirlenmesi dikkate alınarak 18–20 yaş grubuna yönelik etkinliklerde geleneksel sporların tarihsel ve kültürel yönlerine daha fazla yer verilmesi; ancak programların kesin yaş ayrımlarına dayandırılmaması önerilmektedir.

Fakülteye göre bütün alt boyutlarda ve toplam ölçekte farklılık bulunması nedeniyle etkinlik içeriklerinin fakültelerin akademik özelliklerine göre çeşitlendirilmesi önerilmektedir. Spor Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrencilerinden daha yüksek puan alması dikkate alınarak bu öğrencilerin alan bilgileri, gönüllülük durumları ve uygulama yeterlikleri dikkate alınarak geleneksel sporların uygulama ve organizasyon süreçlerine katılımları değerlendirilebilir. Diğer fakültelerde ise geleneksel sporların sağlık, kültür, iletişim, tasarım ve toplumsal katılım gibi alanlarla ilişkilendirilerek tanıtılması önerilmektedir. Bununla birlikte etki büyüklüklerinin küçük olması dikkate alınarak öğrencileri fakültelerine göre kesin biçimde ayrıştırmak yerine, bütün öğrencilere açık ve fakülte özelliklerine göre esnek biçimde uyarlanabilen programların benimsenmesi daha uygun olabilir.

Aktif spor yapan öğrencilerin psikolojik gelişim dışındaki alt boyutlarda ve toplam ölçekte daha yüksek puan alması doğrultusunda uygulamaların sportif deneyime göre çeşitlendirilmesi önerilmektedir. Aktif spor yapan öğrencilere uygulama ve organizasyon görevleri verilebilirken aktif olmayan öğrenciler için önceden sportif deneyim gerektirmeyen tanıtım günleri, gösteriler ve rekreatif etkinlikler düzenlenebilir. Programların bütün öğrencilere açık tutulması önerilmektedir.

4.3.2. Yönetimsel Öneriler

Geleneksel sporların yaygınlaştırılmasına yönelik faaliyetlerin tek seferlik etkinlikler yerine yıllık bir plan kapsamında yürütülmesi önerilmektedir. Planlama sürecine üniversitenin ilgili idari birimleri, fakülte temsilcileri, öğrenci toplulukları ve spor kuruluşları dâhil edilebilir. Fakülteler arası festivaller, uygulamalı atölyeler, seçmeli dersler, tanıtım günleri ve öğrenci turnuvaları bu planın bileşenleri olarak değerlendirilebilir.

Etkinliklerin başarısının yalnızca katılımcı sayısıyla değil; katılımın fakülte, yaş, cinsiyet ve aktif spor yapma durumuna göre dağılımı, öğrenci memnuniyeti, yeniden katılma isteği ve etkinlik sonrasındaki tutum değişimi üzerinden de izlenmesi önerilmektedir. Elde edilen geri bildirimlerin sonraki programların geliştirilmesinde kullanılması yararlı olabilir.

4.3.3. Gelecek Araştırmalara Yönelik Öneriler

Gelecek araştırmaların farklı üniversite ve bölgelerde yürütülmesi; ders içerikleri, geleneksel spor bilgisi, önceki etkinlik deneyimi ve geleneksel sporlarla karşılaşma sıklığı gibi değişkenlerin incelenmesi

önerilmektedir. Aktif spor yapma durumunun spor türü, haftalık spor süresi, spor geçmişi ve geleneksel spor deneyimiyle birlikte ele alınması daha ayrıntılı sonuçlar sağlayabilir.

Spor yönetimi bağlantısının doğrudan incelenebilmesi için kurumsal destek, etkinliklere erişim, tanıtım faaliyetlerinin yeterliliği, algılanan organizasyon kalitesi ve katılım niyeti gibi yönetimsel değişkenlerin ölçülmesi önerilmektedir. Ayrıca boylamsal, yarı deneysel ve karma yöntemli araştırmalarla uygulanan programların tutumlar üzerindeki değişiminin incelenmesi yararlı olabilir.

5. Sınırlılıklar

Araştırma yalnızca Yozgat Bozok Üniversitesinde öğrenim gören ve uygun örnekleme yöntemiyle ulaşılan öğrencilerle yürütülmüştür. Bu nedenle bulguların farklı üniversitelere ve öğrenci gruplarına genellenmesinde dikkatli olunmalıdır. Verilerin çevrim içi ortamda ve öz bildirime dayalı olarak toplanması, katılımcı yanıtlarının sosyal beğenirlik eğiliminden ve ifadelerin bireysel olarak farklı yorumlanmasından etkilenmiş olabileceğini düşündürmektedir. Araştırmanın kesitsel yapısı ise belirlenen grup farklılıklarının nedenlerini ve tutumların zaman içerisindeki değişimini açıklamaya imkân vermemektedir.

Aktif spor yapma durumu yalnızca “evet” ve “hayır” seçenekleriyle değerlendirilmiştir. Kişisel Bilgi Formunda yer alan haftalık spor yapma süresi ve spor türü soruları aktif spor yapma durumuna göre koşullu biçimde düzenlenmemiş ve bütün katılımcılar tarafından zorunlu olarak yanıtlanmıştır. Bu nedenle aktif spor yapmayan katılımcıların söz konusu sorulara verdikleri yanıtlar açık biçimde yorumlanamamış ve bu iki değişken karşılaştırmalı analizlere dâhil edilmemiştir. Dolayısıyla geleneksel sporlara yönelik tutumların spor türü ve haftalık spor yapma süresine göre farklılaşıp farklılaşmadığı incelenememiştir. Ayrıca katılımcıların spor geçmişi, geleneksel spor deneyimi, sınıf düzeyi, geleneksel sporlara ilişkin bilgi düzeyi, ilgili dersleri alma durumu ve üniversitedeki geleneksel spor etkinliklerine katılımı ölçülmemiştir. Yaş ve fakülte gruplarındaki katılımcı sayılarının eşit olmaması da grup karşılaştırmalarının yorumlanmasında dikkate alınmalıdır.

Çalışmada spor yönetimi ayrı bir değişken olarak ölçülmemiştir. Bu nedenle yaygınlaştırma, hedef grup belirleme ve etkinlik planlamasına ilişkin yönetimsel değerlendirmeler, öğrencilerin tutum bulgularından hareketle geliştirilen çıkarımlarla sınırlıdır. Kurumsal destek, tanıtım faaliyetlerinin yeterliliği, etkinliklere erişim ve algılanan organizasyon kalitesi gibi yönetimsel unsurların doğrudan incelenmemesi çalışmanın bir diğer sınırlılığıdır.

KAYNAKLAR

Atılgan, D., Öztürk, O., & Türkçapar, Ü. (2024). Spor Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin geleneksel sporlara yönelik tutumlarının incelenmesi. *Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 29*(4), 248–257. https://doi.org/10.53434/gbesbd.1506795

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.

Çinar, M., & Hassani, F. (2026). The effects of traditional games on physical literacy among school-aged children. *Frontiers in Sports and Active Living, 7*, Article 1759890. https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1759890

Evli, F., Koçak, Ç. V., & Evli, M. (2021). Developing attitude scale towards traditional sports: A validity and reliability study. *International Journal of Physical Education Sport and Technologies, 2*(1), 29–39.

Gkarane, S., Kavoura, A., Vassiliadis, C., Kotzaivazoglou, I., Fragidis, G., & Vrana, V. (2025). The role of organizers in advancing sustainable sport tourism: Insights from small-scale running events in Greece. *Sustainability, 17*(14), Article 6399. https://doi.org/10.3390/su17146399

Green, S. B., & Salkind, N. J. (2013). *Using SPSS for Windows and Macintosh: Analyzing and understanding data* (7th ed.). Pearson.

Huang, Y., & Long, B. (2025). Enhancing ethnic traditional sports education through sports psychology: Significance, challenges, and strategies. *Psychology Research and Behavior Management, 18*, 993–1005. https://doi.org/10.2147/PRBM.S506140

Kim, H.-Y. (2013). Statistical notes for clinical researchers: Assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis. *Restorative Dentistry & Endodontics, 38*(1), 52–54. https://doi.org/10.5395/rde.2013.38.1.52

Korkmaz, A., & Kızanlıklı, M. M. (2023). Geleneksel spor oyunlarının turizme etkileri üzerine bir araştırma: Kırgızistan örneği. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 12*(3), 1193–1208. https://doi.org/10.33206/mjss.1232238

Lavega-Burgués, P., Luchoro-Parrilla, R., Pla-Pla, P., & Pic, M. (2024). The development of social sustainability through traditional sporting games. A temporal approach with the Elbow Tag. *PLOS ONE, 19*(11), Article e0312092. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312092

Li, L. (2026). The effect of traditional sports culture on modern social governance in China. *Humanities and Social Sciences Communications, 13*, Article 657. https://doi.org/10.1057/s41599-026-07002-8

Luchoro-Parrilla, R., Lavega-Burgués, P., & Pic, M. (2024). Teaching sustainability through traditional sporting games. *Sustainability, 16*(13), Article 5510. https://doi.org/10.3390/su16135510

Młodzik, M., Kazimierczak, M., León-Guereño, P., Tapia-Serrano, M. A., & Malchrowicz-Mośko, E. (2021). The impact of water sporting events on attitudes toward physical activity: Motivational profiles of participants in modern and traditional water events. *Frontiers in Psychology, 12*, Article 632948. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.632948

Nofrizal, D., Sari, L. P., Purba, P. H., Utaminingsih, E. S., Nata, A. D., Winata, D. C., Syaleh, M., Al Munawar, A., Kurniawan, E., Permana, R., Yunitaningrum, W., & Meilina, F. (2024). El papel de los deportes tradicionales en el mantenimiento y preservación de la cultura regional de cara a la era de la sociedad 5.0 [The role of traditional sports in maintaining and preserving regional culture facing the era of society 5.0]. *Retos, 60*, 352–361. https://doi.org/10.47197/retos.v60.108181

Özsaydi, Ş., Uslu, Ö. S., Kabak, B., & Erdoğan, A. (2026). Conflicted and healthy behavioural profiles in adolescents: A latent profile analysis of traditional sports attitude, physical activity attitude, and digital game addiction. *BMC Public Health*. Advance online publication. https://doi.org/10.1186/s12889-026-28314-z

Prabucki, B., & Rozmiarek, M. (2025). Integrating traditional sports and games into outdoor recreation for sustainable development: Current approaches and future directions. *Sustainability, 17*(22), Article 10343. https://doi.org/10.3390/su172210343

Saura, S. C., & Zimmermann, A. C. (2021). Traditional sports and games: Intercultural dialog, sustainability, and empowerment. *Frontiers in Psychology, 11*, Article 590301. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.590301

Shamatava, K., Çakto, P., & Karavelioğlu, M. B. (2026). An investigation of attitudes toward traditional sports among students studying sports science (Kütahya Dumlupınar University). *Sportis. Scientific Journal of School Sport, Physical Education and Psychomotricity, 12*(2), 1–21. https://doi.org/10.17979/sportis.2026.12.2.12770

Spaaij, R., & Schaillée, H. (2020). Community-driven sports events as a vehicle for cultural sustainability within the context of forced migration: Lessons from the Amsterdam Futsal Tournament. *Sustainability, 12*(3), Article 1020. https://doi.org/10.3390/su12031020

Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education, 2*, 53–55. https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd

Wang, X., & Cheng, Z. (2020). Cross-sectional studies: Strengths, weaknesses, and recommendations. *Chest, 158*(1S), S65–S71. https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.03.012

ESPORCULARDA RUMİNASYON VE PERFORMANS: HATA SONRASI YENİDEN ODAKLANMA VE ÖZ-DÜZENLEME SÜREÇLERİ

Dr. Öğr. Üyesi, Eren BOZYILAN[1], Doç. Dr. Mehmet KARTAL[2]

[1]Adıyaman Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, ebozyilan@adiyaman.edu.tr, 0000-0002-8450-880X

[2]Adıyaman Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, mkartal@adiyaman.edu.tr, 0000-0003-3153-0496

Özet

Elektronik sporlar, yüksek düzeyde dikkat, hızlı karar verme, öz-düzenleme ve psikolojik dayanıklılık gerektiren rekabetçi performans ortamlarıdır. Bu bağlamda ruminasyon, oyuncuların hata, başarısızlık veya olumsuz müsabaka deneyimleri sonrasında performanslarını sürdürmelerini etkileyebilecek bilişsel süreçlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu derlemenin amacı, esporcularda ruminasyon ile performans arasındaki olası ilişkiyi mevcut bilimsel literatür doğrultusunda incelemek, ruminatif düşüncelerin işlevsel ve işlevsiz yönlerini değerlendirmek ve alandaki araştırma boşluklarını ortaya koymaktır. Çalışma narratif derleme niteliğinde olup hakemli ulusal ve uluslararası araştırmalar kavramsal olarak sentezlenmiştir. Mevcut bulgular, ruminasyonun performans üzerindeki etkisinin tek yönlü olmadığını göstermektedir. Duygu ve başarısızlık odaklı, kontrolsüz ve tekrarlayıcı düşünceler sporcunun dikkatini mevcut görevden uzaklaştırabilir, hata sonrası yeniden odaklanmayı güçleştirebilir ve psikolojik esneklik ile öz-düzenleme süreçlerini olumsuz etkileyebilir. Buna karşılık problem çözme amacı taşıyan, kısa süreli ve yapılandırılmış bilişsel değerlendirmeler sonraki performans davranışlarının düzenlenmesine katkı sağlayabilir. Espor bağlamında ruminasyonun tilt, stres değerlendirmesi, başa çıkma ve öz-düzenleme süreçleriyle teorik olarak ilişkili olabileceği düşünülmekle birlikte, doğrudan ve nedensel kanıtlar sınırlıdır. Özellikle ruminasyon ile objektif oyun performansı arasındaki ilişkinin yeterince araştırılmamış olması önemli bir literatür boşluğudur. Gelecekte reaksiyon süresi, karar doğruluğu, isabet oranı ve hata sonrası performans değişimi gibi objektif göstergelerin kullanıldığı deneysel ve boylamsal çalışmaların yapılması önerilmektedir. Sonuç olarak ruminasyon, espor performansını açıklamada kuramsal olarak anlamlı ancak ampirik açıdan daha fazla araştırılması gereken bir bilişsel değişkendir.

Anahtar kelimeler: Espor, ruminasyon, performans, öz-düzenleme, psikolojik esneklik

RUMINATION AND PERFORMANCE IN ESPORTS PLAYERS: POST-ERROR REFOCUSING AND SELF-REGULATION PROCESSES

Abstract

Esports are competitive performance environments that require sustained attention, rapid decision-making, self-regulation, and psychological resilience. Within this context, rumination can be considered a cognitive process that may influence players' ability to maintain performance following errors, failures, or adverse competitive experiences. This narrative review aimed to examine the potential relationship between rumination and performance in esports players, evaluate the functional and dysfunctional characteristics of ruminative thinking, and identify current gaps in the literature. Peer-reviewed national and international studies were conceptually synthesized. Available evidence indicates that the relationship between rumination and performance is not unidirectional. Emotion-focused, failure-oriented, uncontrolled, and repetitive thoughts may divert attention from the ongoing task, interfere with post-error refocusing, and negatively influence psychological flexibility and self-regulatory processes. In contrast, brief and structured cognitive evaluation directed toward problem solving may facilitate behavioral adjustment and preparation for subsequent performance demands. In esports, rumination may theoretically interact with tilt, stress appraisal, coping, and self-regulation; however, direct and causal evidence regarding these relationships remains limited. A major gap in the literature is the scarcity of studies examining rumination in relation to objective esports performance. Future research should therefore employ experimental and longitudinal designs and incorporate objective indicators such as reaction time, decision accuracy, hit accuracy, and changes in performance following errors. Different esports genres and competitive levels should also be considered because their cognitive and performance demands may vary considerably. In conclusion, rumination represents a theoretically relevant cognitive variable for understanding esports performance, but its direct effects, mechanisms, and practical implications require further empirical investigation.

Keywords: Esports, rumination, post-error refocusing, self-regulation, performance

1. GİRİŞ

Elektronik sporlar (espor), dijital oyunların organize ve rekabetçi biçimde oynandığı, performansın teknik becerilerin yanı sıra bilişsel, duygusal ve psikolojik süreçlerden etkilendiği bir performans alanıdır. Espor psikolojisine yönelik bilimsel ilgi son yıllarda belirgin biçimde artmış; dikkat, karar verme, öz-düzenleme, stresle başa çıkma ve psikolojik beceriler performansın önemli bileşenleri arasında değerlendirilmeye başlanmıştır. Pedraza-Ramirez et al. (2025), güncel espor psikolojisi literatürünü değerlendirdikleri çalışmalarında bilişsel-motor, duygusal ve sosyal süreçlerin espor performansının anlaşılmasında birlikte ele alınması gerektiğini vurgulamıştır.

Rekabetçi espor ortamı oyuncuları hızlı ve ardışık kararlar verme, değişen oyun koşullarına kısa sürede uyum sağlama ve psikolojik baskı altında performanslarını sürdürme gerekliliğiyle karşı karşıya bırakmaktadır. Esporcularda stres kaynaklarını inceleyen araştırmalar; bireysel performans, takım içi iletişim, takım arkadaşlarının hataları ve müsabaka sonuçlarının önemli stres kaynakları arasında yer aldığını göstermektedir (Poulus et al., 2020; Drew et al., 2025). Ayrıca öz-düzenleme becerilerinin stres değerlendirmesi ve performansla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Trotter et al., 2023). Bu bulgular, oyuncuların performansla ilişkili olayları bilişsel olarak nasıl işlediklerinin rekabetçi performans açısından önemli olabileceğini göstermektedir.

Performans sırasında veya sonrasında ortaya çıkabilecek bilişsel süreçlerden biri ruminasyondur. Ruminasyon, bireyin yaşadığı olaylar, başarısızlıklar veya bunların sonuçları üzerinde tekrarlayıcı biçimde düşünmesini ifade etmektedir. Spor bağlamında ruminatif düşünceler; yapılan bir hata, başarısız bir müsabaka, beklenen performansa ulaşılamaması veya kritik bir kararın olumsuz sonuçlanması sonrasında ortaya çıkabilmektedir. Ruminasyonun spor ortamında bağımsız olarak değerlendirilebilen bir psikolojik yapı olduğu gösterilmiş ve bu amaçla geliştirilen Spor Müsabakası Ruminasyon Ölçeği farklı sporcu örneklemlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Karafil & Pehlivan, 2023).

Ruminasyonun performansla ilişkisi tek yönlü değildir. Chen et al. (2025), genç elit sporcularda duygu odaklı ve anlam aramaya yönelik ruminatif eğilimlerin algılanan spor performansıyla olumsuz ilişkili olduğunu; problem çözmeye yönelik araçsal ruminasyonun ise problem odaklı başa çıkma aracılığıyla daha işlevsel sonuçlarla ilişkili olabileceğini göstermiştir. Benzer biçimde sporcularda tekrarlayıcı olumsuz düşünmenin müsabaka kaygısıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Casali et al., 2022). Bu bulgular, ruminasyonun yalnızca miktarının değil, içeriğinin ve işlevinin de performans açısından önemli olabileceğine işaret etmektedir.

Espor bağlamında bu konu ayrıca önem taşımaktadır. Oyuncuların hata veya başarısızlık sonrasında kısa süre içerisinde yeni kararlar vermeleri, rakip davranışlarını takip etmeleri ve dikkatlerini mevcut oyun durumuna yeniden yöneltmeleri gerekmektedir. Olumsuz oyun içi deneyimlerin dikkat, duygu düzenleme ve performans süreçleriyle ilişkili olabileceğine yönelik bulgular bulunmakla birlikte (Cregan et al., 2024), esporcularda ruminasyon ile performans arasındaki ilişkiyi doğrudan ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir.

Türkiye'de esporcuların psikolojik özelliklerine ilişkin araştırmalar artmakla birlikte, mevcut çalışmalar daha çok stres, anksiyete, depresyon, mükemmeliyetçilik ve genel psikolojik tepkiler gibi değişkenlere odaklanmaktadır (Tiring & Güloğlu, 2023). Güncel uluslararası espor psikolojisi literatüründe de performansla ilişkili çok sayıda psikolojik süreç incelenmesine rağmen ruminasyon henüz bağımsız ve yerleşik bir araştırma alanı olarak öne çıkmamaktadır (Pedraza-Ramirez et al., 2025).

Bu durum önemli bir literatür boşluğuna işaret etmektedir. Geleneksel spor literatüründe ruminasyonun performans, başa çıkma ve rekabet kaygısıyla ilişkisine yönelik kanıtlar bulunmasına rağmen (Casali et al., 2022; Chen et al., 2025), bu bulguların esporun yüksek bilişsel hız ve sürekli karar verme gerektiren performans ortamına nasıl yansıdığı yeterince açıklığa kavuşmamıştır.

Bu derlemenin amacı, esporcularda ruminasyon ile performans arasındaki olası ilişkiyi mevcut bilimsel literatür doğrultusunda incelemek, ruminatif düşüncelerin espor performansı açısından taşıyabileceği işlevsel ve işlevsiz sonuçları değerlendirmek ve mevcut literatürdeki araştırma boşluklarını ortaya koymaktır.

1.1. Esporcularda Ruminasyon ve Performans

Espor performansı; sürdürülebilir dikkat, hızlı karar verme, stres toleransı, psikolojik dayanıklılık ve düşünce-davranış kontrolü gibi birbiriyle ilişkili bilişsel ve psikolojik özelliklere dayanmaktadır (Papp et al., 2025). Bu nedenle özellikle müsabaka sırasında yapılan bir hata sonrasında oyuncunun dikkatini yeniden mevcut göreve yöneltebilmesi ve performansını sürdürebilmesi önem taşımaktadır.

Rekabetçi espor ortamlarında oyuncuların karşılaştıkları stresörleri nasıl değerlendirdikleri ve bunlarla nasıl başa çıktıkları performans süreçleri açısından önemlidir. Poulus et al. (2020), yüksek düzeyde rekabet eden 316 esporcuda stres değerlendirmesi, zihinsel dayanıklılık ve başa çıkma stratejileri arasında anlamlı ilişkiler bulunduğunu bildirmiştir. Daha yüksek zihinsel dayanıklılığa sahip oyuncuların problem ve duygu odaklı başa çıkma stratejilerini daha fazla, kaçınma stratejilerini ise daha az kullanma eğiliminde oldukları görülmüştür. Benzer biçimde Trotter et al. (2023), öz-düzenleme ve stres değerlendirmesinin oyun

performansıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, oyuncunun olumsuz bir performans olayını nasıl bilişsel olarak işlediğinin ve sonrasında dikkatini nasıl yeniden düzenlediğinin belirleyici olabileceğini düşündürmektedir.

Bu noktada ruminasyon, hata veya başarısızlık sonrasında performansa yeniden yönelmeyi etkileyebilecek önemli bir bilişsel süreç olarak ortaya çıkmaktadır. Kröhler ve Berti (2019), rekabetçi sporcularda başarısızlık sonrası eylem yönelimi ile ruminasyon arasında orta ve güçlü düzeylerde ilişkiler bulunduğunu göstermiştir. Başarısızlık sonrasında olumsuz düşüncelerden uzaklaşmakta ve yeniden eyleme geçmekte zorlanan sporcuların daha yüksek ruminasyon eğilimleri gösterdiği belirlenmiştir. Bu bulgu, geçmişteki bir performans olayına zihinsel olarak bağlı kalmanın mevcut göreve yeniden yönelmeyi güçleştirebileceğini düşündürmektedir. Kararların saniyeler içerisinde birbirini takip ettiği espor ortamında bu mekanizma özellikle önem taşıyabilir.

Bununla birlikte ruminasyonun performansla ilişkisi tek yönlü değildir. Chen et al. (2025), genç elit sporcularda duygu odaklı ve anlam aramaya yönelik ruminasyonun algılanan spor performansıyla olumsuz ilişkili olduğunu; araçsal, yani problem çözmeye yönelik ruminasyonun ise problem odaklı başa çıkma aracılığıyla daha olumlu performans sonuçlarıyla ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Bu bulgu, bir performans hatası hakkında düşünmenin tek başına işlevsiz kabul edilmemesi gerektiğini göstermektedir. Belirleyici olan, düşünme sürecinin oyuncuyu çözüme ve sonraki performans görevine yönlendirip yönlendirmediğidir.

Bu ayrım espor açısından oldukça dikkate değerdir. Bir oyuncunun kaybedilen bir pozisyonu kısa süreli olarak analiz ederek hatanın nedenini belirlemesi ve sonraki oyun durumu için stratejisini değiştirmesi işlevsel bir performans değerlendirmesi olarak düşünülebilir. Buna karşılık aynı hatayı sürekli zihinsel olarak yeniden yaşamak, kendisini veya takım arkadaşlarını suçlamak ve dikkati devam eden oyuna yönlendirememek işlevsiz bir ruminatif döngü oluşturabilir. Dolayısıyla ruminasyonun espor performansına olası etkisi; yalnızca tekrarlayıcı düşüncenin varlığına değil, düşüncenin içeriğine, süresine, duygusal yüküne ve oyuncunun yeniden eyleme geçebilme kapasitesine bağlı olabilir.

Esporcularda ruminasyonu doğrudan ele alan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, oyun sırasında ortaya çıkan psikolojik performans bozulmasını açıklayan tilt araştırmaları konuya dolaylı kanıt sağlamaktadır. Cregan et al. (2024), rekabetçi amaçlarla oyun oynayan bireylerde tilt yaşama eğiliminin daha yüksek olduğunu ve öfke, oyun süresi, oyun deneyimi ve duygu düzenleme stratejilerinin tilt ile ilişkili olduğunu bildirmiştir.

Bonilla et al. (2024) ise tilt'i psikolojik iyi oluş ve performansla ilişkili bir yapı olarak değerlendirmiş ve olumsuz duyguların kontrol edilememesinin performansın sürdürülmesini zorlaştırabileceğine dikkat çekmiştir.

Ruminasyon ve tilt aynı kavramlar değildir. Ruminasyon, olumsuz bir olayın tekrarlayıcı biçimde bilişsel olarak işlenmesini ifade ederken; tilt, bilişsel süreçlerin yanı sıra duygusal, davranışsal ve performansa ilişkin bozulmaları da kapsayan daha geniş bir oyun içi durumu ifade etmektedir. Bununla birlikte ruminasyonun bazı oyuncularda hata veya başarısızlık sonrasında tilt'e geçişi kolaylaştırabilecek bilişsel mekanizmalardan biri olması teorik olarak mümkündür. Ancak bu ilişki doğrudan test edilmediğinden, nedensel bir bağlantı olarak değil gelecekte araştırılması gereken bir olasılık olarak değerlendirilmelidir.

Ruminasyonun performans açısından önemini destekleyen diğer bulgular psikolojik esneklik ve zihinsel dayanıklılık araştırmalarından gelmektedir. Akbulut (2025), 230 karate sporcusunda müsabaka ruminasyonu ile psikolojik esneklik ve zihinsel dayanıklılık arasında negatif yönlü ilişkiler bulunduğunu bildirmiştir. Ruminasyon düzeyi arttıkça psikolojik esneklik ve zihinsel dayanıklılığın azalması, hızlı değişen performans koşullarına uyum sağlamanın önemli olduğu espor ortamı açısından dikkat çekicidir. Nitekim espor performansında da stres toleransı, dayanıklılık ve değişen koşullara uyum sağlama kapasitesi önemli psikolojik özellikler arasında değerlendirilmektedir (Papp et al., 2025).

Spor bilimlerinde ruminasyon üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi de ruminasyonun performans, duygu düzenleme, kaygı, psikolojik esneklik ve başa çıkma gibi çeşitli psikolojik yapılarla birlikte ele alındığını göstermektedir (Sevilmiş & Çolakoğlu, 2025). Mevcut bulgular, işlevsiz ruminasyonun sporcunun geçmiş performans hatalarından zihinsel olarak ayrılmasını ve dikkatini mevcut göreve yeniden yönlendirmesini zorlaştırabileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık problem çözme ve gelecekteki performansı düzenleme amacı taşıyan yapılandırılmış bilişsel değerlendirmenin işlevsiz ruminasyonla aynı biçimde ele alınmaması gerekmektedir.

Espor açısından mevcut kanıtların temel sınırlılığı, ruminasyonun objektif oyun performansıyla doğrudan ilişkisinin yeterince araştırılmamış olmasıdır. Espor literatüründe stres, başa çıkma, öz-düzenleme, zihinsel dayanıklılık ve tilt gibi ilişkili psikolojik yapılar daha fazla incelenirken (Bonilla et al., 2024; Cregan et al., 2024; Poulus et al., 2020; Trotter et al., 2023), spor psikolojisi araştırmaları ruminasyonun başarısızlık sonrası eyleme geçme, psikolojik esneklik ve algılanan performansla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Akbulut, 2025; Chen et al., 2025; Kröhler & Berti, 2019). Bu nedenle ruminasyon, espor performansını

açıklamada potansiyel olarak önemli bir psikolojik değişken olmakla birlikte, ilişkinin yönü ve büyüklüğünün belirlenebilmesi için esporcular üzerinde doğrudan yürütülecek araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Deseni

Bu çalışma, esporcularda ruminasyon ile performans arasındaki olası ilişkiyi mevcut bilimsel literatür doğrultusunda incelemeyi amaçlayan narratif derleme niteliğindedir. Çalışmada herhangi bir katılımcıdan yeni veri toplanmamış; konuya ilişkin yayımlanmış bilimsel araştırmalar ve derleme çalışmalarından yararlanılmıştır.

2.2. Literatürün İncelenmesi ve Kaynakların Seçimi

Kaynak seçiminde öncelikle hakemli bilimsel dergilerde yayımlanmış ve ruminasyon, espor veya spor performansı ile doğrudan ilişkili çalışmalar dikkate alınmıştır. Güncelliğin sağlanması amacıyla özellikle son yıllarda yayımlanan araştırmalara öncelik verilmiş; bununla birlikte ruminasyonun spor psikolojisindeki kuramsal temelini açıklayan daha eski ve alana katkı sağlayan çalışmalar da kapsamda tutulmuştur.

Uluslararası literatürde mümkün olduğunca Web of Science kapsamında indekslenen hakemli dergilerde yayımlanan çalışmalar, ulusal literatürde ise TR Dizin kapsamında yer alan veya DergiPark üzerinden erişilebilen hakemli bilimsel yayınlar tercih edilmiştir. Bilimsel hakem değerlendirmesinden geçmemiş internet içerikleri, haber metinleri, oyun forumları ve akademik niteliği doğrulanamayan kaynaklar değerlendirmeye alınmamıştır.

2.3. Literatürün Değerlendirilmesi

İncelenen çalışmalar nicel olarak birleştirilmemiş ve meta-analitik bir değerlendirme yapılmamıştır. Çalışmalardan elde edilen bulgular narratif olarak sentezlenmiş; özellikle ruminasyonun spor performansıyla ilişkisi, ruminatif düşüncenin işlevsel ve işlevsiz özellikleri ve bu süreçlerin espor performansına olası yansımaları üzerinde durulmuştur. Esporcularda ruminasyonu doğrudan inceleyen çalışmaların sınırlı olduğu durumlarda, geleneksel spor psikolojisi literatüründen elde edilen bulgular esporun kendine özgü performans gereksinimleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

2.4. Etik Beyan

Bu çalışma, daha önce yayımlanmış bilimsel çalışmaların incelenmesine dayalı bir derleme niteliğinde olup insan veya hayvan katılımcılardan herhangi bir yeni veri toplanmamıştır. Bu nedenle çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

3. TARTIŞMA

Bu derlemede değerlendirilen çalışmalar birlikte ele alındığında, ruminasyonun espor performansını açıklamada dikkate alınması gereken potansiyel bir bilişsel mekanizma olduğu görülmektedir. Bununla birlikte mevcut kanıtların önemli bir kısmının geleneksel sporcu örneklemlerinden elde edilmiş olması, espor bağlamında doğrudan nedensel çıkarımlar yapılmasını sınırlandırmaktadır. Sporcularda ruminasyonun başarısızlık sonrası yeniden eyleme geçebilme, psikolojik esneklik, başa çıkma ve algılanan performansla ilişkili olduğunu gösteren bulgular ile esporcularda stres değerlendirmesi, öz-düzenleme ve performans arasındaki ilişkileri ortaya koyan çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, ruminasyonun espor performansındaki olası rolünü açıklayabilecek anlamlı bir kuramsal çerçeve ortaya çıkmaktadır (Akbulut, 2025; Chen et al., 2025; Kröhler & Berti, 2019; Poulus et al., 2020; Trotter et al., 2023).

Bu çerçevenin merkezinde, oyuncunun olumsuz bir performans olayından sonra dikkatini yeniden mevcut göreve yöneltebilme kapasitesi yer almaktadır. Geleneksel spor literatüründe başarısızlık sonrası eylem yönelimi ile ruminasyon arasındaki ilişki, tekrarlayıcı düşüncelerin performans sırasında yeniden odaklanmayı güçleştirebileceğine işaret etmektedir (Kröhler & Berti, 2019). Benzer biçimde düşük ruminasyon eğiliminin dinamik takım sporu koşullarında daha esnek performans örüntüleriyle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Roy et al., 2016). Esporun çok kısa zaman aralıklarında ardışık kararlar gerektiren yapısı dikkate alındığında, geçmişteki bir hata üzerinde zihinsel olarak kalmanın güncel oyun bilgisinin işlenmesini ve sonraki kararların oluşturulmasını zorlaştırabileceği düşünülebilir.

Ruminasyonun performans üzerindeki etkisinin tek yönlü olmadığına ilişkin bulgular, bu sürecin içeriği ve işlevinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Chen et al., 2025). Bu nedenle espor bağlamında ruminasyonun yalnızca düzeyinin değil, oyuncunun hata sonrasında yeniden odaklanmasını kolaylaştıran veya engelleyen işlevinin de değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir. Gelecekteki araştırmalarda ruminasyonun türü, süresi ve işlevinin objektif performans göstergeleriyle birlikte incelenmesi bu ayrımın daha açık biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayabilir.

Esporcularda stres değerlendirmesi ve öz-düzenleme üzerine elde edilen bulgular bu yorumu desteklemektedir. Stresli olaylara verilen tepkinin oyuncunun zihinsel dayanıklılığı ve başa çıkma biçimiyle ilişkili olduğu (Poulus et al., 2020), öz-düzenleme becerilerinin ise performans açısından avantaj sağlayabileceği gösterilmiştir (Trotter et al., 2023). Bu bağlamda ruminasyon, olumsuz bir performans olayının ardından oyuncunun dikkatini geçmişte tutan veya olaydan öğrenerek yeniden mevcut göreve dönmesini

kolaylaştıran bilişsel süreçlerden biri olabilir. Bu yorum, ruminasyonun espor performansında tek başına değil, daha geniş bir öz-düzenleme ve başa çıkma sistemi içerisinde ele alınmasının daha uygun olacağını düşündürmektedir.

Psikolojik esneklik bulguları da bu çerçeveyle uyumludur. Akbulut (2025), müsabaka ruminasyonu ile psikolojik esneklik ve zihinsel dayanıklılık arasında negatif ilişkiler bildirmiştir. Bu bulgu doğrudan esporculardan elde edilmemiş olsa da, hızlı değişen koşullara uyum sağlamanın temel performans gereksinimlerinden biri olduğu espor ortamı açısından anlamlıdır. Ruminatif düşüncelerin oyuncunun bilişsel olarak geçmiş performans olayına bağlı kalmasına neden olması, değişen oyun koşullarına hızlı uyum sağlama kapasitesi açısından dezavantaj oluşturabilir. Ancak bu varsayımın esporcular üzerinde doğrudan test edilmesi gerekmektedir.

Tilt literatürü de ruminasyonun espor bağlamındaki olası rolünü anlamada yardımcı bir çerçeve sunmaktadır. Tilt'in zayıf duygu kontrolü, olumsuz oyun içi deneyimler ve performans bozulmasıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Bonilla et al., 2024; Cregan et al., 2024). Bununla birlikte tilt ve ruminasyon birbirinden ayrı yapılardır. Tilt daha geniş bir duygusal, bilişsel ve davranışsal performans bozulmasını kapsarken, ruminasyon tekrarlayıcı bilişsel işlemlemeye odaklanmaktadır. Bu nedenle ruminasyonun tilt'in olası bilişsel öncüllerinden biri olabileceği düşüncesi teorik açıdan dikkat çekici olmakla birlikte, mevcut kanıtlar bu yönde nedensel bir sonuç çıkarmaya izin vermemektedir.

Bu derlemenin dikkat çektiği önemli kavramlardan biri hata sonrası bilişsel toparlanmadır. Rekabetçi espor ortamında hataların tamamen ortadan kaldırılması gerçekçi değildir. Bu nedenle performans açısından belirleyici olan, oyuncunun hata yapıp yapmamasından çok hata sonrasında dikkatini, karar verme sürecini ve davranışlarını ne kadar hızlı yeniden düzenleyebildiği olabilir. Geleneksel spor literatüründe düşük ruminasyonun daha esnek ve sürdürülebilir performans örüntüleriyle ilişkilendirilmesi bu yaklaşımı desteklemektedir (Roy et al., 2016). Espor özelinde hata sonrası bilişsel toparlanmanın doğrudan incelenmesi, ruminasyon ile performans arasındaki ilişkiyi açıklamada yeni ve işlevsel bir araştırma alanı oluşturabilir.

Bununla birlikte mevcut literatür önemli yöntemsel sınırlılıklar içermektedir. Ruminasyon araştırmalarının büyük bölümü kesitsel tasarımlara ve öz-bildirim ölçümlerine dayandığından, ruminasyonun düşük performansa neden olup olmadığı ya da düşük performansın daha fazla ruminasyona yol açıp açmadığı açık değildir. Chen et al. (2025) tarafından değerlendirilen performansın algılanan performansa dayanması da objektif göstergelerin kullanılmasının önemini artırmaktadır. Espor araştırmalarında ise stres, öz-düzenleme ve

tilt üzerine ampirik çalışmalar bulunmasına rağmen, ruminasyonu doğrudan ve bağımsız bir değişken olarak inceleyen araştırmalar sınırlıdır. Güncel espor psikolojisi literatürü de alanın bilişsel-motor, duygusal ve sosyal süreçler açısından geliştiğini, ancak dikkate değer kavramsal ve yöntemsel boşlukların devam ettiğini göstermektedir (Pedraza-Ramirez et al., 2025).

Gelecekte yapılacak çalışmaların bu nedenle ruminasyonu objektif oyun performansı göstergeleriyle birlikte değerlendirmesi önem taşımaktadır. Hata öncesi ve sonrası reaksiyon süresi, karar doğruluğu, isabet oranı, oyun içi ölüm veya kayıp sonrasındaki performans değişimi ve takım içi iletişim gibi göstergeler, ruminasyonun gerçek zamanlı performans sonuçlarının daha doğrudan değerlendirilmesini sağlayabilir. Boylamsal ve deneysel araştırmalar ise ruminasyonun performans düşüşünün nedeni mı yoksa sonucu mu olduğunun belirlenmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca farklı espor türlerinin bilişsel ve takım temelli gereksinimleri birbirinden farklı olduğundan, gelecekteki çalışmaların oyun türünü ayrı bir faktör olarak değerlendirmesi gerekmektedir.

Genel olarak mevcut kanıtlar, ruminasyonun espor performansıyla ilişkili olabilecek önemli ancak henüz yeterince araştırılmamış bir bilişsel süreç olduğunu düşündürmektedir. Özellikle duygu ve başarısızlık odaklı tekrarlayıcı düşünceler hata sonrasında yeniden odaklanmayı ve bilişsel esnekliği zorlaştırabilirken, problem çözme ve stratejik yeniden değerlendirmeye yönelik düşünme süreçleri daha işlevsel olabilir. Bununla birlikte esporcularda ruminasyon ile objektif performans arasındaki doğrudan kanıtların sınırlı olması nedeniyle, bu çıkarımların kesin sonuçlar olarak değil, gelecekte ampirik olarak sınanması gereken kuramsal bir çerçeve olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derlemede ele alınan bulgular, ruminasyonun espor performansı açısından dikkate alınması gereken ancak henüz yeterince doğrudan araştırılmamış bir bilişsel süreç olduğunu göstermektedir. Özellikle hata veya başarısızlık sonrasında ortaya çıkan tekrarlayıcı düşünceler, oyuncunun dikkatini mevcut oyun durumuna yeniden yönlendirmesini ve performansını sürdürmesini güçleştirebilir. Bununla birlikte ruminasyonun performans üzerindeki etkisinin tek yönlü olmadığı ve düşüncenin içeriği ile işlevinin belirleyici olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Espor açısından belirleyici olan, oyuncunun yaptığı hata üzerinde düşünüp düşünmemesinden çok, bu düşünme sürecinin sonraki performansa nasıl yansıdığıdır. Hatanın nedenlerini kısa süreli olarak analiz etmek ve sonraki oyun durumuna yönelik stratejik bir düzenleme yapmak işlevsel olabilirken, aynı olumsuz olay

üzerinde kontrolsüz ve çözüm üretmeyen biçimde düşünmeye devam etmek performans açısından dezavantaj oluşturabilir. Bu nedenle ruminasyonun değerlendirilmesinde düzeyinin yanı sıra süresi, içeriği ve işlevi de dikkate alınmalıdır.

Mevcut literatürün en önemli boşluklarından biri, esporcularda ruminasyon ile objektif oyun performansı arasındaki ilişkinin yeterince araştırılmamış olmasıdır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda ruminasyonun reaksiyon süresi, karar doğruluğu, isabet oranı, hata sonrası performans değişimi ve diğer oyun içi performans göstergeleriyle birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Boylamsal ve deneysel araştırmalar, ruminasyonun performans düşüşünün nedeni mı yoksa sonucu mu olduğunun daha açık biçimde belirlenmesine katkı sağlayabilir.

Farklı espor türlerinin bilişsel ve rekabetçi gereksinimlerinin birbirinden farklı olması nedeniyle, gelecekteki araştırmaların oyun türünü de dikkate alması önemlidir. Ayrıca profesyonel ve amatör oyuncuların ayrı değerlendirilmesi, deneyim düzeyinin ve rekabet seviyesinin ruminasyon-performans ilişkisi üzerindeki olası etkilerinin anlaşılmasını kolaylaştırabilir.

Uygulama açısından, esporcuların hata sonrasında dikkatlerini mevcut göreve yeniden yönlendirmelerini destekleyen psikolojik beceri çalışmalarının değerlendirilmesi yararlı olabilir. Öz-düzenleme, bilişsel yeniden değerlendirme, problem odaklı başa çıkma ve hata sonrası yeniden odaklanma stratejileri bu kapsamda potansiyel uygulama alanlarıdır. Bununla birlikte esporcularda ruminasyona yönelik özel müdahalelerin etkinliği henüz yeterince araştırılmadığından, bu yaklaşımlar kanıtlanmış performans artırıcı yöntemler olarak değil, gelecekte test edilmesi gereken uygulamalar olarak ele alınmalıdır.

Sonuç olarak, ruminasyon espor performansını açıklamada kuramsal olarak dikkate değer ancak ampirik açıdan henüz yeterince araştırılmamış bir değişkendir. Özellikle işlevsiz, tekrarlayıcı ve hata odaklı düşüncelerin performansın sürdürülmesini zorlaştırabileceği; buna karşılık çözüm odaklı bilişsel değerlendirmelerin daha uyumlu sonuçlar doğurabileceği düşünülmektedir. Esporcularda ruminasyonun doğrudan ve objektif performans ölçütleriyle incelenmesi, alanın önemli araştırma boşluklarından birinin giderilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Akbulut, V. (2025). Karate Sporcularında Müsabaka Ruminasyonu, Psikolojik Esneklik ve Zihinsel Dayanıklılık Arasındaki İlişki. Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 14(3), 954-964. https://doi.org/10.37989/gumussagbil.1668259

Bonilla, I., Chamarro, A., Birch, P., Sharpe, B. T., Martín-Castellanos, A., Muriarte, D., & Ventura, C. (2024). Conceptualization and validation of the TILT questionnaire: Relationship with IGD and life satisfaction. Frontiers in Psychology, 15, 1409368. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1409368

Casali, N., Ghisi, M., Jansen, P., Feraco, T., & Meneghetti, C. (2022). What Can Affect Competition Anxiety in Athletes? The Role of Self-Compassion and Repetitive Negative Thinking. Psychological reports, 125(4), 2009–2028. https://doi.org/10.1177/00332941211017258

Chen, D.-T., Nien, J.-T., Geng, X., Yu, J., Singhnoy, C., & Chang, Y.-K. (2025). Relationship between ruminative dispositions and perceived sports performance in young elite athletes in Hong Kong: The role of problem-oriented coping strategies. Frontiers in Sports and Active Living, 7, 1513277. https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1513277

Cregan, S. C., Toth, A. J., & Campbell, M. J. (2024). Playing for keeps or just playing with emotion? Studying tilt and emotion regulation in video games. Frontiers in Psychology, 15, 1385242. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1385242

Drew, M., Bennett, K. J. M., Polman, R., & Poulus, D. R. (2025). Stress and coping in elite esports: A diary study of stress, coping and coping effectiveness. Psychology of Sport and Exercise, 80, 102937. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2025.102937

Karafil, A. Y., & Pehlivan, E. (2023). Spor Müsabakası Ruminasyon Ölçeği'nin Türkçeye uyarlanması: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 28(1), 8–15. https://doi.org/10.53434/gbesbd.1158522

Kröhler, A., & Berti, S. (2019). Taking action or thinking about it? State orientation and rumination are correlated in athletes. Frontiers in Psychology, 10, 576. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00576

Papp, D., Burján, R., & Csukonyi, C. (2025). Exploratory study of qualitative psychological factors influencing performance in esports. Frontiers in Sports and Active Living, 7, 1505409. https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1505409

Pedraza-Ramirez, I., Sharpe, B. T., Behnke, M., Toth, A. J., & Poulus, D. R. (2025). The psychology of esports: Trends, challenges, and future directions. Psychology of Sport and Exercise, 81, 102967. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2025.102967

Poulus, D., Coulter, T. J., Trotter, M. G., & Polman, R. (2020). Stress and coping in esports and the influence of mental toughness. Frontiers in Psychology, 11, 628. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00628

Roy, M. M., Memmert, D., Frees, A., Radzevick, J., Pretz, J., & Noël, B. (2016). Rumination and performance in dynamic, team sport. Frontiers in Psychology, 6, 2016. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.02016

Sevilmiş, U., & Çolakoğlu, F. F. (2025). Ruminasyon ile İlgili Spor Bilimleri Alanında Yayımlanmış Olan Araştırmaların Doküman Analizi. Iğdır Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 8(1), 59-68. https://doi.org/10.48133/igdirsbd.1720887

Tiring, O., & Güloğlu, B. (2023). E-spor oynayanların psikolojik tepkilerinin yordayıcısı olarak benlik kurgusu, mükemmeliyetçilik ve olumlu gelecek beklentisi. Gazi Journal of Physical Education and Sport Sciences, 28(2), 102–112. https://doi.org/10.53434/gbesbd.1165009

Trotter, M. G., Obine, E. A. C., & Sharpe, B. T. (2023). Self-regulation, stress appraisal, and esport action performance. Frontiers in Psychology, 14, 1265778. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1265778

ESPORCULARDA ZİHİNSEL YORGUNLUK VE TİLT: BİLİŞSEL YÜK, ÖZ-DÜZENLEME VE PERFORMANS BOZULMASI

Dr. Öğr. Üyesi, Eren BOZYILAN[1], Prof. Dr. Aykut DÜNDAR[2]

[1]Adıyaman Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, ebozyilan@adiyaman.edu.tr, 0000-0002-8450-880

[2]Adıyaman Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, adundar@adiyaman.edu.tr, 0009-0005-0959-8496

Özet

Elektronik sporlar, uzun süreli dikkat, hızlı karar verme, bilişsel kontrol ve duygusal öz-düzenleme gerektiren yoğun performans ortamlarıdır. Bu bağlamda zihinsel yorgunluk ve tilt, oyuncuların performans sürekliliğini etkileyebilecek iki önemli psikolojik süreç olarak öne çıkmaktadır. Bu derlemenin amacı, esporcularda zihinsel yorgunluk ve tilt olgularını mevcut bilimsel literatür doğrultusunda incelemek, bu iki yapının performans üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek ve aralarındaki teorik bağlantıları ortaya koymaktır. Çalışma narratif derleme niteliğinde olup hakemli ulusal ve uluslararası araştırmalar kavramsal olarak sentezlenmiştir. Mevcut bulgular, uzun süreli espor katılımının bilişsel performansta azalma ile ilişkili olabileceğini ve bu azalmanın her zaman öznel yorgunluk algısıyla paralel ilerlemediğini göstermektedir. Zihinsel yorgunluğun etkileri oyun türü, görev özellikleri, uzmanlık düzeyi ve kullanılan performans ölçütlerine göre değişebilmektedir. Tilt ise hata, mağlubiyet, ardışık kayıplar ve diğer oyun içi stresörler sonrasında gelişebilen; öfke, dikkat bozulması, tekrarlayıcı olumsuz düşünceler ve performans kaybıyla ilişkili daha akut bir durum olarak değerlendirilmektedir. Zihinsel yorgunluk ve tilt birbirinden farklı yapılar olmakla birlikte, uzun süreli bilişsel yükün dikkat ve öz-düzenleme kaynaklarını azaltarak oyuncuların tilt'e karşı duyarlılığını artırabileceği teorik olarak öne sürülebilir. Ancak bu ilişkiyi doğrulayan doğrudan nedensel kanıtlar henüz sınırlıdır. Gelecekte bu iki yapının aynı araştırma modeli içerisinde, objektif performans ve fizyolojik göstergelerle birlikte incelenmesi önerilmektedir. Sonuç olarak zihinsel yorgunluk ve tilt, espor performansının sürdürülebilirliğini açıklamada birlikte değerlendirilmesi anlamlı ancak ampirik olarak daha fazla araştırılması gereken süreçlerdir.

Anahtar kelimeler: Espor, zihinsel yorgunluk, tilt, bilişsel yük, performans

MENTAL FATIGUE AND TILT IN ESPORTS PLAYERS: COGNITIVE LOAD, SELF-REGULATION, AND PERFORMANCE IMPAIRMENT

Abstract

Esports are demanding performance environments that require sustained attention, rapid decision-making, cognitive control, and emotional self-regulation. Within this context, mental fatigue and tilt have emerged as two psychological processes that may influence the maintenance of competitive performance. This narrative review aimed to examine mental fatigue and tilt in esports players, evaluate their potential effects on performance, and explore the theoretical links between these constructs. Peer-reviewed national and international studies were conceptually synthesized. Available evidence suggests that prolonged esports participation may be associated with declines in cognitive performance and that such declines do not always correspond with players' subjective perceptions of fatigue. The effects of mental fatigue appear to vary according to game genre, task characteristics, expertise level, and the performance measures used. Tilt, in contrast, is a more acute state that may develop following errors, losses, repeated failures, or other in-game stressors and is associated with anger, attentional disruption, repetitive negative thinking, and performance deterioration. Although mental fatigue and tilt are distinct constructs, prolonged cognitive load may theoretically reduce attentional and self-regulatory resources, thereby increasing players' susceptibility to tilt. However, direct causal evidence supporting this relationship remains limited. Future studies should examine mental fatigue and tilt within the same research model and combine self-report measures with objective performance and physiological indicators such as reaction time, decision accuracy, error rates, in-game performance metrics, and pupil responses. Different esports genres and levels of competitive expertise should also be considered. In conclusion, mental fatigue and tilt represent distinct but potentially interacting psychological processes that are relevant to the sustainability of esports performance and warrant further empirical investigation.

Keywords: Esports, mental fatigue, tilt, cognitive load, performance

1. GİRİŞ

Elektronik sporlar (espor), yüksek düzeyde dikkat, hızlı karar verme, görsel-uzamsal işlemleme, motor tepki kontrolü ve sürekli bilişsel uyum gerektiren rekabetçi dijital performans ortamlarıdır. Espor psikolojisine ilişkin güncel araştırmalar, performansın yalnızca oyun bilgisi ve teknik beceriyle açıklanamayacağını; bilişsel dayanıklılık, stresle başa çıkma, öz-düzenleme ve psikolojik iyi oluş gibi faktörlerin de performansın sürdürülebilirliği açısından önemli olduğunu göstermektedir (Pedraza-Ramirez et al., 2025). Özellikle uzun süreli antrenman ve müsabaka süreçleri, oyuncuların bilişsel kaynakları üzerinde belirleyici bir yük oluşturabilmektedir.

Bu bağlamda zihinsel yorgunluk, espor performansı açısından giderek daha fazla önem kazanan kavramlardan biridir. Zihinsel yorgunluk, uzun süreli bilişsel çaba sonrasında ortaya çıkan öznel yorgunluk hissi ile dikkat, karar verme ve bilişsel işlemleme kapasitesindeki azalmayı ifade etmektedir. Espora özgü araştırmalar, uzamış oyun süresinin bilişsel performansta düşüşle ilişkili olabileceğini göstermektedir. Matsui et al. (2024), farklı uzmanlık düzeylerindeki oyunculara uzun süreli espor katılımı sonrasında bilişsel performansta azalma görülebildiğini ve bu azalmanın öznel yorgunluk algısından bağımsız biçimde ortaya çıkabildiğini bildirmiştir. Luo et al. (2022) da espor katılımı ile zihinsel yorgunluk arasında karşılıklı ilişkiler bulunduğunu göstermiştir.

Bununla birlikte zihinsel yorgunluğun performans üzerindeki etkisi tüm oyuncular ve görevler için aynı düzeyde ortaya çıkmamaktadır. McMeeken et al. (2026), rekabetçi VALORANT oyuncularında zihinsel yorgunluk sonrasında bazı performans göstergelerinde bozulma belirlerken, diğer göstergelerde anlamlı bir değişiklik saptamamıştır. Bu sonuç, zihinsel yorgunluk-performans ilişkisinin görev türüne, oyuncu özelliklerine ve kullanılan performans ölçütlerine bağlı olarak değişebileceğini düşündürmektedir. Ayrıca uzun süreli psikolojik yüklenmenin tükenmişlik, zihinsel dayanıklılık ve psikolojik sağlamlık gibi daha geniş performans süreçleriyle ilişkili olduğu da bildirilmektedir (Poulus et al., 2024; Young et al., 2026).

Zihinsel yorgunluğun espor performansındaki olası sonuçlarından biri, oyuncunun stresli oyun içi olaylara verdiği bilişsel ve duygusal tepkileri düzenlemekte zorlanması olabilir. Bu bağlamda son yıllarda oyun ve espor psikolojisi literatüründe öne çıkan kavramlardan biri tilttir. Tilt; hata, mağlubiyet, ardışık kayıplar veya takım arkadaşlarının davranışları gibi stresörler sonrasında ortaya çıkabilen ve öfke, dikkat bozulması, tekrarlayıcı olumsuz düşünceler ile performans düşüşünü içerebilen bir durum olarak tanımlanmaktadır (Bonilla et al., 2024).

Tilt'in özellikle rekabetçi oyun ortamlarında performans açısından önemli olduğu görülmektedir. Cregan et al. (2024), tilt'in zayıf duygu kontrolü ve oyun performansıyla ilişkili olduğunu; rekabetçi amaçlarla oynama ve öfkenin tilt yaşama olasılığıyla bağlantılı bulunduğunu bildirmiştir. Cregan et al. (2025) ise tilt sırasında kullanılan başa çıkma stratejilerinin performans ve psikolojik işlevsellik açısından dikkate değer olabileceğine dikkat çekmiştir.

Zihinsel yorgunluk ve tilt birbirinden farklı psikolojik yapılardır. Zihinsel yorgunluk daha çok uzun süreli bilişsel çaba sonucunda ortaya çıkan zihinsel ve bilişsel performans kaybıyla ilişkiliyken, tilt belirli oyun içi stresörler sonrasında gelişen daha akut duygusal, bilişsel ve davranışsal bir performans bozulmasını kapsamaktadır. Bununla birlikte uzun süreli bilişsel yükün dikkat, karar verme ve öz-düzenleme kaynaklarını azaltması durumunda, oyuncunun hata veya mağlubiyet gibi stresörlere karşı daha duyarlı hale gelmesi teorik olarak mümkündür. Ancak mevcut literatür, zihinsel yorgunluğun tilt'e doğrudan neden olduğunu göstermemektedir.

Mevcut çalışmaların önemli bir kısmı zihinsel yorgunluk ve tilt'i ayrı ayrı ele almaktadır. Uzun süreli espor katılımının bilişsel performans üzerindeki etkilerine ilişkin doğrudan kanıtlar bulunurken (Matsui et al., 2024), tilt araştırmaları daha çok duygu düzenleme, öfke, oyun içi stresörler ve başa çıkma süreçlerine odaklanmaktadır (Bonilla et al., 2024; Cregan et al., 2024, 2025). Bu nedenle zihinsel yorgunluk ile tilt arasındaki olası ilişkinin doğrudan incelenmesi, espor psikolojisinde öne çıkan bir araştırma boşluğu olarak değerlendirilebilir. Güncel espor psikolojisi literatürü de bilişsel ve duygusal performans süreçlerinin birlikte ele alınması gerektiğine dikkat çekmektedir (Pedraza-Ramirez et al., 2025).

Bu derlemenin amacı, esporcularda zihinsel yorgunluk ve tilt olgularını mevcut bilimsel literatür doğrultusunda incelemek, bu iki yapının performans üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek ve zihinsel yorgunluk ile tilt arasındaki teorik bağlantıları ortaya koymaktır. Ayrıca mevcut kanıtların sınırlılıklarının belirlenmesi ve gelecekte doğrudan test edilmesi gereken araştırma sorularının ortaya konulması amaçlanmaktadır.

1.1. Esporcularda Zihinsel Yorgunluk ve Tilt

Espor performansı, uzun süre boyunca dikkatin sürdürülmesi, hızlı ve doğru kararlar verilmesi, görsel uyaranların seçici biçimde işlenmesi ve motor yanıtların kısa zaman aralıklarında oluşturulmasını gerektiren yoğun bir bilişsel yük içermektedir. Bu nedenle uzun süreli oyun ve antrenman süreçlerinin ardından ortaya çıkan zihinsel yorgunluk, performansın sürdürülebilirliği açısından önemli bir faktör olarak

değerlendirilmektedir. Matsui et al. (2024), farklı uzmanlık düzeylerindeki oyunculara uzun süreli espor katılımı sonrasında bilişsel performansta azalma görülebildiğini ve bu gerilemenin oyuncuların öznel yorgunluk algısından bağımsız biçimde ortaya çıkabildiğini göstermiştir. Bu bulgu, oyuncunun kendisini yorgun hissetmemesinin bilişsel performans kapasitesinin tamamen korunduğu anlamına gelmeyebileceğini düşündürmektedir.

Zihinsel yorgunluğun performans üzerindeki etkisinin ise bütün oyuncular ve görevler için aynı olmadığı görülmektedir. McMeeken et al. (2026), rekabetçi VALORANT oyuncularında zihinsel yorgunluk oluşturulduktan sonra bazı performans göstergelerinde bozulma belirlerken, diğer göstergelerde anlamlı bir değişiklik bildirmemiştir. Bu durum, zihinsel yorgunluğun etkisinin oyun türü, bilişsel görev, oyuncunun uzmanlık düzeyi ve kullanılan performans ölçütlerine bağlı olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla zihinsel yorgunluğun değerlendirilmesinde yalnızca toplam oyun süresine değil, dikkat, karar verme, hata kontrolü ve diğer bilişsel performans bileşenlerine de odaklanılması gerekmektedir.

Öznel yorgunluk ile objektif bilişsel performans kaybının her zaman paralel ilerlememesi espor performans yönetimi açısından ayrıca önemlidir. Matsui et al. (2024), uzun süreli oyun sırasında bilişsel performanstaki gerilemenin oyuncuların öznel yorgunluk algısından bağımsız gelişebildiğini ve pupilla değişimlerinin bu süreçle ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Benzer biçimde Takahashi et al. (2026), uzamış espor oynama sırasında bilişsel yorgunluğun davranışsal ve fizyolojik göstergelerle birlikte değerlendirilmesinin önemine dikkat çekmiştir. Bu bulgular, esporcularda zihinsel yorgunluğun yalnızca öz-bildirimlere dayalı olarak değerlendirilmesinin yetersiz kalabileceğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte espor performansındaki bozulma yalnızca bilişsel yorgunlukla açıklanamaz. Hata, mağlubiyet, rakip provokasyonu veya takım arkadaşlarının davranışları gibi oyun içi stresörler, oyuncunun duygusal ve bilişsel kontrolünü etkileyebilmektedir. Bu bağlamda son yıllarda öne çıkan kavramlardan biri tilttir. Bonilla et al. (2024), tilt'i hayal kırıklığının öfkeye dönüşmesi, dikkat ve performansta azalma, bilişsel kontrolün zayıflaması ve hatalara yönelik tekrarlayıcı olumsuz düşüncelerin ortaya çıkmasıyla karakterize edilen bir durum olarak ele almıştır. Aynı çalışmada geliştirilen TILT ölçeğinin, tilt'in nedenleri ve sonuçlarını değerlendiren iki boyutlu bir yapı gösterdiği bildirilmiştir.

Tilt'in oluşumunda yalnızca oyunun sonucu değil, oyuncunun duygusal tepkileri ve oyun davranışları da önemli görünmektedir. Cregan et al. (2024), 1.007 oyuncuyla gerçekleştirdikleri araştırmada daha rekabetçi amaçlarla oyun oynayan, daha yüksek öfke düzeyi bildiren ve daha uzun süre oynayan bireylerin tilt yaşamaya

daha yatkın olduğunu göstermiştir. Buna karşılık daha fazla oyun deneyiminin ve uyumlu duygu düzenleme stratejilerinin tilt'e karşı koruyucu olabileceği bildirilmiştir. Bu sonuçlar, tilt'in yalnızca başarısız bir oyun sonucunun doğrudan ürünü olmadığını; bireysel psikolojik kaynaklar ve duygu düzenleme biçimleriyle birlikte şekillendiğini göstermektedir.

Tilt sırasında performansın bozulmasında dikkat kontrolündeki azalma, dürtüsel karar verme, öfke, olumsuz bilişsel içerik ve stratejik odağın kaybedilmesi gibi birden fazla mekanizmanın rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bonilla et al. (2024), tilt'in sonuçları arasında dikkat ve performansta azalma ile hatalara yönelik tekrarlayıcı olumsuz düşünceleri özellikle vurgulamıştır. Bu durum, kararların çok kısa zaman aralıklarında birbirini izlediği espor ortamlarında önemli olabilir; çünkü tek bir hata sonrasında devam eden duygusal veya bilişsel bağlılık, sonraki kararların doğruluğunu da etkileyebilir.

Tilt kavramının tanımı konusunda ise literatürde tam bir görüş birliği bulunmamaktadır. Michałkiewicz et al. (2025), rage ve tilt kavramlarının zaman zaman birbirlerinin yerine kullanıldığını ve farklı çalışmalarda tilt'in duygusal, davranışsal veya bilişsel yönlerine farklı ağırlıklar verildiğini belirtmiştir. Bazı yaklaşımlar tilt'i tekrarlayan başarısızlıkların ardından gelişen davranışsal bir bozulma olarak değerlendirirken, bazıları bilişsel kontrolün azalması, negatif duygulanım ve bozulan karar verme ile karakterize daha kapsamlı bir içsel durum olarak tanımlamaktadır. Bu kavramsal çeşitlilik, gelecekte tilt'in daha standart biçimde tanımlanması ve ölçülmesi gerektiğini göstermektedir.

Zihinsel yorgunluk ve tilt birbirinden farklı psikolojik yapılardır. Zihinsel yorgunluk daha çok uzamış bilişsel çaba sonucunda ortaya çıkan zihinsel enerji azalması ve bilişsel performans kaybıyla ilişkiliyken, tilt belirli oyun içi stresörler sonrasında gelişen daha akut duygusal, bilişsel ve davranışsal bir bozulmadır. Bununla birlikte iki yapı arasında teorik bir kesişim bulunmaktadır. Uzun süreli oyun sonucunda dikkat ve bilişsel kontrol kapasitesinin azalması, oyuncunun hata veya mağlubiyet gibi olumsuz olaylara karşı daha düşük öz-düzenleme kapasitesiyle tepki vermesine yol açabilir. Cregan et al. (2024) tarafından uzun oyun süresinin tilt ile ilişkili bulunması bu varsayımla uyumludur; ancak bu bulgu zihinsel yorgunluğun tilt'e doğrudan neden olduğunu göstermemektedir.

Bu nedenle zihinsel yorgunluğun tilt için bir yatkınlık veya duyarlılık faktörü olabileceği hipotezi doğrudan test edilmelidir. Bu ilişkinin değerlendirilmesinde yalnızca öznel yorgunluk ve tilt düzeylerinin değil; reaksiyon süresi, hata oranı, karar doğruluğu, pupilla değişimleri ve diğer objektif performans göstergelerinin birlikte kullanılması daha bütüncül sonuçlar sağlayabilir. Matsui et al. (2024) tarafından pupilla değişimleriyle

bilişsel performans gerilemesi arasında ortaya konulan ilişki, bu tür çoklu ölçüm yaklaşımlarının uygulanabilirliğine yönelik önemli bir örnek oluşturmaktadır.

Espor performansında zihinsel yorgunluk ve tilt'in birlikte değerlendirilmesi, performans düşüşünün nedenlerinin daha doğru ayrıştırılmasına katkı sağlayabilir. Oyuncunun performansındaki azalma uzun süreli bilişsel yükten, duygusal kontrol kaybından veya iki sürecin birlikte ortaya çıkmasından kaynaklanabilir. Bu nedenle espor performansının tek bir sonuç değişkenine indirgenmesi yeterli olmayabilir. Sharpe et al. (2022), espor performansının değerlendirilmesinde çok boyutlu göstergelerin kullanılmasının önemine dikkat çekmiş ve psikolojik süreçlerin performans indekslerinin geliştirilmesinde göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir.

Genel olarak mevcut çalışmalar, uzun süreli espor katılımının bilişsel performans üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini ve tilt'in özellikle rekabetçi oyun ortamlarında duygu düzenleme, dikkat ve performans bozulmasıyla ilişkili önemli bir psikolojik durum olduğunu göstermektedir (Bonilla et al., 2024; Cregan et al., 2024; Matsui et al., 2024). Bununla birlikte zihinsel yorgunluk ile tilt arasındaki doğrudan ilişki henüz yeterince araştırılmamıştır. Bu nedenle iki yapı arasındaki bağlantının mevcut aşamada nedensel bir ilişki olarak değil, gelecekte ampirik olarak test edilmesi gereken teorik bir çerçeve olarak değerlendirilmesi daha uygundur.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Deseni

Bu çalışma, esporcularda zihinsel yorgunluk ve tilt olgularını, bu yapıların performans üzerindeki olası etkilerini ve aralarındaki teorik ilişkileri mevcut bilimsel literatür doğrultusunda değerlendirmeyi amaçlayan narratif derleme niteliğindedir. Çalışmada herhangi bir katılımcıdan yeni veri toplanmamış; konuya ilişkin yayımlanmış özgün araştırmalar ve derleme çalışmalarından yararlanılmıştır.

2.2. Literatür İncelemesi ve Kaynakların Seçimi

Kaynak seçiminde öncelikle hakemli bilimsel dergilerde yayımlanmış ve esporcularda zihinsel yorgunluk, tilt veya bu değişkenlerle ilişkili performans süreçlerini doğrudan inceleyen araştırmalara öncelik verilmiştir. Güncelliğin sağlanması amacıyla özellikle son yıllarda yayımlanan çalışmalar değerlendirilmiş; konuya doğrudan katkı sağlayan daha eski temel araştırmalar ise gerekli görüldüğünde kapsamda tutulmuştur.

Uluslararası literatürde mümkün olduğunca Web of Science kapsamında indekslenen hakemli dergilerde yayımlanan çalışmalar tercih edilmiştir. Ulusal literatürde ise TR Dizin kapsamında yer alan veya DergiPark

üzerinden erişilebilen hakemli bilimsel çalışmalar dikkate alınmıştır. Bilimsel hakem değerlendirmesinden geçmemiş internet içerikleri, oyun forumları, sosyal medya paylaşımları, haber metinleri ve akademik niteliği doğrulanamayan kaynaklar değerlendirme dışında bırakılmıştır.

2.3. Literatürün Değerlendirilmesi

İncelenen çalışmalar nicel olarak birleştirilmemiş ve meta-analitik bir değerlendirme yapılmamıştır. Bulgular narratif ve kavramsal bir yaklaşımla sentezlenmiştir. Değerlendirme sürecinde özellikle; zihinsel yorgunluğun espor performansına olası etkileri, tilt olgusunun bilişsel ve duygusal özellikleri, zihinsel yorgunluk ile tilt arasındaki olası teorik bağlantılar ve her iki yapının rekabetçi oyun performansına yansımaları üzerinde durulmuştur.

Zihinsel yorgunluk ile tilt arasındaki ilişkinin doğrudan incelendiği ampirik araştırmaların sınırlı olması nedeniyle, iki yapı arasındaki bağlantılar mevcut çalışmaların bulguları temelinde teorik olarak değerlendirilmiş; doğrudan kanıt bulunmayan durumlarda nedensel ifadelerden kaçınılmıştır.

2.4. Etik Beyan

Bu çalışma, daha önce yayımlanmış bilimsel çalışmaların incelenmesine dayalı bir derleme niteliğinde olup insan veya hayvan katılımcılardan herhangi bir yeni veri toplanmamıştır. Bu nedenle çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

3. TARTIŞMA

Bu derlemede değerlendirilen çalışmalar, zihinsel yorgunluk ve tilt'in espor performansını farklı ancak potansiyel olarak kesişen psikolojik süreçler üzerinden etkileyebileceğini düşündürmektedir. Zihinsel yorgunluk daha çok uzamış bilişsel çabanın ardından dikkat, bilişsel kontrol ve performans istikrarındaki azalmayla ilişkiliyken; tilt, oyun içi stresörler sonrasında ortaya çıkan duygusal, bilişsel ve davranışsal bir bozulma olarak öne çıkmaktadır. Uzun süreli espor katılımının zihinsel yorgunluğu artırabildiğini gösteren bulgular ile tilt'in öfke, dikkat sorunları ve performans kaybıyla ilişkili olması, iki yapının belirli koşullarda aynı performans süreci içinde etkileşebileceğine ilişkin kuramsal bir temel oluşturmaktadır (Bonilla et al., 2024; Cregan et al., 2024; Luo et al., 2022).

Zihinsel yorgunluğun espor performansındaki etkilerinin sabit ve evrensel olmadığı görülmektedir. Bilişsel yük arttıkça performans istikrarında değişiklikler ortaya çıkabilmekte, ancak bu etki bütün oyunculara veya görevlerde aynı düzeyde görülmemektedir. Liao ve Li (2026), artan bilişsel yük altında performans istikrarının uzmanlık düzeyine göre farklılaşabileceğini bildirirken, McMeeken et al. (2026) zihinsel

yorgunluğun bazı performans göstergelerinde bozulmaya yol açtığını, ancak diğer ölçütlerde belirgin değişiklik oluşturmadığını göstermiştir. Bu durum, zihinsel yorgunluğun espor performansında tek yönlü bir performans kaybından ziyade oyuncunun deneyimi, oyun türü, görev özellikleri ve kullanılan ölçüm yöntemleriyle etkileşim içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Tilt açısından ise performans bozulmasının yalnızca oyunda yaşanan hata veya mağlubiyetle açıklanamayacağı anlaşılmaktadır. Cregan et al. (2024), uzun oyun süresi ve öfkenin tilt ile ilişkili olduğunu gösterirken, Bonilla et al. (2024) ardışık başarısızlıklar ve takım arkadaşlarının hataları gibi oyun içi stresörlerin tilt deneyiminde önemli rol oynayabileceğini bildirmiştir. Bu nedenle tilt, yalnızca anlık bir öfke tepkisi olarak değil; oyuncunun duygu düzenleme, dikkat kontrolü ve karar verme süreçlerini eş zamanlı etkileyebilecek daha kapsamlı bir performans bozulması olarak değerlendirilmelidir.

Bu iki yapı arasındaki olası bağlantının merkezinde öz-düzenleme kapasitesi yer alıyor olabilir. Uzun süreli bilişsel çabanın dikkat ve bilişsel kontrol kaynaklarını azaltması, oyuncunun hata, kayıp veya provokasyon gibi stresörlere karşı daha etkili tepki vermesini zorlaştırabilir. Bu durumda zihinsel yorgunluk, tilt'in doğrudan nedeni olmaktan çok, oyuncunun tilt'e karşı duyarlılığını artırabilecek bir yatkınlık faktörü olarak düşünülebilir. Cregan et al. (2024) tarafından uzun oyun süresi ile tilt arasında ilişki bildirilmesi bu varsayımla uyumludur; ancak bu ilişkinin zihinsel yorgunluk aracılığıyla ortaya çıkıp çıkmadığı doğrudan test edilmemiştir. Dolayısıyla mevcut kanıtlar nedensel bir model kurmak için yeterli değildir.

Bu teorik bağlantıya dolaylı destek sağlayan bulgulardan biri, ardışık oyunlar boyunca yorgunluk ve olumsuz duygulanımın birlikte artabilmesidir. Mateo-Orcajada et al. (2023), amatör genç oyunculardaoyunlar ilerledikçe yorgunluğun arttığını, mağlubiyet sonrasında ise gerginlik, depresif duygu ve öfkenin daha belirgin hale gelebildiğini göstermiştir. Her ne kadar bu çalışmada tilt doğrudan ölçülmemiş olsa da, bilişsel yük ve olumsuz duygulanımın aynı rekabet süreci içinde birikebileceğini göstermesi açısından önemlidir.

Zihinsel yorgunluk ve tilt'in birlikte değerlendirilmesi, performans düşüşünün nedenlerinin daha doğru ayrıştırılmasına katkı sağlayabilir. Performans kaybının temelinde uzun süreli bilişsel yük bulunuyorsa dinlenme, oyun süresinin yapılandırılması ve bilişsel yük yönetimi daha anlamlı olabilirken; tilt'in baskın olduğu durumlarda duygu düzenleme ve başa çıkma stratejileri ön plana çıkabilir. Espora uyarlanmış başa çıkma eğitiminin psikolojik iyi oluş, dayanıklılık ve algılanan performans üzerinde olumlu etkiler

oluşturabildiğini gösteren bulgular, psikolojik beceri müdahalelerinin espor ortamında uygulanabilirliğini desteklemektedir (Poulus et al., 2023).

Bu süreçlerin yalnızca anlık performans açısından değil, uzun dönemli psikolojik yüklenme açısından da değerlendirilmesi önemlidir. Rekabetçi esporcularda tükenmişlik, zihinsel dayanıklılık ve psikolojik sağlamlık arasında ilişkiler bulunduğu bildirilmiştir (Poulus et al., 2024a, 2024b). Ahn ve Kim (2024) de profesyonel esporcularda tükenmişliğin performans baskısı, aşırı antrenman, kişilerarası sorunlar ve fiziksel-psikolojik tükenme gibi çok sayıda bileşeni içeren özgün bir yapı olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, sürekli zihinsel yorgunluk ve tekrarlayan duygusal performans bozulmalarının uzun vadede daha geniş psikolojik sonuçlarla birlikte incelenmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte mevcut literatürün önemli yöntemsel sınırlılıkları bulunmaktadır. Tilt çalışmalarının önemli bir kısmı öz-bildirim verilerine dayanmakta ve örneklemler çoğunlukla profesyonel esporcularla sınırlı değildir. Zihinsel yorgunluk çalışmalarında ise bazı deneysel araştırmaların örneklem büyüklükleri oldukça düşüktür. Örneğin McMeeken et al. (2026), 12 rekabetçi VALORANT oyuncusuyla yürütülen pilot bir çalışma sunmuştur. Bu nedenle mevcut bulguların farklı oyun türlerine, profesyonel düzeylere ve rekabet koşullarına genellenmesinde dikkatli olunmalıdır.

Oyun türleri arasındaki bilişsel farklılıklar da bu ilişkinin anlaşılmasında önemli olabilir. Mancı et al. (2024), FPS ve MOBA oyuncularının sürdürülebilir dikkat, reaksiyon süresi ve inhibisyon gibi bilişsel özellikler bakımından farklılaşabildiğini göstermiştir. Bu nedenle zihinsel yorgunluğun tilt ve performans üzerindeki etkisinin oyun türüne göre değişmesi mümkündür. FPS oyunlarında hızlı motor tepkiler ve sürekli görsel tarama daha baskınken, MOBA türlerinde uzun süreli stratejik planlama, takım koordinasyonu ve çoklu karar süreçleri daha belirgin olabilir. Dolayısıyla farklı oyun türlerini tek bir "espor" kategorisi altında değerlendirmek bazı özgül etkilerin gözden kaçmasına yol açabilir.

Gelecekteki çalışmaların zihinsel yorgunluk ve tilt'i aynı araştırma modeli içerisinde doğrudan test etmesi bu açıdan önem taşımaktadır. Uzun süreli oyun protokolleri kullanılarak zihinsel yorgunluğun deneysel olarak oluşturulması ve ardından kontrollü hata, mağlubiyet veya stres koşullarında tilt tepkilerinin değerlendirilmesi, iki yapı arasındaki ilişkinin yönünün daha açık biçimde belirlenmesini sağlayabilir. Öznel yorgunluk ve tilt ölçümlerinin reaksiyon süresi, hata oranı, karar doğruluğu, pupilla tepkileri, oyun içi davranışlar ve takım iletişimi gibi objektif göstergelerle birlikte kullanılması daha güçlü kanıtlar üretebilir.

Espor psikolojisinin bilişsel-motor, duygusal ve sosyal süreçlerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu yapısı da bu tür bütüncül modelleri desteklemektedir (Pedraza-Ramirez et al., 2025).

Genel olarak mevcut kanıtlar, zihinsel yorgunluk ve tilt'in espor performansı açısından birbirinden farklı ancak birlikte değerlendirilmesi anlamlı iki psikolojik süreç olduğunu göstermektedir. Bu derlemenin temel kuramsal çıkarımı, zihinsel yorgunluğun öz-düzenleme ve bilişsel kontrol kaynaklarını azaltarak bazı oyuncularda tilt'e karşı duyarlılığı artırabileceği yönündedir. Ancak bu model henüz doğrudan ampirik olarak test edilmediğinden, kesin bir neden-sonuç ilişkisi olarak değil gelecekte sınanması gereken bir hipotez olarak değerlendirilmelidir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derlemede ele alınan bulgular, zihinsel yorgunluk ve tilt'in espor performansı açısından birbirinden farklı ancak birlikte değerlendirilmesi anlamlı iki psikolojik süreç olduğunu göstermektedir. Zihinsel yorgunluk, uzun süreli bilişsel yüklenme sonrasında dikkat, karar verme ve bilişsel kontrol kapasitesindeki azalmayla ilişkiliyken; tilt, hata, mağlubiyet veya diğer oyun içi stresörler sonrasında ortaya çıkan duygusal, bilişsel ve davranışsal bir performans bozulmasını ifade etmektedir.

Mevcut literatür, zihinsel yorgunluk ile tilt arasında doğrudan ve nedensel bir ilişkinin kurulduğunu göstermemektedir. Buna karşın uzun süreli bilişsel yükün dikkat ve öz-düzenleme kaynaklarını azaltarak oyuncuyu hata, kayıp veya provokasyon gibi stresörlere karşı daha duyarlı hale getirebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle zihinsel yorgunluk, tilt'in doğrudan nedeni olarak değil, bazı oyunculardaki tilt'e karşı duyarlılığı artırabilecek olası bir yatkınlık faktörü olarak değerlendirilmelidir.

Uygulama açısından, esporcuların performans yönetiminde yalnızca toplam oyun veya antrenman süresine odaklanılması yeterli olmayabilir. Bilişsel yükün izlenmesi, uzun oyun bloklarının yapılandırılması, planlı dinlenme aralarının kullanılması ve oyuncuların hata sonrasında dikkatlerini yeniden mevcut göreve yönlendirmelerini destekleyen stratejiler önem taşıyabilir. Bununla birlikte bu uygulamaların performans üzerindeki etkilerinin doğrudan kanıtlanabilmesi için daha fazla ampirik çalışmaya ihtiyaç vardır.

Gelecekteki araştırmalarda zihinsel yorgunluk ve tilt'in aynı çalışma modeli içerisinde birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Öznel değerlendirmelerin yanı sıra reaksiyon süresi, karar doğruluğu, hata oranı, isabet yüzdesi, oyun içi performans göstergeleri ve fizyolojik ölçümlerin kullanılması iki yapı arasındaki ilişkinin daha açık biçimde anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca farklı espor türlerinin bilişsel

gereksinimlerinin birbirinden ayrılması ve profesyonel, yarı profesyonel ve amatör oyuncuların ayrı değerlendirilmesi önemlidir.

Sonuç olarak, zihinsel yorgunluk ve tilt espor performansının sürdürülebilirliğini etkileyebilecek iki önemli psikolojik süreçtir. Zihinsel yorgunluğun tilt'e karşı duyarlılığı artırıp artırmadığı henüz yeterince açıklığa kavuşmamıştır. Bu ilişkinin deneysel, boylamsal ve objektif performans göstergeleri içeren çalışmalarla doğrudan test edilmesi, espor psikolojisi literatüründeki önemli bir araştırma boşluğunun giderilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Ahn, H., & Kim, I. (2024). An exploratory study on the conceptualization of burnout among the professional esports athletes: Focused on League of Legends Champions Korea League. Healthcare, 12(11), 1127. https://doi.org/10.3390/healthcare12111127

Bonilla, I., Chamarro, A., Birch, P., Sharpe, B. T., Martín-Castellanos, A., Muriarte, D., & Ventura, C. (2024). Conceptualization and validation of the TILT questionnaire: Relationship with IGD and life satisfaction. Frontiers in Psychology, 15, 1409368. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1409368

Cregan, S. C., Toth, A. J., & Campbell, M. J. (2024). Playing for keeps or just playing with emotion? Studying tilt and emotion regulation in video games. Frontiers in Psychology, 15, 1385242. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1385242

Cregan, S. C., Toth, A. J., & Campbell, M. J. (2025). The psychology of tilt: Understanding tilt and coping strategies in video games. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 28(6), 408–416. https://doi.org/10.1089/cyber.2024.0320

Liao, Y., & Li, Q. (2026). Cognitive stability under increasing load in esports players: Behavioral evidence relevant to fatigue-related performance research. Advanced Exercise and Health Science, 3(2), 146–154. https://doi.org/10.1016/j.aehs.2026.06.001

Luo, Y., Hutchinson, J. C., O'Connell, C. S., & Sha, Y. (2022). Reciprocal effects of esport participation and mental fatigue among Chinese undergraduate students using dynamic structural equation modeling. Psychology of Sport and Exercise, 62, 102251. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102251

Mancı, E., Güdücü, Ç., Günay, E., Güvendi, G., Campbell, M., & Bediz, C. Ş. (2024). The relationship between esports game genres and cognitive performance: A comparison between first-person shooter vs. multiplayer online battle arena games in younger adults. Entertainment Computing, 50, 100640. https://doi.org/10.1016/j.entcom.2024.100640

Mateo-Orcajada, A., Vaquero-Cristóbal, R., Gallardo-Guerrero, A. M., & Abenza-Cano, L. (2023). The impact of videogames on the mood of amateur youth players during consecutive games. Frontiers in Sports and Active Living, 5, 1309918. https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1309918

Matsui, T., Takahashi, S., Ochi, G., Yoshitake, S., Funabashi, D., Matsuoka, H., Kagesawa, J., Dobashi, S., Yoshimoto, H., Sakairi, Y., & Takagi, H. (2024). Cognitive decline with pupil constriction independent of

subjective fatigue during prolonged esports across player expertise levels. Computers in Human Behavior, 156, 108219. https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108219

McMeeken, L., Cormack, S., & Tofari, P. (2026). The effects of mental fatigue in competitive first-person shooter esports players: A pilot study. Journal of Electronic Gaming and Esports, 4(1). https://doi.org/10.1123/jege.2025-0025

Michałkiewicz, N., Strojny, P., & Strojny, A. (2025). The anatomy of rage: Conceptualization, operationalization, and validation of a new measurement scale. Frontiers in Psychiatry, 16, 1648903. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2025.1648903

Pedraza-Ramirez, I., Sharpe, B. T., Behnke, M., Toth, A. J., & Poulus, D. R. (2025). The psychology of esports: Trends, challenges, and future directions. Psychology of Sport and Exercise, 81, 102967. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2025.102967

Poulus, D. R., Bennett, K. J. M., Swann, C., Moyle, G. M., & Polman, R. C. J. (2023). The influence of an esports-adapted coping effectiveness training (E-CET) on resilience, mental health, and subjective performance among elite League of Legends players: A pilot study. Psychology of Sport and Exercise, 69, 102510. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102510

Poulus, D. R., Sargeant, J., Zarate, D., Griffiths, M. D., & Stavropoulos, V. (2024a). Burnout profiles among esports players: Associations with mental toughness and resilience. Journal of Sports Sciences, 42(18), 1685–1694. https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2405794

Poulus, D. R., Sargeant, J., Zarate, D., Griffiths, M. D., & Stavropoulos, V. (2024b). Burnout, resilience, and coping among esports players: A network analysis approach. Computers in Human Behavior, 153, 108139. https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108139

Sharpe, B. T., Besombes, N., Welsh, M. R., & Birch, P. D. J. (2022). Indexing esport performance. Journal of Electronic Gaming and Esports, 1(1), 1–13. https://doi.org/10.1123/jege.2022-0017

Takahashi, S., Kosugi, W., Mizuno, S., & Matsui, T. (2026). Sparkling water consumption mitigates cognitive fatigue during prolonged esports play. Computers in Human Behavior Reports, 21, 100943. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2026.100943

Young, M. G., Poulus, D. R., & Adie, J. M. (2026). Esports, mental toughness, & resilience: Psychological predictors of performance may fall short. Psychology of Sport and Exercise, 82, 103016. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2025.103016

EGZERSİZİN TÜKÜRÜK LİZOZİM KONSANTRASYONU VE SEKRESYON HIZI ÜZERİNE ETKİLERİ: SİSTEMATİK DERLEME VE META-ANALİZ

Dr. Mesut SÜLEYMANOĞULLARI[1]

Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği Bölümü, Ağrı, Türkiye *msuleymanogullari@agri.edu.tr*; https://orcid.org/0000-0001-5867-2844

Özet

Tükürük lizozimi, mukozal antimikrobiyal savunmaya katkı sağlayan önemli bir bileşendir. Ancak egzersize bağlı değişimler, lizozim konsantrasyonu ile sekresyon hızı arasında farklılık gösterebilir. Bu çalışmada, akut ve kronik egzersizin tükürük lizozim konsantrasyonu ve sekresyon hızı ile ilişkileri sentezlenmiştir.

Derlemeye 17 çalışma dahil edilmiş; bunlardan 16'sı, 27 eşleştirilmiş ön test–son test etki büyüklüğü sağlamıştır. Sonuç değişkenleri ayrı ayrı analiz edilmiş ve kısıtlanmış maksimum olabilirlik (Restricted Maximum Likelihood, REML) yöntemiyle tahmin edilen rastgele etkiler modelleri Knapp–Hartung çıkarımı ile uygulanmıştır. Hedges' g hesaplamalarında korelasyon katsayısı r=0,70 olarak varsayılmış; r=0,50 ve r=0,90 değerleri için duyarlılık analizleri yapılmıştır. Heterojenlik, tahmin aralıkları, duyarlılık analizleri, etki analizleri, küçük çalışma etkileri, yanlılık riski ve kanıt kesinliği değerlendirilmiştir.

Akut egzersiz, daha yüksek lizozim konsantrasyonu ile ilişkili bulunmuştur (k=13; g=0,737, %95 güven aralığı 0,088 ile 1,385; p=0,029; I^2=%90,6; tahmin aralığı −1,304 ile 2,777). Birer çalışma dışlanarak yapılan analizlerde etki tahminleri pozitif yönde kalmış ancak üç çalışmanın ayrı ayrı dışlanması sonrasında istatistiksel anlamlılık ortadan kalkmıştır. Akut egzersiz sonrası sekresyon hızında ise belirgin bir birleşik değişim saptanmamıştır (k=10; g=0,182, %95 güven aralığı −0,391 ile 0,756; p=0,490; I^2=%88,8; tahmin aralığı −1,577 ile 1,941). Kronik egzersiz için lizozim konsantrasyonundaki etki pozitif bulunmuştur (k=4; g=0,737, %95 güven aralığı 0,118 ile 1,357; p=0,032; I^2=%61,8; tahmin aralığı −0,426 ile 1,901). Tüm sonuç değişkenleri için kanıt kesinliği çok düşük düzeydedir. Akut egzersiz-konsantrasyon analizinde gözlenen küçük çalışma etkisi sinyali, yayın yanlılığını doğrulamamıştır.

Egzersiz, ortalama tükürük lizozim konsantrasyonunda artışla ilişkili görünürken sekresyon hızı için benzer bir ilişki saptanmamıştır. Yüksek heterojenlik, sıfırı kesen tahmin aralıkları ve duyarlılık analizlerindeki belirsizlikler, bu etkinin evrensel bir immün güçlenmeden ziyade egzersiz koşullarına ve bireysel özelliklere bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: egzersiz immünolojisi; lizozim; mukozal bağışıklık; tükürük; sekresyon hızı.

EKSTERNAL KÖK REZORPSİYONU İLE İLİŞKİLİ İLERİ GİNGİVAL ÇEKİLMENİN MULTİDİSİPLİNER YÖNETİMİ: 1 YILLIK OLGU TAKİBİ

Uzm.Dt., Merve GÜNEY[1]

Uzm.Dt., Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, merveguney2535@gmail.com, 0009-0007-1392-7509

[2]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Özet

Eksternal kök rezorpsiyonuna ileri gingival çekilmenin eşlik ettiği olgularda, dişin ağızda korunmasının yanı sıra periodontal dokuların yeniden yapılandırılması da tedavi planlamasının önemli bir parçasıdır. Bu olgu sunumunun amacı, eksternal kök rezorpsiyonu ve ileri gingival çekilme bulunan maksiller santral kesici dişe uygulanan kombine endodontik ve periodontal tedavinin bir yıllık klinik sonuçlarını sunmaktır.

Yirmi dört yaşındaki kadın hastanın klinik ve radyografik değerlendirmesinde 11 numaralı dişte grimsi renk değişikliği, eksternal kök rezorpsiyonu ve kökün orta üçlüsüne kadar uzanan gingival çekilme belirlendi. İlgili dişte ağrı veya mobilite saptanmadı. Endodontik tedavi kapsamında kök kanal preparasyonunun ardından kanal sistemi mineral trioksit agregat (MTA) kullanılarak dolduruldu. Periodontal tedavi aşamasında Vestibular Incision Subperiosteal Tunnel Access (VISTA) yaklaşımıyla cerrahi saha hazırlandı ve premolar bölgeden elde edilen bağ dokusu grefti tünel içerisine yerleştirildi.

Bir yıllık takip değerlendirmesinde tam kök yüzeyi kapanmasının korunduğu ve periodontal yumuşak dokuların klinik olarak stabil olduğu belirlendi. İlgili dişte ağrı veya mobilite saptanmadı. Tedavi edilen bölgede komşu periodontal dokulara kıyasla artmış yumuşak doku kalınlığı ve daha açık renkli bir görünüm izlendi. Bununla birlikte, hastanın gülümseme sırasında gingival görünürlüğünün sınırlı olması nedeniyle söz konusu renk ve doku farklılığı estetik bir şikâyete neden olmadı.

Bu olgu, ileri gingival çekilmenin eşlik ettiği eksternal kök rezorpsiyonunda endodontik tedavi ile mukogingival cerrahi yaklaşımın birlikte uygulanmasının, seçilmiş olgularda dişin korunması ve kök yüzeyinin örtülmesi açısından uygulanabilir bir tedavi seçeneği olabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Eksternal kök rezorpsiyonu; gingival çekilme; VISTA; bağ dokusu grefti; MTA

MULTIDISCIPLINARY MANAGEMENT OF ADVANCED GINGIVAL RECESSION ASSOCIATED WITH EXTERNAL ROOT RESORPTION: A 1-YEAR CASE FOLLOW-UP

DDS, MSc, Merve GÜNEY[1]

DDS, MSc, Delil DOGAN[2]

[1]Fırat University, Periodontology, merveguney2535@gmail.com, 0009-0007-1392-7509

[2]Fırat University, Periodontology, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Abstract

In cases where external root resorption is accompanied by advanced gingival recession, treatment planning may require not only preservation of the affected tooth but also reconstruction of the periodontal soft tissues. This case report aimed to present the 1-year clinical outcomes of a combined endodontic and periodontal treatment approach for a maxillary central incisor presenting with external root resorption and advanced gingival recession.

A 24-year-old female patient underwent clinical and radiographic examination, which revealed grayish discoloration of the maxillary right central incisor (tooth #11), external root resorption, and gingival recession extending to the middle third of the root. No pain or tooth mobility was detected. Following root canal preparation, the root canal system was obturated with mineral trioxide aggregate (MTA). During the periodontal treatment phase, a tunnel was prepared using the Vestibular Incision Subperiosteal Tunnel Access (VISTA) approach, and a connective tissue graft harvested from the premolar region was positioned within the tunnel.

At the 1-year follow-up, complete root coverage was maintained, and the periodontal soft tissues remained clinically stable. No pain or mobility was detected in the treated tooth. Increased soft-tissue thickness and a lighter tissue appearance were observed at the treated site compared with the adjacent periodontal tissues. However, because gingival display during smiling was limited, these differences in tissue thickness and color did not result in an esthetic concern for the patient.

This case suggests that combining endodontic treatment with a mucogingival surgical approach may represent a feasible treatment option for tooth preservation and root coverage in selected cases of external root resorption associated with advanced gingival recession.

Keywords: External root resorption; gingival recession; VISTA; connective tissue graft; mineral trioxide aggregate.

MANDİBULAR ANTERİOR BÖLGEDE GİNGİVAL ÇEKİLMELERİN SERBEST DİŞ ETİ GREFTİ İLE TEDAVİSİ: 2 YILLIK OLGU TAKİBİ

Uzm.Dt., Merve GÜNEY[1]

Uzm.Dt., Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, merveguney2535@gmail.com, 0009-0007-1392-7509

[2]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Özet

Gingival çekilme, diş eti kenarının mine-sement sınırının apikaline yer değiştirmesiyle karakterize edilen ve dentin hassasiyeti, kök yüzeyinin açığa çıkması ve mukogingival problemlere neden olabilen klinik bir durumdur. Serbest diş eti grefti (SDG), özellikle keratinize doku miktarının yetersiz olduğu bölgelerde keratinize doku genişliğinin artırılması amacıyla kullanılan mukogingival cerrahi yöntemlerden biridir. Bu olgu sunumunda, mandibular anterior bölgede gingival çekilme ve sınırlı keratinize doku varlığında uygulanan SDG'nin iki yıllık klinik sonuçlarının sunulması amaçlandı.

Sistemik olarak sağlıklı, 36 yaşındaki kadın hasta 31 ve 41 numaralı dişler bölgesinde gingival çekilme ve dentin hassasiyeti şikâyetiyle kliniğe başvurdu. Hastanın günde 5–7 adet sigara kullandığı öğrenildi. Başlangıç periodontal değerlendirmesinde sondalamada kanama oranının (BOP) %30'un üzerinde olduğu ve gingivitis ile uyumlu klinik bulguların bulunduğu belirlendi. Klinik ataşman kaybı 31 numaralı dişte 3 mm, 41 numaralı dişte 2 mm olarak ölçülürken, ilgili bölgede keratinize doku genişliği yaklaşık 1 mm idi. Periodontal inflamasyonun kontrol altına alınması amacıyla başlangıç periodontal tedavisi uygulandı. Yeniden değerlendirme sonrasında 31 ve 41 numaralı dişlerin bulunduğu bölgeye SDG uygulandı.

İki yıllık takip değerlendirmesinde her iki dişte de tam kök yüzeyi kapanmasının korunduğu gözlendi. Bu olgu, sınırlı keratinize doku ile ilişkili mandibular anterior gingival çekilmelerin tedavisinde SDG'nin seçilmiş olgularda uzun dönem stabil klinik sonuçlar sağlayabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: Gingival çekilme; serbest diş eti grefti; keratinize doku; kök yüzeyi kapanması; mukogingival cerrahi.

TREATMENT OF GINGIVAL RECESSIONS IN THE MANDIBULAR ANTERIOR REGION WITH A FREE GINGIVAL GRAFT: A 2-YEAR CASE FOLLOW-UP

DDS, MSc, Merve GÜNEY[1]

DDS, MSc, Delil DOGAN[2]

[1]Fırat University, Periodontology, merveguney2535@gmail.com, 0009-0007-1392-7509

[2]Fırat University, Periodontology, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Abstract

Gingival recession is a clinical condition characterized by apical displacement of the gingival margin beyond the cemento-enamel junction and may be associated with dentin hypersensitivity, root surface exposure, and mucogingival problems. Free gingival grafting (FGG) is a mucogingival surgical procedure commonly used to increase the width of keratinized tissue, particularly at sites with an inadequate amount of keratinized tissue. This case report aimed to present the 2-year clinical outcomes of FGG performed for gingival recessions associated with limited keratinized tissue in the mandibular anterior region.

A 36-year-old systemically healthy female patient presented with gingival recession and dentin hypersensitivity in the region of teeth 31 and 41. The patient reported smoking 5–7 cigarettes per day. Initial periodontal examination revealed a bleeding on probing (BOP) score greater than 30% and clinical findings consistent with gingivitis. Clinical attachment loss was 3 mm at tooth 31 and 2 mm at tooth #41, while the width of keratinized tissue in the affected region was approximately 1 mm. Initial periodontal therapy was performed to control periodontal inflammation. Following reevaluation, FGG was performed in the region of teeth 31 and 41.

At the 2-year follow-up, complete root coverage was maintained at both teeth. This case suggests that FGG may provide stable long-term clinical outcomes in selected cases of mandibular anterior gingival recession associated with limited keratinized tissue.

Keywords: Gingival recession; free gingival graft; keratinized tissue; root coverage; mucogingival surgery.

PROTETİK REHABİLİTASYON SONRASI GELİŞEN, PERSİSTAN VE ALVEOLER KEMİK DESTRÜKSİYONU İLE SEYREDEN MANDİBULAR LEZYON: OLGU SUNUMU

Arş. Gör. Dt. , Merve GÜRELİ[1]/ Uzm. Dt. , Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, gurelimerve4@gmail.com, 0009-0001-7633-247X

[2]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Özet

Oral kavitede kronik mekanik irritasyona sekonder gelişen reaktif lezyonlar sıklıkla benign klinik özellikler sergilemekle birlikte, persistan lezyonlarda eşlik eden kemik değişiklikleri tanısal yaklaşımı güçleştirebilmektedir. Bu olgu sunumunun amacı, hareketli parsiyel protez kullanımını takiben gelişen, irritan faktörün ortadan kaldırılmasına rağmen tamamen gerilemeyen ve alveoler kemik destrüksiyonunun eşlik ettiği mandibular bir lezyonun klinik, radyografik ve cerrahi özelliklerini sunmaktır.

Altmış sekiz yaşındaki erkek hasta, mandibular sağ posterior bölgede hareketli parsiyel protez kullanımını engelleyen asemptomatik şişlik nedeniyle kliniğimize başvurdu. Anamnezinde 11 ay önce koroner stent uygulandığı ve asetilsalisilik asit kullandığı belirlendi. Alt hareketli parsiyel protezin kullanımına başlanmasını takiben yaklaşık iki ay içerisinde gelişen lezyonda, protez kullanımına ara verilmesiyle kısmi regresyon izlenmesine rağmen takip eden iki aylık dönemde tam gerileme gözlenmedi. Klinik muayenede mandibular premolar-molar bölgede yumuşak kıvamlı, geniş tabanlı ve periosta fikse lezyon saptandı. Panoramik radyografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi değerlendirmesinde ilgili bölgede düzensiz radyolusent görünüm ile alveoler kemik destrüksiyonu izlendi.

Kardiyoloji konsültasyonu doğrultusunda antiagregan tedavi kesilmeksizin cerrahi işlem gerçekleştirildi. Lezyon çevre yumuşak dokulardan diseke edilerek alveoler kemik yüzeyinden eksize edildi ve ilişkili kemik yüzeyi kürete edildi. Eksize edilen doku örneği histopatolojik değerlendirme amacıyla patoloji laboratuvarına gönderildi.

Protetik rehabilitasyonla zamansal ilişki gösteren oral lezyonlarda irritan faktörün eliminasyonu sonrası persistan seyir ve eşlik eden kemik destrüksiyonu, yalnızca travmatik etiyolojiye dayalı klinik değerlendirmeyi yetersiz kılabilir. Bu olgu, bu tür lezyonlarda ileri radyografik görüntüleme ve histopatolojik doğrulamanın ayırıcı tanıdaki önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Alveoler kemik destrüksiyonu, mandibular lezyon, hareketli parsiyel protez, oral patoloji

MANDIBULAR LESION DEVELOPING FOLLOWING PROSTHETIC REHABILITATION WITH PERSISTENT COURSE AND ALVEOLAR BONE DESTRUCTION: A CASE REPORT

DDS, Merve GURELI[1]/ DDS Msc, Delil DOGAN[2]

[1]Fırat University, Department of Periodontology, gurelimerve4@gmail.com, 0009-0001-7633-247X

[2]Fırat University, Department of Periodontology, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Abstract

Reactive lesions of the oral cavity secondary to chronic mechanical irritation generally exhibit benign clinical characteristics; however, concomitant osseous alterations in persistent lesions may complicate the diagnostic process. This case report aims to present the clinical, radiographic, and surgical features of a mandibular lesion that developed following the use of a removable partial denture, failed to resolve completely despite elimination of the presumed irritative factor, and was accompanied by alveolar bone destruction.

A 68-year-old male patient presented with an asymptomatic swelling in the right posterior mandible that interfered with the use of his removable partial denture. His medical history revealed coronary stent placement 11 months previously and ongoing acetylsalicylic acid therapy. The lesion developed approximately two months after initiation of mandibular removable partial denture use. Although partial regression was observed following discontinuation of the prosthesis, complete resolution did not occur, and the lesion remained stable in size over the subsequent two months. Clinical examination revealed a soft, broad-based lesion fixed to the periosteum in the mandibular premolar–molar region. Panoramic radiography and cone-beam computed tomography demonstrated an irregular radiolucent area associated with alveolar bone destruction.

Following cardiology consultation, surgical intervention was performed without interruption of antiplatelet therapy. The lesion was carefully dissected from the surrounding soft tissues, excised from the underlying alveolar bone surface, and the associated osseous surface was thoroughly curetted. The excised tissue specimen was submitted to the pathology laboratory for histopathological evaluation.

In oral lesions temporally associated with prosthetic rehabilitation, persistence following elimination of the presumed irritative factor, particularly when accompanied by underlying osseous destruction, may warrant investigation beyond a solely trauma-related etiology. This case underscores the importance of advanced radiographic assessment and histopathological examination in establishing an accurate differential diagnosis of persistent oral lesions.

Keywords: Alveolar bone destruction, mandibular lesion, removable partial denture, oral pathology

TRAVMATİK DENTAL YARALANMA SONRASI GELİŞEN PERSİSTAN PERİAPİKAL LEZYONUN KOMBİNE CERRAHİ-ENDODONTİK YÖNETİMİ

Arş. Gör. Dt. , Merve GÜRELİ[1]/ Uzm. Dt. , Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, gurelimerve4@gmail.com, 0009-0001-7633-247X

[2]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Özet

Travmatik dental yaralanmalar, pulpal dolaşımın bozulması ve pulpa nekrozunu takiben apikal periodonsiyumda inflamatuvar patolojilerin gelişimine yol açabilmektedir. Endodontik enfeksiyonun kontrol altına alınamadığı olgularda persistan intrakanal eksüdasyon, kök kanal sisteminin etkin şekilde obturasyonunu engelleyerek tedavi sürecini güçleştirebilir. Özellikle periapikal patolojinin kortikal kemikte perforasyona neden olduğu olgularda, lezyonun üç boyutlu yayılımının değerlendirilmesi ve endodontik tedavinin cerrahi yaklaşımla desteklenmesi gerekebilir. Bu olgu sunumunun amacı, travmatik dental yaralanma sonrası gelişen, persistan pürülan drenaj ve bukkal kortikal perforasyon ile karakterize periapikal lezyonun kombine cerrahi-endodontik yaklaşımla yönetimini sunmaktır.

Sistemik olarak sağlıklı 19 yaşındaki erkek hastada travma öyküsünü takiben 11, 21 ve 22 numaralı dişlerde pulpa nekrozu geliştiği belirlendi. Endodontik tedavi sürecinde 11 ve 22 numaralı dişlerde pürülan drenajın sonlanmasını takiben kök kanal obturasyonları gutaperka ile tamamlandı. Buna karşın 21 numaralı dişte devam eden persistan pürülan drenaj nedeniyle kök kanal obturasyonu gerçekleştirilemedi ve hasta cerrahi değerlendirme amacıyla Periodontoloji Kliniğine yönlendirildi. Panoramik radyografide 21 numaralı dişin apikal bölgesiyle ilişkili radyolusent alan izlenirken, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi incelemesinde 21 ve 22 numaralı dişlerin interproksimal bölgesinde bukkal kortikal bütünlüğün kaybolduğu ve perforasyon geliştiği saptandı. Cerrahi yaklaşım kapsamında 11 numaralı diş bölgesinden 23 numaralı dişin mezialine uzanan tam kalınlık mukoperiostal flep eleve edildi. Mevcut kortikal perforasyon kontrollü olarak genişletilerek periapikal lezyon alanına cerrahi erişim sağlandı ve bölgedeki granülasyon dokuları uzaklaştırılarak kapsamlı debridman gerçekleştirildi. Aynı seansta 21 numaralı dişin kök kanal sistemi mineral trioksit agregat (MTA) ile tamamen obture edildi. Cerrahi saha irrigasyonunu takiben flep anatomik pozisyonuna adapte edilerek 5-0 polipropilen sütür ile primer olarak kapatıldı. Postoperatif takiplerde herhangi bir komplikasyon izlenmeksizin klinik olarak sorunsuz yumuşak doku iyileşmesi gözlendi.

Travma sonrası pulpa nekrozuna sekonder gelişen periapikal patolojilerde persistan intrakanal drenaj ve kortikal kemik perforasyonunun varlığı, konvansiyonel endodontik tedavinin tamamlanmasını güçleştiren klinik

durumlar arasında yer almaktadır. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi, kortikal kemik bütünlüğünün ve lezyonun üç boyutlu yayılımının değerlendirilmesine katkı sağlayarak cerrahi yaklaşımın planlanmasında önemli rol oynayabilir. Bu olgu, konvansiyonel endodontik yaklaşımın persistan drenaj nedeniyle tamamlanamadığı ve kortikal perforasyonun eşlik ettiği seçilmiş olgularda, cerrahi debridman ile eş zamanlı endodontik tedavinin enfeksiyon kontrolünün sağlanması ve komplikasyonsuz iyileşmenin desteklenmesi açısından uygulanabilir bir tedavi yaklaşımı olabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Travmatik dental yaralanma, periapikal lezyon, kortikal perforasyon, mineral trioksit agregat, endodontik cerrahi

COMBINED SURGICAL-ENDODONTIC MANAGEMENT OF A PERSISTENT PERIAPICAL LESION FOLLOWING TRAUMATIC DENTAL INJURY

DDS, Merve GURELI[1]/ DDS Msc, Delil DOGAN[2]

[1]Fırat University, Department of Periodontology, gurelimerve4@gmail.com, 0009-0001-7633-247X

[2]Fırat University, Department of Periodontology, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Abstract

Traumatic dental injuries may compromise pulpal circulation, resulting in pulp necrosis and subsequent development of inflammatory pathologies within the apical periodontium. In cases where endodontic infection cannot be adequately controlled, persistent intracanal exudation may preclude effective obturation of the root canal system and complicate conventional endodontic treatment. Particularly when periapical pathology is associated with cortical bone perforation, three-dimensional assessment of the lesion and adjunctive surgical intervention may be required. This case report aims to present the combined surgical-endodontic management of a post-traumatic periapical lesion characterized by persistent purulent drainage and buccal cortical perforation.

A systemically healthy 19-year-old male patient developed pulp necrosis involving teeth 11, 21, and 22 following a history of dental trauma. During endodontic treatment, root canal obturation of teeth 11 and 22 was completed with gutta-percha after cessation of purulent drainage. In contrast, persistent purulent drainage from tooth 21 precluded completion of root canal obturation, and the patient was referred to the Department of Periodontology for surgical evaluation. Panoramic radiography demonstrated a radiolucent area associated with the apical region of tooth 21, while cone-beam computed tomography revealed loss of buccal cortical integrity with perforation in the interproximal region of teeth 21 and 22. A full-thickness mucoperiosteal flap extending from the region of tooth 11 to the mesial aspect of tooth 23 was elevated. The pre-existing cortical perforation was carefully enlarged to provide surgical access to the periapical lesion, followed by thorough removal of granulation tissue and debridement of the affected area. During the same surgical session, the entire root canal system of tooth #21 was obturated with mineral trioxide aggregate (MTA). Following irrigation of the surgical field, the flap was repositioned and primary closure was achieved using 5-0 polypropylene sutures. Postoperative follow-up revealed uneventful clinical soft-tissue healing without complications.

Persistent intracanal drainage and cortical bone perforation associated with periapical pathology secondary to trauma-induced pulp necrosis may complicate the completion of conventional endodontic treatment. Cone-beam computed tomography facilitates assessment of cortical bone integrity and the three-dimensional extent of

periapical lesions and may contribute substantially to surgical treatment planning. This case demonstrates that, in selected cases where conventional endodontic treatment cannot be completed because of persistent drainage and concomitant cortical perforation, surgical debridement combined with simultaneous endodontic treatment may represent a feasible therapeutic approach for achieving infection control and supporting uneventful healing.
Keywords: Traumatic dental injury, periapical lesion, cortical perforation, mineral trioxide aggregate, endodontic surgery

İMPLANT DESTEKLİ RESTORASYONDA GEÇİCİ ABUTMENT VE KOMPOZİT İLE PERİ-İMPLANT YUMUŞAK DOKU ÇIKIŞ PROFİLİNİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ: OLGU SUNUMU

Delil DOĞAN[1]

[1]Fırat Üniversitesi , Periodontoloji , dlldgn23@gmail.com, ORCID:0009-0003-5606-2817

Özet

Dental implant tedavilerinde uzun dönem başarının sağlanması yalnızca implantın osseointegrasyonu ile sınırlı olmayıp, peri-implant yumuşak dokuların biyolojik ve estetik açıdan uygun şekilde şekillendirilmesini de gerektirmektedir. Özellikle implant destekli restorasyonların doğal diş görünümünü taklit edebilmesi için restorasyonun implant platformundan ağız ortamına uzanan **çıkış profilinin** doğru biçimde oluşturulması önem taşımaktadır. Geçici restorasyonların konturlarının kontrollü ve kademeli olarak düzenlenmesi, peri-implant yumuşak dokuların yönlendirilmesine ve nihai restorasyona uygun, doğal bir çıkış profilinin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Otuz yedi yaşında, sistemik olarak sağlıklı ve sigara kullanmayan kadın hasta, maksiller sol ikinci premolar dişindeki (25 numaralı diş) ileri kron harabiyeti nedeniyle kliniğimize başvurdu. Yapılan klinik ve radyografik değerlendirmeler sonucunda ilgili dişin prognozunun olumsuz olduğu değerlendirilerek çekim endikasyonu konuldu. Diş çekimini takiben aynı seansta çekim soketine dental implant yerleştirildi ve implant çevresindeki rezidüel boşlukların augmentasyonu amacıyla ksenogreft uygulandı. İmplant yerleştirilmesinin ardından peri-implant yumuşak dokuların anatomik olarak şekillendirilmesi ve uygun bir çıkış profilinin oluşturulması amacıyla geçici abutment yerleştirildi ve kompozit rezin kullanılarak bireyselleştirildi. Geçici abutment ağız dışında çıkarılarak kompozit yüzeylerin konturlaması, düzeltilmesi ve polisajı gerçekleştirildikten sonra implant üzerine yeniden yerleştirildi. Cerrahi işlem sonrasında hastaya uygun postoperatif medikasyon ve bakım önerileri verildi ve düzenli klinik kontrollerle iyileşme süreci takip edildi. Dört aylık iyileşme döneminin sonunda implant çevresindeki yumuşak dokuların oluşturulan çıkış profiline uyum gösterdiği ve klinik olarak uygun peri-implant doku mimarisinin elde edildiği gözlendi. Osseointegrasyon ve yumuşak doku iyileşmesinin tamamlanmasının ardından hasta, implant üstü daimi protetik restorasyonunun gerçekleştirilmesi amacıyla Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalına yönlendirildi.

Çekimle eş zamanlı implant uygulamalarında, iyileşme sürecinin protetik gereksinimlere uygun şekilde yönlendirilmesi önemlidir. Geçici abutmentın kompozit rezin ile bireyselleştirilmesi, peri-implant yumuşak dokuların istenilen konturlarda şekillendirilmesine katkı sağlayabilir. Bu olgu, bireyselleştirilmiş geçici

abutment kullanımının nihai protetik restorasyon öncesinde uygun peri-implant doku mimarisinin oluşturulmasında uygulanabilir bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: İmmediat implant, çıkış profili, geçici abutment ,peri-implant yumuşak doku

SHAPING THE PERI-IMPLANT SOFT-TISSUE EMERGENCE PROFILE WITH A TEMPORARY ABUTMENT AND COMPOSITE RESIN IN AN IMPLANT-SUPPORTED RESTORATION: A CASE REPORT

Delil DOĞAN[1]

[1]Fırat University, Deparment of Periodontology, dlldgn23@gmail.com, ORCID: 0009-0003-5606-2817

Abstract

The long-term success of dental implant treatment depends not only on implant osseointegration but also on the biologically and esthetically appropriate shaping of the peri-implant soft tissues. In particular, proper development of the emergence profile, extending from the implant platform into the oral cavity, is essential for implant-supported restorations to mimic the appearance of natural teeth. Controlled and gradual modification of the contours of provisional restorations allows the peri-implant soft tissues to be guided and facilitates the establishment of a natural emergence profile suitable for the definitive restoration.

A 37-year-old systemically healthy, non-smoking female patient presented to our clinic with extensive coronal destruction of the maxillary left second premolar (tooth 25). Following clinical and radiographic evaluation, the prognosis of the tooth was considered unfavorable, and extraction was indicated. Immediately after extraction, a dental implant was placed into the extraction socket, and the residual peri-implant gaps were augmented with a xenograft. Following implant placement, a temporary abutment was positioned and individualized with composite resin to shape the peri-implant soft tissues and establish an appropriate emergence profile. The temporary abutment was removed extraorally, and the composite surfaces were contoured, refined, and polished before being repositioned on the implant. Appropriate postoperative medication and care instructions were provided, and healing was monitored through regular clinical follow-up. After a four-month healing period, the peri-implant soft tissues demonstrated adaptation to the established emergence profile, with clinically favorable peri-implant tissue architecture. Following completion of osseointegration and soft-tissue healing, the patient was referred to the Department of Prosthodontics for definitive implant-supported prosthetic rehabilitation.

In immediate implant placement, it is important to guide the healing process according to prosthetic requirements. Individualization of the temporary abutment with composite resin may contribute to shaping the peri-implant soft tissues into the desired contours. This case demonstrates that the use of an individualized temporary abutment is a feasible approach for establishing an appropriate peri-implant tissue architecture prior to definitive prosthetic restoration.

Keywords: Immediate implant, emergence profile, temporary abutment , peri-implant soft tissue

BUKKAL MUKOZADA LOKALİZE İRRİTASYON FİBROMUNUN EKSİZYONEL YAKLAŞIMLA YÖNETİMİ: OLGU SUNUMU

Delil DOĞAN[1]

[1]Fırat Üniversitesi , Periodontoloji , dlldgn23@gmail.com, ORCID:0009-0003-5606-2817

Özet

Oral mukozada görülen yumuşak doku lezyonları; travma, kronik irritasyon ve çeşitli lokal faktörlere bağlı olarak gelişebilmektedir. Bukkal mukoza, mekanik etkenlere sık maruz kalması nedeniyle reaktif lezyonların görülebildiği bölgelerden biridir. Bu lezyonların klinik değerlendirilmesi ve uygun cerrahi yaklaşımla uzaklaştırılması, sağlıklı doku bütünlüğünün yeniden sağlanması açısından önem taşımaktadır.

Elli altı yaşında, hipertansiyon öyküsü bulunan ve sigara kullanan hasta, bukkal mukozada lokalize lezyon nedeniyle kliniğimize başvurdu. Klinik değerlendirmede lezyonun ağrı ve kanama ile ilişkili olmadığı belirlendi. Anamnez ve klinik bulgular doğrultusunda lezyonun kronik mekanik irritasyona, özellikle tekrarlayan yanak ısırma alışkanlığına bağlı gelişmiş olabileceği düşünüldü. Lezyonun lokalizasyonu ve klinik özellikleri değerlendirilerek eksizyonel cerrahi yaklaşım planlandı. Lokal anestezi altında lezyon çevre dokulardan dikkatli bir şekilde ayrılarak tamamen eksize edildi. Cerrahi alanın kontrolünün ardından yara kenarları primer olarak yaklaştırılarak sütüre edildi. Hastaya postoperatif döneme ilişkin bakım önerileri verildi ve uygun medikasyon düzenlendi. Takip kontrollerinde cerrahi bölgenin iyileşmesi klinik olarak değerlendirildi ve iyileşme sürecinin komplikasyonsuz şekilde ilerlediği gözlendi.

Bukkal mukozada kronik irritasyona bağlı gelişen reaktif lezyonların yönetiminde, etiyolojik faktörlerin belirlenmesi ve uygun tedavi yaklaşımının uygulanması önemlidir. Eksizyonel cerrahi, lokalize lezyonların tamamen uzaklaştırılmasına ve doku bütünlüğünün yeniden sağlanmasına olanak sağlayabilir. Bu olgu, bukkal mukozada gelişen fibrotik bir lezyonun eksizyonel yaklaşımla başarılı bir şekilde yönetilebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Bukkal mukoza, irritasyon fibromu, eksizyonel cerrahi, reaktif lezyon

MANAGEMENT OF LOCALIZED IRRITATION FIBROMA OF THE BUCCAL MUCOSA USING AN EXCISIONAL APPROACH: A CASE REPORT

Delil DOĞAN[1]

[1]Fırat University, Department of Periodontology, dlldgn23@gmail.com, ORCID: 0009-0003-5606-2817

Abstract

Soft tissue lesions of the oral mucosa may develop as a result of trauma, chronic irritation, and various local factors. The buccal mucosa is one of the regions where reactive lesions may occur due to frequent exposure to mechanical factors. Clinical evaluation and removal of these lesions using an appropriate surgical approach are important for restoring healthy tissue integrity.

A 56-year-old patient with a history of hypertension and smoking presented to our clinic with a localized lesion of the buccal mucosa. Clinical examination revealed that the lesion was not associated with pain or bleeding. Based on the patient's history and clinical findings, the lesion was considered to be related to chronic mechanical irritation, particularly repetitive cheek biting. Considering the localization and clinical characteristics of the lesion, an excisional surgical approach was planned. Under local anesthesia, the lesion was carefully separated from the surrounding tissues and completely excised. After inspection of the surgical site, the wound margins were primarily approximated and sutured. Postoperative care instructions were provided, and appropriate medication was prescribed. During follow-up visits, healing of the surgical site was clinically evaluated and was observed to progress without complications.

Identification of etiological factors and selection of an appropriate treatment approach are important in the management of reactive lesions of the buccal mucosa associated with chronic irritation. Excisional surgery may allow complete removal of localized lesions and restoration of tissue integrity. This case demonstrates that a fibrotic lesion of the buccal mucosa can be successfully managed using an excisional approach.

Keywords: Buccal mucosa, irritation fibroma, excisional surgery, reactive lesion

AKUT GİNGİVAL APSENİN CERRAHİ OLMAYAN YÖNETİMİ: DRENAJ VE MEKANİK DEBRİDMAN İLE KLİNİK İYİLEŞME

Ahmet Mehdi SEMUR[1] ,Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, mehdi.semur@gmail.com, ORCID:0009-0006-9670-5620

[2]Fırat Üniversitesi , Periodontoloji , dlldgn23@gmail.com, ORCID:0009-0003-5606-2817

Özet

Gingival apseler, gingival dokularda lokalize enfeksiyon sonucunda gelişen ve ağrı, şişlik ve eritem gibi akut inflamatuvar bulgularla karakterize lezyonlardır. Enfeksiyon odağının ortadan kaldırılması ve lokal periodontal tedavinin uygulanması, klinik semptomların kontrol altına alınması ve periodontal dokuların iyileşmesi açısından önem taşımaktadır. Bu olgu sunumunun amacı, lokalize bir gingival apsenin drenaj ve mekanik periodontal tedavi ile yönetimini sunmaktır.

Yirmi üç yaşındaki, sistemik olarak sağlıklı kadın hasta, 35 ve 36 numaralı dişler arasındaki lingual bölgede ağrı, şişlik ve kızarıklık şikâyetiyle kliniğimize başvurdu. Klinik muayenede ilgili bölgede lokalize şişlik, eritem ve ağrı ile karakterize gingival apse tespit edildi. Lezyonun tedavisi amacıyla öncelikle apse drenajı gerçekleştirildi. Ardından ilgili bölgedeki periodontal dokuların mekanik olarak debride edilmesi amacıyla 9–10 ve 11–12 numaralı gracey küretler kullanılarak küretaj işlemi uygulandı. İşlem sonrasında hastaya ilgili bölgedeki ağrı ve rahatsızlığın kontrolü amacıyla analjezik reçete edildi.

Bir hafta sonraki kontrol muayenesinde hastanın başlangıçta mevcut olan ağrı, şişlik ve kızarıklık şikâyetlerinin tamamen ortadan kalktığı gözlendi. Klinik değerlendirmede ilgili bölgede iyileşmenin sağlandığı ve patolojik periodontal cep bulunmadığı tespit edildi. Bu olgu, lokalize gingival apsenin tedavisinde uygun drenaj ve mekanik periodontal debridmanın, enfeksiyonun kontrol altına alınması ve klinik iyileşmenin sağlanması açısından etkili bir yaklaşım olabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Gingival apse, apse drenajı, mekanik debridman, periodontal küretaj, periodontal tedavi

NON-SURGICAL MANAGEMENT OF ACUTE GINGIVAL ABSCESS: CLINICAL HEALING FOLLOWING DRAINAGE AND MECHANICAL DEBRIDEMENT

Ahmet Mehdi SEMUR[1] ,Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat University, Department of Periodontology, mehdi.semur@gmail.com, ORCID:0009-0006-9670-5620

[2]Fırat University , Department of Periodontology , dlldgn23@gmail.com,

ORCID:0009-0003-5606-2817

Abstract

Gingival abscesses are localized infections of the gingival tissues characterized by acute inflammatory findings such as pain, swelling, and erythema. Elimination of the infectious focus and appropriate local periodontal treatment are essential for controlling clinical symptoms and facilitating periodontal tissue healing. This case report aimed to present the clinical management of a localized gingival abscess using drainage and mechanical periodontal treatment.

A 23-year-old systemically healthy female patient presented to our clinic with pain, swelling, and erythema in the lingual region between teeth #35 and #36. Clinical examination revealed a localized gingival abscess characterized by swelling, erythema, and pain in the affected region. Drainage of the abscess was initially performed. Subsequently, mechanical debridement of the periodontal tissues was carried out using Gracey curettes #9–10 and #11–12. Following the procedure, analgesic medication was prescribed to alleviate pain and discomfort associated with the affected area.

At the one-week follow-up examination, the patient's initial symptoms of pain, swelling, and erythema had completely resolved. Clinical evaluation revealed favorable healing of the affected region, with no evidence of a pathological periodontal pocket. This case demonstrates that appropriate drainage combined with mechanical periodontal debridement may represent an effective approach for controlling localized gingival abscesses and promoting clinical resolution of the associated inflammatory findings.

Keywords: Gingival abscess, abscess drainage, mechanical debridement, periodontal curettage, periodontal treatment

TAM DİŞSİZ HASTADA MAKSİLLA VE MANDİBULADA EŞ ZAMANLI ALVEOLOPLASTİ: OLGU SUNUMU

Ahmet Mehdi SEMUR[1] ,Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, mehdi.semur@gmail.com, ORCID:0009-0006-9670-5620

[2]Fırat Üniversitesi , Periodontoloji , dlldgn23@gmail.com, ORCID:0009-0003-5606-2817

Özet

Alveoler kret morfolojisi, tam dişsiz hastalarda protetik rehabilitasyonun başarısını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Diş çekimleri sonrasında alveoler krette meydana gelen düzensizlikler ve keskin kemik konturları, protezlerin uyumunu ve stabilitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Alveoloplasti, alveoler kretin yeniden şekillendirilmesini ve daha düzgün bir kemik konturunun oluşturulmasını sağlayarak protetik rehabilitasyon için uygun bir anatomik ortam oluşturmayı amaçlayan cerrahi bir yaklaşımdır. Bu olgu sunumunun amacı, maksilla ve mandibulada eş zamanlı gerçekleştirilen alveoloplastinin klinik yönetimini sunmaktır.

Altmış yaşındaki, hipertansiyon dışında herhangi bir sistemik hastalığı bulunmayan hasta, protetik rehabilitasyon öncesinde alveoler kretlerin değerlendirilmesi amacıyla kliniğimize başvurdu. Hastanın maksiller ve mandibular dişlerinin yaklaşık 3–5 ay önce çekilmiş olduğu öğrenildi. Klinik değerlendirmede her iki çenede alveoler kretlerde düzensiz kemik konturları ve protetik rehabilitasyonu olumsuz etkileyebilecek kemik düzensizlikleri saptandı. Klinik ve radyografik değerlendirmeler sonucunda, protetik tedaviye uygun alveoler kret morfolojisinin oluşturulması amacıyla maksilla ve mandibulada aynı seansta alveoloplasti yapılmasına karar verildi. Cerrahi işlem sırasında alveoler kretler dikkatli bir şekilde değerlendirilerek düzensiz ve protetik rehabilitasyonu olumsuz etkileyebilecek kemik çıkıntıları uzaklaştırıldı. Kemik konturları düzenlenerek daha düzgün ve fizyolojik bir alveoler kret formu oluşturuldu.

Postoperatif takiplerde cerrahi bölgelerde iyileşmenin olumlu seyrettiği ve alveoler kret konturlarının protetik rehabilitasyon açısından daha uygun hale geldiği gözlendi. Bu olgu, uzun süre önce gerçekleştirilmiş diş çekimleri sonrasında devam eden alveoler kret düzensizliklerinin giderilmesinde, maksilla ve mandibulada eş zamanlı alveoloplasti uygulanmasının protetik rehabilitasyon öncesinde uygun bir cerrahi yaklaşım olabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Alveoloplasti, alveoler kret , tam dişsizlik, protetik rehabilitasyon, kemik konturlamai

SIMULTANEOUS ALVEOLOPLASTY OF THE MAXILLA AND MANDIBLE IN A COMPLETELY EDENTULOUS PATIENT: A CASE REPORT

Ahmet Mehdi SEMUR[1] , Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat University, Department of Periodontology, mehdi.semur@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9670-5620

[2]Fırat University , Department of Periodontology , dlldgn23@gmail.com, ORCID:0009-0003-5606-2817

Abstract

Alveolar ridge morphology is an important factor influencing the success of prosthetic rehabilitation in completely edentulous patients. Irregularities and sharp bony contours that may develop following tooth extraction can adversely affect prosthesis adaptation and stability. Alveoloplasty is a surgical approach aimed at reshaping the alveolar ridge and establishing a smooth and functional bony contour, thereby providing a suitable anatomical foundation for prosthetic rehabilitation. This case report aimed to present the clinical management of simultaneous alveoloplasty performed in both the maxilla and mandible.

A 60-year-old patient with hypertension as the only known systemic condition was referred to our clinic for evaluation of the alveolar ridges prior to prosthetic rehabilitation. The patient's maxillary and mandibular teeth had been extracted approximately 3–5 months previously. Clinical examination revealed irregular bony contours of the alveolar ridges in both jaws, including bony irregularities that could adversely affect prosthetic rehabilitation. Following clinical and radiographic evaluation, simultaneous alveoloplasty of the maxilla and mandible was planned to establish a more favorable alveolar ridge morphology for prosthetic treatment. During the surgical procedure, the alveolar ridges were carefully evaluated, and irregular bony prominences that could compromise prosthetic rehabilitation were removed. The bony contours were subsequently recontoured to establish a smoother and more physiologic alveolar ridge morphology.

Postoperative follow-up revealed favorable healing of the surgical sites and more favorable alveolar ridge contours for subsequent prosthetic rehabilitation. This case demonstrates that simultaneous alveoloplasty of the maxilla and mandible may represent an appropriate surgical approach for correcting persistent alveolar ridge irregularities following tooth extraction and establishing more favorable anatomical conditions prior to prosthetic rehabilitation.

Keywords: Alveoloplasty, alveolar ridge, complete edentulism, prosthetic rehabilitation, bone recontouring

KANAL TEDAVİSİ SONRASI PERSİSTAN PERİAPİKAL LEZYONDA KOMBİNE CERRAHİ YAKLAŞIM: APİKAL REZEKSİYON VE RETROGRAD DOLGU

Emre ARSLAN[1]

Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, e_arslan@firat.edu.tr **, 0009-0003-0295-9186**

[2]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, dlldgn23@gmail.com**, 0009-0003-5606-2817**

Özet

Endodontik tedavi uygulanmış dişlerde persistan periapikal lezyonların devam etmesi, bazı olgularda cerrahi endodontik tedavi gereksinimi doğurabilmektedir. Apikal rezeksiyon, enfekte veya patolojik periapikal dokuların uzaklaştırılmasının yanı sıra kök ucunun rezeke edilerek apikal sızdırmazlığın sağlanmasını amaçlayan cerrahi bir tedavi yaklaşımıdır. Bu olgu sunumunun amacı, daha önce kök kanal tedavisi uygulanmış bir dişte gelişen periapikal lezyonun apikal rezeksiyon ve retrograd dolgu ile tedavisini sunmaktır.

Yirmi bir yaşındaki, herhangi bir sistemik hastalığı bulunmayan hasta, 22 numaralı dişte tespit edilen periapikal lezyon nedeniyle kliniğimize başvurdu. Klinik ve radyografik değerlendirmede, daha önce kök kanal tedavisi uygulanmış olan 22 numaralı dişin apikal bölgesinde periapikal lezyon saptandı. İlgili dişe cerrahi tedavi uygulanmasına karar verildi. Cerrahi işlem sırasında kök ucunun apikal rezeksiyonu gerçekleştirildi ve periapikal patolojik dokular uzaklaştırıldı. Rezeksiyonun ardından kök ucunda retrograd kavite hazırlandı ve apikal sızdırmazlığın sağlanması amacıyla Mineral Trioxide Aggregate (MTA) ile retrograd dolgu gerçekleştirildi. Cerrahi saha uygun şekilde düzenlenerek postoperatif takip planlandı.

Postoperatif takiplerde cerrahi bölgede iyileşmenin olumlu seyrettiği ve ilgili dişin klinik olarak fonksiyonunu sürdürdüğü gözlendi. Bu olgu, daha önce kök kanal tedavisi uygulanmış dişlerde persistan periapikal lezyonların yönetiminde apikal rezeksiyon ve retrograd MTA dolgu uygulamasının, periapikal patolojinin uzaklaştırılması ve apikal sızdırmazlığın sağlanması amacıyla uygulanabilir bir cerrahi tedavi yaklaşımı olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Apikal rezeksiyon; periapikal lezyon; retrograd dolgu; Mineral Trioxide Aggregate; apikal cerrahi

COMBİNED SURGİCAL APPROACH TO A PERSİSTENT PERİAPİCAL LESİON FOLLOWİNG ROOT CANAL TREATMENT: APİCAL RESECTİON AND RETROGRADE FİLLİNG

Emre ARSLAN[1]

Delil DOĞAN2

[1]Fırat University, Department of Periodontology, e_arslan@firat.edu.tr**, 0009-0003-0295-9186**

[2]Fırat University, Department of Periodontology, dlldgn23@gmail.com**, 0009-0003-5606-2817**

Abstract

The persistence of periapical lesions in endodontically treated teeth may necessitate surgical endodontic treatment in selected cases. Apical resection is a surgical treatment approach aimed at removing infected or pathological periapical tissues, as well as resecting the root apex to achieve an adequate apical seal. The aim of this case report was to present the treatment of a periapical lesion that developed in a previously root canal-treated tooth using apical resection and retrograde filling.

A 21 year old systemically healthy patient was referred to our clinic with a periapical lesion associated with tooth 22. Clinical and radiographic examination revealed a periapical lesion at the apical region of tooth 22, which had previously undergone root canal treatment. Surgical treatment was planned for the affected tooth. During the surgical procedure, apical resection was performed, and the periapical pathological tissues were removed. Following root-end resection, a retrograde cavity was prepared, and Mineral Trioxide Aggregate (MTA**)** was used as the retrograde filling material to achieve an adequate apical seal. The surgical site was appropriately managed, and postoperative follow-up was scheduled.

During the postoperative follow-up period, favorable healing of the surgical site was observed, and the affected tooth remained clinically functional. This case demonstrates that apical resection combined with retrograde MTA filling may represent a viable surgical treatment approach for the management of persistent periapical lesions in previously root canal-treated teeth, with the aims of removing periapical pathology and achieving an adequate apical seal.

Keywords: Apical resection; periapical lesion; retrograde filling; Mineral Trioxide Aggregate; endodontic surgery.

EPULİS EKSİZYONU VE EŞ ZAMANLI VESTİBÜLOPLASTİ İLE YUMUŞAK DOKU YÖNETİMİ: OLGU SUNUMU

Emre ARSLAN[1]

Delil DOĞAN[2]

[1]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, e_arslan@firat.edu.tr , 0009-0003-0295-9186

[2]Fırat Üniversitesi, Periodontoloji, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Özet

Epulis, gingival veya alveoler mukozada lokalize olarak gelişebilen, farklı etiyolojik faktörlerle ilişkili reaktif proliferatif lezyonları tanımlamak için kullanılan klinik bir terimdir. Lezyonun tamamen uzaklaştırılması, lokal irritanların eliminasyonu ve bölgedeki yumuşak dokuların fonksiyonel olarak yeniden düzenlenmesi tedavi planlamasının temel unsurlarındandır. Özellikle geniş hacimli lezyonların eksizyonu sonrasında oluşan yumuşak doku değişiklikleri ve yetersiz vestibüler derinlik, bölgenin fonksiyonel ve protetik rehabilitasyonunu olumsuz etkileyebilmektedir. Bu olgu sunumunun amacı, epulis eksizyonunu takiben uygulanan vestibüloplasti ile bölgedeki yumuşak dokuların yeniden şekillendirilmesini ve vestibüler derinliğin artırılmasını sunmaktır.

Elli altı yaşındaki, herhangi bir sistemik hastalığı bulunmayan hasta, lokalize gingival/alveoler mukozal büyüme şikâyeti ile kliniğimize başvurdu. Klinik muayenede ilgili bölgede epulis ile uyumlu yumuşak doku proliferasyonu ve bölgesel vestibüler yetersizlik değerlendirildi. Klinik ve radyografik değerlendirmeler sonucunda lezyonun cerrahi olarak eksize edilmesine ve vestibüler derinliğin artırılması amacıyla vestibüloplasti uygulanmasına karar verildi. Cerrahi işlem sırasında lezyon çevre dokulardan dikkatlice ayrılarak tamamen eksize edildi ve elde edilen materyal histopatolojik inceleme amacıyla gönderildi. Eksizyonun ardından ilgili bölgede vestibüler derinliğin artırılması ve hareketli mukozanın yeniden konumlandırılması amacıyla vestibüloplasti gerçekleştirildi.

Postoperatif takiplerde cerrahi bölgede iyileşmenin olumlu seyrettiği, vestibüler derinliğin artırıldığı ve yumuşak dokuların yeni pozisyonlarına adapte olduğu gözlendi. Bu olgu, epulis eksizyonunun vestibüloplasti ile kombine edilmesinin, patolojik dokunun uzaklaştırılmasının yanı sıra bölgesel yumuşak doku koşullarının iyileştirilmesi ve fonksiyonel bir vestibüler anatominin oluşturulması açısından uygulanabilir bir tedavi yaklaşımı olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Epulis; vestibüloplasti; yumuşak doku cerrahisi; periodontal cerrahi

EPULIS EXCISION AND SIMULTANEOUS VESTIBULOPLASTY FOR SOFT TISSUE MANAGEMENT: A CASE REPORT

Emre ARSLAN[1]
Delil DOĞAN[2]
[1]Fırat University, Department of Periodontology, e_arslan@firat.edu.tr, 0009-0003-0295-9186
[2]Fırat University, Department of Periodontology, dlldgn23@gmail.com, 0009-0003-5606-2817

Abstract

Epulis is a clinical term used to describe localized reactive proliferative lesions that may develop in the gingiva or alveolar mucosa and may be associated with various etiological factors. Complete removal of the lesion, elimination of local irritants, and functional reorganization of the surrounding soft tissues are fundamental components of treatment planning. Particularly following the excision of large lesions, soft tissue alterations and inadequate vestibular depth may adversely affect the functional and prosthetic rehabilitation of the affected region. This case report aimed to present the reshaping of the soft tissues and enhancement of vestibular depth through vestibuloplasty performed following epulis excision.

A 56-year-old patient with no systemic disease presented to our clinic with a localized gingival/alveolar mucosal enlargement. Clinical examination revealed a localized soft tissue proliferation consistent with epulis and inadequate vestibular depth in the affected region. Following clinical and radiographic evaluations, surgical excision of the lesion and vestibuloplasty to increase vestibular depth were planned. During the surgical procedure, the lesion was carefully separated from the surrounding tissues and completely excised, and the excised specimen was submitted for histopathological examination. Following excision, vestibuloplasty was performed to increase vestibular depth and reposition the movable mucosa in the affected region.

Postoperative follow-up revealed favorable healing of the surgical site, increased vestibular depth, and adaptation of the soft tissues to their new position. This case demonstrates that combining epulis excision with vestibuloplasty may represent a feasible treatment approach not only for removal of the pathological tissue but also for improving the regional soft tissue conditions and establishing a functional vestibular anatomy.

Keywords: Epulis; vestibuloplasty; soft tissue surgery; periodontal surgery

AN INTERVAL-WIDTH-SENSITIVE ENTROPY AND GAINED–LOST DOMINANCE MODEL FOR CYBERSECURITY SOFTWARE SELECTION

Adem YOLCU[1]/ Taha Yasin ÖZTÜRK[2]

[1]Department of Mathematics, Kafkas University, Kars, Türkiye, yolcu.adem@gmail.com, 0000-0002-4317-652X

[2] Department of Mathematics, Kafkas University, Kars, Türkiye, taha36100@hotmail.com 0000-0003-2402-6507

Abstract

Cybersecurity software selection involves simultaneous consideration of detection capability, cost, compatibility, usability, software updates, and technical support. These criteria are commonly assessed through incomplete and imprecise expert judgments. This study proposes a concise decision model that combines interval-valued neutrosophic soft evaluations, Shannon entropy weighting, an interval-width adjustment, and a simplified gained–lost dominance procedure. Each evaluation is represented by truth, indeterminacy, and falsity intervals and converted into a scalar value through a transparent score function. The conventional entropy contributions are then discounted according to the mean interval width of each criterion before being renormalized. The adjusted weights are used in a transparent score-matrix procedure inspired by the gained–lost dominance logic of the GLDS method. A numerical illustration with four anonymized cybersecurity software alternatives and five criteria is provided. The proposed adjustment reduces the influence of the criterion with the widest intervals and produces the ranking $A_3 \succ A_2 \succ A_4 \succ A_1$. The data are hypothetical, and no empirical superiority claim is made for any real product. The contribution is deliberately limited to a simple interval-imprecision-sensitive correction of objective criterion weights.

Keywords: cybersecurity software selection; interval-valued neutrosophic soft set; entropy weighting; interval width; gained–lost dominance; multi-criteria decision making

1. Introduction

Cybersecurity investment and software procurement require the comparison of alternatives across technical, economic, and operational dimensions. Detection performance alone is not sufficient because an organization must also consider affordability, compatibility with existing infrastructure, usability, and software updates and technical support. The NIST Cybersecurity Framework 2.0 emphasizes the need to assess, prioritize, and communicate cybersecurity outcomes in a manner compatible with organizational context and risk management processes [12]. Recent research also shows that multi-criteria decision-making (MCDM) methods are used in cybersecurity solution selection and antivirus software evaluation problems [13, 14].

Expert assessments in cybersecurity procurement are rarely exact. A product may have high expected detection capability but uncertain behavior against emerging threats; compatibility may depend on heterogeneous system configurations; and support quality may vary over time. Soft sets, introduced by Molodtsov [1], provide a parameterized representation of uncertain information. Neutrosophic sets represent truth, indeterminacy, and falsity independently, while interval neutrosophic sets use intervals rather than precise grades [2]. Deli combined interval-valued neutrosophic information with soft-set parameterization and developed interval-valued neutrosophic soft sets for decision analysis [3].

Objective weighting methods are useful when decision makers do not wish to impose subjective criterion weights. Shannon entropy provides the information-theoretic basis, while its use for objective criterion weighting in MCDM follows the dispersion-based procedure commonly reported in the decision-analysis literature [5, 4]. However, entropy weighting only uses dispersion in the scalar decision matrix; it does not directly account for imprecision in the original interval-valued assessments. This omission is important because a highly dispersed criterion can still be supported by wide and weakly informative intervals. Moreover, the rationality and sensitivity of entropy weighting have been questioned in the literature, which reinforces the need to interpret entropy weights cautiously rather than as inherent criterion importance [10, 11].

The GLDS method is an outranking approach based on gained and lost dominance information and has been developed in several fuzzy and linguistic environments [6, 7, 8, 9]. The concise procedure used here does not claim to reproduce every element of the original probabilistic-linguistic GLDS formulation. Instead, it adopts its central gained–lost dominance rationale on a normalized scalar matrix. It is therefore described as a *simplified gained–lost dominance procedure*, rather than as a complete implementation or neutrosophic reconstruction of GLDS.

The main contribution is a simple interval-width-sensitive correction of entropy weights. Let w_j be the entropy weight and W_j the mean interval width of criterion C_j. The adjusted weight is

$$w_j^* = \frac{w_j(1-W_j)}{\sum_{k=1}^{n} w_k(1-W_k)}. \quad (1)$$

Thus, a larger interval width reduces the criterion's unnormalized contribution $w_j(1-W_j)$, after which the contributions are renormalized so that $\sum_j w_j^* = 1$. The study is intentionally compact: no optimistic–pessimistic scenarios, external benchmark comparisons, or brand-specific claims are included.

2. Preliminaries

2.1 Interval-valued neutrosophic soft evaluations

Following Molodtsov [1], a soft set over X is a parameterized mapping. In the interval-valued neutrosophic setting of Deli [3], an interval-valued neutrosophic soft set can be represented by a mapping $\mathcal{F}: E \to IVNS(X)$, where $IVNS(X)$ denotes the family of interval-valued neutrosophic sets on X. Thus, each criterion acts as a soft parameter and $\mathcal{F}(C_j)$ assigns an interval-valued neutrosophic evaluation to every alternative.

Let $X = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ be a set of alternatives and $E = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ a set of parameters or criteria. Following the interval-valued neutrosophic framework of Wang et al. [2] and its soft-set extension by Deli [3], an evaluation of alternative A_i under criterion C_j is written as

$$\tilde{x}_{ij} = \langle [T_{ij}^L, T_{ij}^U], [I_{ij}^L, I_{ij}^U], [F_{ij}^L, F_{ij}^U] \rangle, \quad (2)$$

where the three intervals are subsets of $[0,1]$ and represent truth, indeterminacy, and falsity degrees, respectively. The framework does not require the three components to sum to one.

For a concise scalar representation, define the midpoint-based score

$$s_{ij} = \frac{2+\bar{T}_{ij}-\bar{I}_{ij}-\bar{F}_{ij}}{3}, \qquad \bar{T}_{ij} = \frac{T_{ij}^L+T_{ij}^U}{2}, \quad (3)$$

with analogous definitions for $\bar{I}_{ij}$ and $\bar{F}_{ij}$. Since all midpoint components belong to $[0,1]$, $s_{ij} \in [0,1]$. A larger score indicates stronger support for the proposition encoded by the corresponding criterion, together with lower indeterminacy and falsity. Criterion desirability is handled subsequently through benefit- or cost-type normalization. Equation (3) is used as a transparent operational score rather than claimed as a unique or universally superior neutrosophic score function. It is increasing in $\bar{T}_{ij}$ and decreasing in both $\bar{I}_{ij}$ and $\bar{F}_{ij}$, since $\partial s/\partial \bar{T} = 1/3$ and $\partial s/\partial \bar{I} = \partial s/\partial \bar{F} = -1/3$. Since $\bar{T}_{ij} - \bar{I}_{ij} - \bar{F}_{ij} \in [-2,1]$, adding 2 and dividing by 3 maps the attainable score values to $[0,1]$.

The interval width of one evaluation is

$$W_{ij} = \frac{(T_{ij}^U - T_{ij}^L) + (I_{ij}^U - I_{ij}^L) + (F_{ij}^U - F_{ij}^L)}{3}, \quad (4)$$

where $0 \le W_{ij} \le 1$. Equation (4) assigns equal importance to the widths of the truth, indeterminacy, and falsity intervals. The criterion-level mean width is

$$W_j = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} W_{ij}. \quad (5)$$

A larger W_j means that the evaluations under criterion C_j are, on average, less precise. Here W_j measures interval imprecision and must not be confused with the neutrosophic indeterminacy component I_{ij}.

2.2 Entropy weighting

Let $S = (s_{ij})_{m\times n}$ be the score matrix. It is transformed into a benefit-oriented normalized matrix $Y = (y_{ij})$ by

$$y_{ij} = \frac{s_{ij} - \min_i s_{ij}}{\max_i s_{ij} - \min_i s_{ij}} \quad (6)$$

for benefit criteria, and

$$y_{ij} = \frac{\max_i s_{ij} - s_{ij}}{\max_i s_{ij} - \min_i s_{ij}} \quad (7)$$

for cost criteria. If all scores under a criterion are equal, the criterion has no discriminating power and is assigned zero divergence.

For nonconstant criteria,

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} y_{ij}}, \qquad e_j = -\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^{m} p_{ij}\ln p_{ij}, \quad (8)$$

where $0\ln 0$ is taken as zero. The divergence and conventional entropy weight are

$$d_j = 1 - e_j, \qquad w_j = \frac{d_j}{\sum_{k=1}^{n} d_k}. \quad (9)$$

The interval-width-sensitive weight is then obtained from Equation (1). The denominator is positive unless all criteria have either zero entropy weight or unit mean width. Such a degenerate case should be treated by revising the decision data rather than applying the formula mechanically.

2.3 Simplified gained–lost dominance procedure

Motivated by the gained–lost dominance logic of the GLDS method [6], the following simplified procedure determines preference through pairwise positive differences. For the normalized score matrix, the gained dominance of A_i over A_h under criterion C_j is defined as

$$g_j(A_i, A_h) = \max\{0, y_{ij} - y_{hj}\}. \quad (10)$$

The criterion-wise gained and lost dominance values are

$$G_{ij} = \sum_{h=1}^{m} g_j(A_i, A_h), \qquad L_{ij} = \max_h g_j(A_h, A_i). \quad (11)$$

The overall gained and lost dominance scores are

$$GD_i = \sum_{j=1}^{n} w_j^* G_{ij}, \qquad LD_i = \sum_{j=1}^{n} w_j^* L_{ij}. \quad (12)$$

After min–max normalization, denoted by $\widehat{GD}_i$ and $\widehat{LD}_i$, the collective score is

$$CS_i = \frac{1}{2}\widehat{GD}_i + \frac{1}{2}(1 - \widehat{LD}_i). \quad (13)$$

A larger CS_i indicates a more desirable alternative. This equal aggregation reflects a neutral balance between accumulated gains and exposure to losses. Equations (11)–(13) define the gained–lost dominance implementation used in this paper and are not presented as a new interval-valued neutrosophic version or a complete reproduction of the original GLDS method.

3. Proposed Decision Model

The proposed procedure contains the following steps.

Step 1. Define four anonymized cybersecurity software alternatives A_1–A_4 and five criteria: threat-detection success (C_1), cost (C_2), system compatibility (C_3), ease of use (C_4), and software updates and technical support (C_5). Criterion C_2 is a cost criterion; the others are benefit criteria.

Step 2. Organize the evaluations as an interval-valued neutrosophic soft decision table and represent each entry by an interval-valued neutrosophic evaluation $\tilde{x}_{ij}$.

Step 3. Compute scalar scores using Equation (3) and interval widths using Equation (4).

Step 4. Normalize the score matrix using Equations (6)–(7).

Step 5. Calculate entropy weights from Equation (9).

Step 6. Compute mean widths W_j and adjusted weights w_j^* using Equations (5) and (1).

Step 7. Apply the simplified gained–lost dominance calculations in Equations (11)–(13) and rank the alternatives.

The adjustment has three elementary properties. First, $w_j^* \geq 0$. Second, $\sum_j w_j^* = 1$. Third, holding other quantities fixed, the unnormalized contribution $w_j(1 - W_j)$ decreases linearly as W_j increases; the subsequent normalization redistributes the remaining weight across all criteria. Thus, interval imprecision is discounted without introducing an additional subjective parameter.

4 Numerical Illustration

The numerical data in this section are hypothetical and are used only to illustrate the computational steps. They do not represent market tests, product reviews, expert panels, or the actual performance of identifiable cybersecurity products.

Table 1: Illustrative interval-valued neutrosophic soft evaluations

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	⟨[.78,.86],[.08,.14],[.08,.14]⟩	⟨[.55,.63],[.16,.23],[.28,.36]⟩	⟨[.70,.80],[.10,.18],[.12,.20]⟩	⟨[.62,.78],[.12,.28],[.14,.27]⟩	⟨[.68,.78],[.12,.20],[.14,.22]⟩
A_2	⟨[.82,.90],[.06,.12],[.05,.11]⟩	⟨[.66,.74],[.12,.19],[.18,.26]⟩	⟨[.76,.84],[.08,.15],[.10,.17]⟩	⟨[.70,.84],[.10,.24],[.10,.22]⟩	⟨[.74,.84],[.08,.16],[.10,.18]⟩
A_3	⟨[.70,.80],[.12,.20],[.15,.24]⟩	⟨[.48,.58],[.18,.26],[.34,.44]⟩	⟨[.82,.90],[.06,.12],[.06,.13]⟩	⟨[.76,.90],[.08,.20],[.07,.18]⟩	⟨[.64,.76],[.14,.24],[.18,.28]⟩
A_4	⟨[.75,.84],[.10,.17],[.10,.18]⟩	⟨[.60,.69],[.14,.22],[.23,.32]⟩	⟨[.66,.77],[.14,.22],[.16,.25]⟩	⟨[.65,.82],[.12,.29],[.12,.27]⟩	⟨[.80,.89],[.06,.13],[.07,.14]⟩

Applying Equation (3) gives Table 2. For C_2, the truth interval expresses the degree to which the software is characterized by a high raw cost level; therefore, larger raw scores are undesirable and the normalization is reversed. For the other criteria, truth expresses favorable performance.

Table 2: Score matrix and benefit-oriented normalized matrix.

	Score matrix S					Normalized matrix Y				
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	.867	.692	.817	.765	.797	.695	.617	.348	.000	.301
A_2	.897	.775	.850	.813	.843	1.000	.000	.638	.537	.685
A_3	.798	.640	.892	.855	.760	.000	1.000	1.000	1.000	.000
A_4	.840	.730	.777	.778	.882	.424	.333	.000	.148	1.000

The entropy and interval-width calculations are reported in Table 3. Ease of use (C_4) has the largest mean width, $W_4 = 0.1425$. Consequently, its conventional entropy weight decreases from 0.2519 to 0.2393. The reduction is moderate because the widths in the illustration are not extreme. This is desirable: the correction should discount interval imprecision without automatically eliminating a discriminating criterion.

Table 3: Entropy weights and interval-width-sensitive weights.

Criterion	e_j	d_j	w_j	W_j	w_j^*
C_1	.7516	.2484	.1740	.0758	.1782
C_2	.7275	.2725	.1909	.0833	.1939
C_3	.7324	.2676	.1874	.0808	.1909
C_4	.6405	.3595	.2519	.1425	.2393
C_5	.7204	.2796	.1958	.0892	.1977
Total			1.0000		1.0000

Table 4 presents the results of the simplified gained–lost dominance procedure with the interval-width-sensitive weights. Alternative A_3 has the highest gained dominance and the lowest lost dominance, producing the largest collective score. Alternative A_1 obtains the weakest result because it combines low ease-of-use performance with no leading position on the remaining criteria.

Table 4: Simplified gained–lost dominance results with interval-width-sensitive weights.

Alternative	GD_i	LD_i	$\widehat{GD}_i$	$\widehat{LD}_i$	CS_i
A_1	.4729	.6305	.0000	1.0000	.0000
A_2	.9452	.4361	.5473	.2370	.6553
A_3	1.3359	.3759	1.0000	.0000	1.0000
A_4	.5736	.6267	.1167	.9855	.0657

For a direct check of the proposed adjustment, the same simplified gained–lost dominance calculations were also performed with the conventional entropy weights w_j. Table 5 shows that the width correction changes the effective score separations but not the final order in this illustrative data set. This single ablation comparison isolates the contribution of Equation (1) without introducing additional ranking methods.

Table 5: Comparison of conventional and width-adjusted entropy weights.

Alternative	$CS_i(w)$	$CS_i(w^*)$	Rank in both cases
A_1	.0000	.0000	4
A_2	.6443	.6553	2
A_3	1.0000	1.0000	1
A_4	.0731	.0657	3

The resulting order is

$$A_3 \succ A_2 \succ A_4 \succ A_1. \quad (14)$$

This outcome should be interpreted only as a demonstration of the method. It does not imply that any real cybersecurity product corresponding to A_3 is superior.

5. Discussion

The model addresses a narrow but relevant limitation of score-based entropy weighting under interval-valued information. The comparison in Table 5 also prevents overstating the numerical effect: in this example, the correction alters weights and collective-score distances but does not change the ranking. Conventional entropy measures differentiation after the interval evaluations have been collapsed into scalar scores. Two criteria can therefore receive similar entropy weights even when one is based on substantially wider truth, indeterminacy, and falsity intervals. The multiplicative factor $(1 - W_j)$ retains the entropy logic but discounts criteria with less precise source evaluations.

The correction is intentionally simple. It requires no additional preference parameter and can be explained directly to decision makers. It also preserves the relative entropy structure when all criteria have equal mean widths. If $W_1 = \cdots = W_n$, then Equation (1) yields $w_j^* = w_j$. Conversely, a criterion with a comparatively large width loses weight even if its scalar scores are highly dispersed.

Several limitations must be acknowledged. First, midpoint scoring compresses interval-valued neutrosophic information and does not preserve every distributional feature of the original intervals. Second, width measures imprecision but not necessarily unreliability; wide intervals may sometimes reflect honest expert caution. Third, entropy weights describe data contrast rather than normative importance. A strategically critical criterion could receive a small entropy weight if all alternatives perform similarly. Fourth, the numerical matrix is hypothetical, and no empirical claim about current cybersecurity software is made. Finally, the equal balance between gained and lost dominance in Equation (13) is a neutral modeling choice rather than an empirically calibrated

parameter. In addition, the simplified procedure preserves the central gained–lost idea but should not be interpreted as a full reproduction of all stages of the original probabilistic-linguistic GLDS formulation.

These limitations are acceptable for the stated purpose of a short methodological conference paper. A later study could use a verified expert panel, organizational procurement data, or independent laboratory measurements, but such extensions are outside the present scope.

6. Conclusion

This paper proposed an interval-width-sensitive entropy and gained–lost dominance model for cybersecurity software selection under interval-valued neutrosophic soft evaluations. Truth, indeterminacy, and falsity intervals were converted into scalar scores, while their average widths were retained as a separate measure of imprecision. Conventional entropy weights were discounted through $w_j(1 - W_j)$ and renormalized before the simplified gained–lost dominance ranking stage. In the illustrative application, the criterion with the largest mean interval width received a lower adjusted weight, and the model produced the order $A_3 \succ A_2 \succ A_4 \succ A_1$.

The contribution is modest but explicit: the model does not redefine GLDS in an interval-valued neutrosophic algebra; it introduces a transparent bridge between interval precision and objective weighting before applying a clearly delimited gained–lost dominance procedure to the resulting score matrix. The conventional and adjusted calculations produced the same order in the illustrative case, although the collective-score distances changed. Because the data are hypothetical, the study should be viewed as a method illustration rather than an empirical evaluation of cybersecurity products.

References

[1] D. Molodtsov, Soft set theory—First results, *Computers & Mathematics with Applications* 37 (1999) 19–31. https://doi.org/10.1016/S0898-1221(99)00056-5.

[2] H. Wang, P. Madiraju, Y. Zhang, R. Sunderraman, Interval neutrosophic sets, *International Journal of Applied Mathematics and Statistics* 3 (2005) 1–18. Preprint: arXiv:math/0409113.

[3] I. Deli, Interval-valued neutrosophic soft sets and its decision making, *International Journal of Machine Learning and Cybernetics* 8 (2017) 665–676. https://doi.org/10.1007/s13042-015-0461-3.

[4] M. Zeleny, *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw–Hill, New York, 1982.

[5] C. E. Shannon, A mathematical theory of communication, *Bell System Technical Journal* 27 (1948) 379–423, 623–656. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.

[6] X. Wu, H. Liao, A consensus-based probabilistic linguistic gained and lost dominance score method, *European Journal of Operational Research* 272 (2019) 1017–1027. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.044.

[7] Z. Fu, X. Wu, H. Liao, F. Herrera, Underground mining method selection with the hesitant fuzzy linguistic gained and lost dominance score method, *IEEE Access* 6 (2018) 66442–66458. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2878784.

[8] L. Liu, J. Wu, G. Wei, C. Wei, J. Wang, Y. Wei, Entropy-based GLDS method for social capital selection of a PPP project with q-rung orthopair fuzzy information, *Entropy* 22 (2020) 414. https://doi.org/10.3390/e22040414.

[9] I. M. Hezam, P. Rani, A. R. Mishra, A. Alshamrani, An intuitionistic fuzzy entropy-based gained and lost dominance score decision-making method to select and assess sustainable supplier selection, *AIMS Mathematics* 8 (2023) 12009–12039. https://doi.org/10.3934/math.2023606.

[10] Y. Zhu, D. Tian, F. Yan, Effectiveness of entropy weight method in decision-making, *Mathematical Problems in Engineering* 2020 (2020) 3564835. https://doi.org/10.1155/2020/3564835.

[11] I. Mukhametzyanov, Specific character of objective methods for determining weights of criteria in MCDM problems: Entropy, CRITIC and SD, *Decision Making: Applications in Management and Engineering* 4 (2021) 76–105. https://doi.org/10.31181/dmame210402076i.

[12] National Institute of Standards and Technology, *The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0*, NIST CSWP 29, 2024. https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29.

[13] T. Llansó, M. McNeil, D. Noteboom, Multi-criteria selection of capability-based cybersecurity solutions, in: *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2019, pp. 7255–7264. https://doi.org/10.24251/HICSS.2019.873.

[14] U. Panahi, A. Abdulvahitoğlu, Ranking multiple antivirus software solutions: A Borda-based multi-MCDM approach to performance evaluation, *Cluster Computing* 29 (2026), Article 369. https://doi.org/10.1007/s10586-026-06155-0.

A BORDA-BASED WASPAS–MOORA CONSENSUS FRAMEWORK UNDER Q-RUNG ORTHOPAIR FUZZY SOFT INFORMATION

Adem YOLCU[1]/ Taha Yasin ÖZTÜRK[2]

[1]Department of Mathematics, Kafkas University, Kars, Türkiye, yolcu.adem@gmail.com, 0000-0002-4317-652X

[2] Department of Mathematics, Kafkas University, Kars, Türkiye, taha36100@hotmail.com 0000-0003-2402-6507

Abstract

This study proposes a transparent consensus framework for multi-criteria decision-making under q-rung orthopair fuzzy soft information. The model first converts q-rung orthopair fuzzy soft evaluations into a crisp decision matrix through a bounded score function. The alternatives are then ranked independently by the Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) and Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis (MOORA) methods. Their ordinal outputs are combined by an equally weighted Borda rule. The procedure is illustrated through a hypothetical academic artificial intelligence tool selection problem containing four anonymized alternatives and five criteria: accuracy, ease of use, cost burden, data security, and suitability for academic work. All calculations are performed separately for $q = 2$ and $q = 3$. For $q = 2$, WASPAS and MOORA agree on the first two alternatives but reverse the last two, whereas for $q = 3$ they produce the same complete ranking. The Borda consensus ranks A_4 first and A_2 second for both values of q; it leaves A_1 and A_3 tied for $q = 2$ and ranks A_3 above A_1 for $q = 3$. The numerical findings show that the rung parameter can affect close alternatives even when the best alternative remains stable. The contribution is deliberately modest: it offers a reproducible rank-level fusion of two familiar decision methods without introducing a new aggregation operator.

Keywords: q-rung orthopair fuzzy soft set; WASPAS; MOORA; Borda count; rank aggregation; academic artificial intelligence tool selection.

1. Introduction

Soft set theory was introduced by Molodtsov as a parameterized framework for uncertainty modeling [1]. Orthopair fuzzy models provide another way of representing uncertain judgments through membership and non-membership degrees. Yager's generalized orthopair framework relaxed the admissibility constraint by requiring the sum of the qth powers of these degrees not to exceed one [2, 3]. The resulting q-rung orthopair fuzzy set (q-ROFS) contains intuitionistic fuzzy sets at $q = 1$ and Pythagorean fuzzy sets at $q = 2$ as special cases, while larger values of q allow a wider admissible assessment domain. Aggregation and decision procedures for q-ROF information were subsequently developed by Liu and Wang [4] and Peng et al. [5]. Hybrid q-rung orthopair fuzzy soft structures combine the flexible parameterization of soft sets with the two-degree representation of q-ROFSs and have been used in multi-criteria decision-making [6, 7].

Multi-criteria decision-making methods can yield different rankings because they use different normalization and aggregation principles. WASPAS combines the weighted sum and weighted product models and was proposed to improve ranking accuracy by jointly using additive and multiplicative utility components [8]. MOORA evaluates benefit and cost objectives after vector normalization and is known for its computationally economical ratio-system structure [9]. Since neither method is universally dominant, combining their ordinal results can reduce dependence on one computational mechanism. The Borda count is a positional scoring rule that assigns decreasing points to alternatives according to their ranks and aggregates multiple rankings into one collective order [10, 11]. It is especially suitable for a small transparent consensus model because the final score can be reproduced directly from the component ranks. Existing q-ROF soft decision studies have mainly emphasized aggregation operators and direct ranking procedures [6, 7]. Within the limited literature reviewed for this conference study, comparatively less attention has been given to reconciling the ordinal outputs of structurally different crisp MCDM methods after a common q-ROF soft preprocessing stage. The present framework addresses this narrow methodological gap through method-level rank consensus rather than by proposing a new fuzzy operator.

The rapid use of generative artificial intelligence tools in academic work makes tool selection a relevant illustrative problem. Recent studies identify accuracy, usability, cost or accessibility, privacy and security, and research-task suitability among important considerations when selecting such tools [12, 13]. However, the numerical application in this paper is hypothetical; it does not benchmark or endorse any commercial product.

This study develops a simple Borda-based WASPAS–MOORA consensus framework under q-rung orthopair fuzzy soft evaluations. The main aims are: (i) to construct a reproducible q-ROF soft decision matrix; (ii) to obtain independent WASPAS and MOORA rankings from the same score matrix; (iii) to combine these rankings by an equally weighted Borda rule; and (iv) to compare the results for $q = 2$ and $q = 3$. No new fuzzy aggregation operator is introduced. The limited originality lies in using equal-weight Borda rank fusion as an explicit reconciliation layer between WASPAS and MOORA and in demonstrating, with fully reported calculations, how the selected rung changes the ordering of close alternatives.

2. Preliminaries

2.1 q-rung orthopair fuzzy soft evaluations

Following Yager's generalized orthopair model [2, 3], a q-rung orthopair fuzzy number is written as

$$\alpha = (mu, nu), \quad 0 <= mu, nu <= 1, \quad mu^q + nu^q <= 1,$$

where mu and nu denote membership and non-membership degrees, respectively, and $q \geq 1$. Its indeterminacy degree may be expressed as

$$\pi = (1 - mu^q - nu^q)^{1/q}.$$

A q-rung orthopair fuzzy soft set associates each selected parameter with a q-ROF set over the universe of alternatives [6, 7]. In a finite decision problem, it can therefore be represented by a matrix $\widetilde{D} = [(mu_{ij}, nu_{ij})]_{m\times n}$, where row i corresponds to alternative A_i and column j to criterion C_j. In the present finite setting, the soft-set component supplies the parameterized organization of the evaluations: each criterion acts as a soft parameter and assigns one q-ROF evaluation to every alternative. No soft-set operation, parameter reduction, or soft approximation is introduced. Consequently, the computational stage can equivalently be viewed as processing a finite q-ROF decision matrix indexed by soft parameters.

A frequently used q-ROF score is $mu^q - nu^q$ [4]. To obtain positive values suitable for conventional crisp normalization, this study uses its monotone affine transformation

$$x_{ij}^{(q)} = \frac{1+mu_{ij}^q-nu_{ij}^q}{2}. \quad (1)$$

Because the transformation is strictly increasing in $mu^q - nu^q$, it preserves the pairwise ordering of individual q-ROF evaluations and maps them into [0,1]. However, the added constant is not neutral under ratio-based WASPAS normalization or vector-based MOORA normalization. Equation (1) is therefore adopted as a

predefined bounded positive defuzzification rule, rather than as a transformation claimed to preserve the final MCDM rankings.

2.2 WASPAS

Let $X = [x_{ij}]$ be a positive crisp matrix, $w_j \geq 0$, and $\sum_j w_j = 1$. In WASPAS, benefit and cost criteria are normalized as [8]

$$r_{ij} = \begin{cases} x_{ij}/\max\limits_i x_{ij}, & j \in J_b, \\ \min\limits_i x_{ij}/x_{ij}, & j \in J_c. \end{cases} \quad (2)$$

The weighted sum and weighted product utilities are

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}, \qquad Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^{n} r_{ij}^{w_j}. \quad (3)$$

The combined WASPAS utility is

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1-\lambda) Q_i^{(2)}, \qquad 0 <= \lambda <= 1. \quad (4)$$

This paper sets $\lambda = 0.5$.

2.3. MOORA ratio system

In the MOORA ratio system, the matrix is normalized by [9]

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}. \quad (5)$$

With criterion weights included, the assessment value is

$$Y_i = \sum_{j \in J_b} w_j z_{ij} - \sum_{j \in J_c} w_j z_{ij}. \quad (6)$$

A larger Y_i indicates a better alternative.

2.4 Borda rank consensus

For m alternatives, the alternative ranked in position r receives $m - r$ points; hence the point vector is $(m-1, m-2, \ldots, 0)$ [10, 11]. Let B_i^W and B_i^M denote the Borda points derived from WASPAS and MOORA. The consensus score is

$$B_i = \eta B_i^W + (1-\eta) B_i^M. \quad (7)$$

The present application uses $\eta = 0.5$. Thus, the two rankings have equal influence.

3 Proposed Decision Procedure

The proposed framework consists of the following steps.

1. Define alternatives, criteria, criterion types, and criterion weights.
2. Form the q-rung orthopair fuzzy soft decision matrix and verify $mu_{ij}^{q} + nu_{ij}^{q} <= 1$.
3. For a selected q, calculate the crisp matrix by Eq. (1).
4. Apply WASPAS and obtain the ranking R^{W}.
5. Apply MOORA to the same crisp matrix and obtain R^{M}.
6. Convert each ranking into Borda points and calculate Eq. (7).
7. Repeat Steps 3–6 for $q = 2$ and $q = 3$ and compare rank stability.

The use of a common score matrix is important: differences between the two rankings then arise from the decision methods rather than from different fuzzy preprocessing rules. Equal weights are adopted to keep the illustration focused on method consensus and the rung parameter.

4. Illustrative Application

4.1 Problem definition and data

Four anonymized academic AI tools, A_1–A_4, are evaluated according to five criteria: accuracy (C_1), ease of use (C_2), cost burden (C_3), data security (C_4), and suitability for academic work (C_5). For C_1, C_2, C_4, and C_5, membership denotes the degree to which the alternative satisfactorily meets the positively oriented criterion. For C_3, membership denotes the degree to which the alternative is perceived as having a high purchase or subscription cost, while non-membership represents evidence against such a high-cost assessment. Hence, a larger score represents a heavier cost burden and C_3 is treated as a cost criterion. All other criteria are benefits. The weights are equal, $w_j = 0.20$. The decision matrix in Table 1 is hypothetical and is used solely to demonstrate the calculation procedure.

Table 1: Hypothetical q-rung orthopair fuzzy soft decision matrix

Alternative	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	(0.60,0.08)	(0.66,0.21)	(0.94,0.18)	(0.67,0.40)	(0.61,0.25)
A_2	(0.46,0.12)	(0.52,0.37)	(0.47,0.26)	(0.70,0.36)	(0.70,0.47)
A_3	(0.74,0.15)	(0.59,0.62)	(0.90,0.20)	(0.58,0.06)	(0.69,0.14)
A_4	(0.65,0.10)	(0.91,0.21)	(0.54,0.59)	(0.75,0.23)	(0.84,0.44)

The largest value of $mu^2 + nu^2$ in Table 1 is obtained for (0.94,0.18) and equals $0.94^2 + 0.18^2 = 0.9160 <$ 1. Consequently, every entry is admissible for $q = 2$. Since $a^3 <= a^2$ for $a \in [0,1]$, all entries are also admissible for $q = 3$.

4.2 Results for $q = 2$Results for q=2

Using Eq. (1), the score matrix is given in Table 2.

Table 2: Crisp score matrix for $q = 2$.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	0.676800	0.695750	0.925600	0.644450	0.654800
A_2	0.598600	0.566750	0.576650	0.680200	0.634550
A_3	0.762550	0.481850	0.885000	0.666400	0.728250
A_4	0.706250	0.892000	0.471750	0.754800	0.756000

For example, $x_{11}^{(2)} = [1 + 0.60^2 - 0.08^2]/2 = 0.6768$. The WASPAS normalization and utilities are reported in Table 3. Because C_3 is a cost criterion, its normalized value for A_1 is $0.47175/0.92560 = 0.509665$.

Table 3: WASPAS calculations for $q = 2$.

	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	$Q^{(1)}$	$Q^{(2)}$	Q
A_1	0.887543	0.779989	0.509665	0.853804	0.866138	0.779428	0.764369	0.771899
A_2	0.784998	0.635370	0.818066	0.901166	0.839352	0.795790	0.790481	0.793135
A_3	1.000000	0.540191	0.533051	0.882882	0.963294	0.783884	0.754736	0.769310
A_4	0.926165	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.985233	0.984778	0.985006

Thus, the WASPAS ranking is

$R_{q=2}^{W}: A_4 > A_2 > A_1 > A_3$.

The MOORA calculations are summarized in Table 4. The weighted normalized values are aggregated positively for C_1, C_2, C_4, C_5 and negatively for C_3.

Table 4: MOORA calculations for $q = 2$.

	$0.2z_1$	$0.2z_2$	$0.2z_3$	$0.2z_4$	$0.2z_5$	Y_i
A_1	0.098287	0.102775	0.124949	0.093709	0.094187	0.264009
A_2	0.086931	0.083719	0.077843	0.098907	0.091274	0.282988
A_3	0.110740	0.071178	0.119468	0.096901	0.104752	0.264102
A_4	0.102564	0.131765	0.063683	0.109755	0.108743	0.389144

Minor differences in the last decimals can arise from displaying rounded intermediate values; calculations use unrounded values. The MOORA ranking is

$$R^{M}_{q=2}: A_4 > A_2 > A_3 > A_1.$$

The methods agree on A_4 and A_2 but reverse A_1 and A_3. With four alternatives, Borda points are 3,2,1,0. Table 5 gives the consensus.

Table 5: Borda consensus for $q = 2$.

Alternative	WASPAS points	MOORA points	B_i	Consensus rank
A_1	1	0	0.5	3–4
A_2	2	2	2.0	2
A_3	0	1	0.5	3–4
A_4	3	3	3.0	1

Pure Borda scoring produces a tie between A_1 and A_3. Since the purpose of the fusion layer is to give WASPAS and MOORA equal influence, no method-specific tie-breaker is imposed. The consensus is therefore reported as $A_4 > A_2 > A_1\ A_3$. The unresolved tie is informative because it records the disagreement between the component methods rather than masking it.

4.3 Results for $q = 3$Results for q=3

Table 6 presents the score matrix for $q = 3$.

Table 6: Crisp score matrix for $q = 3$.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	0.607744	0.639118	0.912376	0.618382	0.605678
A_2	0.547804	0.544978	0.543124	0.648172	0.619589
A_3	0.700925	0.483526	0.860500	0.597448	0.662883
A_4	0.636813	0.872155	0.476043	0.704854	0.753760

The final method values and ranks are shown in Table 7. Full normalization was performed with the same equations used for $q = 2$.

Table 7: Method results and Borda consensus for $q = 3$.

Alternative	WASPAS Q_i	W rank	MOORA Y_i	M rank	B_i	Final rank
A_1	0.754105	4	0.256527	4	0	4
A_2	0.801436	2	0.290264	2	2	2
A_3	0.755683	3	0.260095	3	1	3
A_4	0.981352	1	0.392992	1	3	1

Both methods yield

$$R^W_{q=3} = R^M_{q=3}: A_4 > A_2 > A_3 > A_1,$$

and the Borda consensus is identical.

4.4 Comparison of $q = 2$ and $q = 3$Comparison of q=2 and q=3

Table 8 compares the final outputs.

Table 8: Comparison of rankings for $q = 2$ and $q = 3$.

q	WASPAS	MOORA	Borda consensus
2	$A_4 > A_2 > A_1 > A_3$	$A_4 > A_2 > A_3 > A_1$	$A_4 > A_2 > A_1\ A_3$
	$A_4 > A_2 > A_3 > A_1$	$A_4 > A_2 > A_3 > A_1$	$A_4 > A_2 > A_3 > A_1$

The best alternative, A_4, is stable in all four method–rung combinations. A_2 is also consistently second. The score-based ranking sensitivity to the selected rung appears among the lower-ranked alternatives: WASPAS changes from $A_1 > A_3$ at $q = 2$ to $A_3 > A_1$ at $q = 3$, while MOORA already favors A_3 at both rungs. The reason is that, with the same elicited membership and non-membership pairs held fixed, the powers in Eq. (1) change the derived crisp values and their relative distances. Since Borda uses ranks rather than cardinal utility gaps, it transparently records this change as a tie at $q = 2$ and a strict preference for A_3 at $q = 3$.

4.5 Detailed verification for $q = 3$Detailed verification for q=3

For completeness, Tables 9 and 10 report the unaggregated normalized components used to obtain Table 7. These tables also permit direct replication of the calculations without relying on software-specific output.

Table 9: Detailed WASPAS calculations for $q = 3$.

	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	$Q^{(1)}$	$Q^{(2)}$	Q
A_1	0.867061	0.732803	0.521761	0.877319	0.803542	0.760497	0.747713	0.754105
A_2	0.781545	0.624863	0.876490	0.919583	0.821997	0.804896	0.797975	0.801436
A_3	1.000000	0.554403	0.553216	0.847620	0.879434	0.766935	0.744432	0.755683
A_4	0.908532	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.981706	0.980998	0.981352

Table 10: Detailed MOORA calculations for $q = 3$.

	$0.2z_1$	$0.2z_2$	$0.2z_3$	$0.2z_4$	$0.2z_5$	Y_i
A_1	0.097122	0.098038	0.126085	0.096099	0.091353	0.256527
A_2	0.087543	0.083598	0.075057	0.100729	0.093452	0.290264
A_3	0.112013	0.074171	0.118916	0.092846	0.099982	0.260095
A_4	0.101767	0.133786	0.065786	0.109537	0.113688	0.392992

A separate spreadsheet-style recomputation was used to verify every displayed value. For each criterion, the WASPAS benefit maximum or cost minimum and the MOORA Euclidean denominator were calculated from the full-precision score matrix. Rankings were then generated from the unrounded Q_i and Y_i values. This is relevant for A_1 and A_3, whose $q = 2$ MOORA values differ by less than 0.0001; rounding before ranking would therefore be methodologically unsafe.

5 Discussion

The numerical example supports three observations. First, the consensus layer can reveal agreement and disagreement without blending incompatible utility scales. WASPAS and MOORA scores have different constructions and magnitudes; directly averaging them would require an additional normalization choice. Borda avoids this issue by combining only ordinal positions and therefore provides a method-level rank consensus rather than a consensus among human decision makers.

Second, the comparison should be interpreted as a rung-sensitivity illustration, not as two independently elicited decision matrices. The same membership and non-membership degrees are retained while only q is varied. Even when every input pair is admissible for both $q = 2$ and $q = 3$, Eq. (1) changes because the powers of mu and nu change. The present example deliberately contains close alternatives, and the resulting lower-order reversal demonstrates score-based sensitivity while the leading choice remains robust. The rung should be justified before observing the preferred ranking and should not be selected ex post to obtain a desired outcome.

Third, Borda consensus has limitations. It discards the sizes of utility differences; a very small and a very large rank separation receive the same positional treatment. It may also create ties, as observed for $q = 2$. Therefore, the component scores should always be reported with the Borda outcome. The present study leaves the tie unresolved because imposing a WASPAS- or MOORA-based secondary rule would weaken the equal-influence interpretation of $\eta = 0.5$.

A further limitation concerns the positive score transformation. Although Eq. (1) preserves the ordering of individual q-ROF numbers induced by $mu^q - nu^q$, affine translation changes the ratios used by WASPAS and the vector geometry used by MOORA. Consequently, the reported rankings are conditional on this particular bounded positive score rule. A broader robustness study could compare alternative positive defuzzification functions, but such an extension is outside the deliberately compact scope of this conference paper.

The application is illustrative rather than empirical. The q-ROF values are not elicited from experts, the alternatives are anonymized, and equal criterion weights are assumed. Accordingly, the result should not be interpreted as evidence about actual AI tools. A real application would require a documented expert panel, a reproducible linguistic-to-q-ROF scale, conflict-of-interest disclosure, and sensitivity analysis for criterion weights.

6 Conclusion

This paper presented a compact Borda-based WASPAS–MOORA consensus framework for q-rung orthopair fuzzy soft decision problems. In this finite formulation, the soft component serves to index the q-ROF evaluations by decision parameters; no additional soft-set operator is claimed. q-ROF soft evaluations were transformed into a common positive score matrix, processed independently by WASPAS and MOORA, and reconciled through equally weighted Borda points. In the hypothetical academic AI tool selection example, A_4 remained the best alternative and A_2 remained second for both $q = 2$ and $q = 3$. The lower alternatives changed order: $q = 2$ generated the unresolved Borda tie A_1 A_3, whereas $q = 3$ yielded the strict order $A_3 > A_1$.

The study's contribution is methodological simplicity and full reproducibility rather than a new fuzzy operator or a new Borda rule. It shows that a rank-level consensus can complement cardinal MCDM scores and that the choice of q may affect close alternatives. Future work may use real expert data, unequal or objectively derived weights, more than two component rankings, and formal rank-agreement measures. Such extensions should preserve the current model's transparency and should not obscure the source of ranking changes.

References

[1] Molodtsov, D. Soft set theory—first results. *Computers & Mathematics with Applications* **1999**, *37*(4–5), 19–31. https://doi.org/10.1016/S0898-1221(99)00056-5.

[2] Yager, R.R. Generalized orthopair fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* **2017**, *25*(5), 1222–1230. https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2016.2604005.

[3] Yager, R.R.; Alajlan, N. Aspects of generalized orthopair fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems* **2018**, *33*(11), 2154–2174. https://doi.org/10.1002/int.22008.

[4] Liu, P.; Wang, P. Some q-rung orthopair fuzzy aggregation operators and their applications to multiple-attribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems* **2018**, *33*(2), 259–280. https://doi.org/10.1002/int.21927.

[5] Peng, X.; Dai, J.; Garg, H. Exponential operation and aggregation operator for q-rung orthopair fuzzy set and their decision-making method with a new score function. *International Journal of Intelligent Systems* **2018**, *33*(11), 2255–2282. https://doi.org/10.1002/int.22028.

[6] Hayat, K.; Shamim, R.A.; AlSalman, H.; Gumaei, A.; Yang, X.-P.; Akbar, M.A. Group generalized q-rung orthopair fuzzy soft sets: New aggregation operators and their applications. *Mathematical Problems in Engineering* **2021**, 5672097. https://doi.org/10.1155/2021/5672097.

[7] Riaz, M.; Athar Farid, H.M. q-Rung orthopair fuzzy soft set-based multi-criteria decision-making. In *q-Rung Orthopair Fuzzy Sets*; Garg, H., Ed.; Springer: Singapore, 2022; pp. 465–503. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1449-2_18.

[8] Zavadskas, E.K.; Turskis, Z.; Antucheviciene, J.; Zakarevicius, A. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir Elektrotechnika* **2012**, *122*(6), 3–6. https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810.

[9] Brauers, W.K.M.; Zavadskas, E.K. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics* **2006**, *35*(2), 445–469.

[10] Emerson, P. The original Borda count and partial voting. *Social Choice and Welfare* **2013**, *40*, 353–358. https://doi.org/10.1007/s00355-011-0603-9.

[11] Boehmer, N.; Bredereck, R.; Peters, D. Rank aggregation using scoring rules. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* **2023**, *37*(5), 5515–5523. https://doi.org/10.1609/aaai.v37i5.25685.

[12] Radulescu, C.Z.; Radulescu, M. Criteria analysis for the selection of a generative artificial intelligence tool for academic research based on an improved group DEMATEL method. *Applied Sciences* **2025**, *15*(10), 5416. https://doi.org/10.3390/app15105416.

[13] Perkins, M.; Roe, J. Generative AI tools in academic research: Applications and implications for qualitative and quantitative research methodologies. *arXiv* **2024**, arXiv:2408.06872. https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.06872.

MAKINE ÖĞRENMESI İLE FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLER: GAFF2 TABANLI MOLEKÜLER TANIMLAYICILARLA ERİME NOKTASI VE STANDART BUHARLAŞMA ENTALPİSİNİN MODELLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Barış KURT[1]

[1]Muş Alparslan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü,

Teorik Kimya, b.kurt@alparslan.edu.tr

0000-0002-1406-0915

Özet

Erime noktası ve standart buharlaşma entalpisi, moleküler yapı ile moleküller arası etkileşimlerin birlikte belirlediği temel fizikokimyasal özelliklerdir. Ancak erime noktası kristal paketlenmesi ve polimorfizmden, buharlaşma entalpisi ise sıvı faz kohezyonundan güçlü biçimde etkilenir, bu nedenle yalnız molekül formülüne dayalı basit tahminler sınırlıdır. Bu çalışmada, klasik MD simülasyonlarında kullanılan GAFF2 parametreleri RDKIT tanımlayıcıları ile birlikte molekül tanımlayıcısı olarak kullanılmış ve makine öğrenmesi kullanılarak erime noktası ve buharlaşma entalpisi tahmin modellemesi yapılmıştır. Antechamber aracılığıyla GAFF2 atom tipleri ve AM1-BCC kısmi yükleri atanmış ve parmchk2 ile kuvvet alanı terimleri tamamlanmıştır. Canonical SMILES temelli 5-kat GroupKFold çapraz doğrulamada XGBoost, erime noktası için R^2=0.850 ve standart buharlaşma entalpisi için R^2=0.899 sağlamıştır. Erime noktası için aynı 969 molekülde RDKit 2B tanımlayıcıları R^2=0.876 ile GAFF2'den daha yüksek performans göstermiş, Joback'in uygulanabildiği aynı 893 molekülde RDKit, GAFF2 ve Joback için R^2 değerleri sırasıyla 0.884, 0.854 ve 0.628 olmuştur. Buharlaşma entalpisinde yalnız vdW tanımlayıcıları dahi R^2=0.868 vermiş, vdW+yük kombinasyonu R^2=0.880'e ulaşmıştır. Aynı 924 molekülde RDKit 2B tanımlayıcıları R^2=0.918 ile GAFF2'nin R^2=0.899 değerini bir miktar aşmıştır. Sonuçlar, makine öğrenmesinin gerek RDkit gibi doğal moleküler tanımlayıcılar gerekse GAFF2 gibi sonradan tanımlayıcı olarak kullanılan kuvvet alanının iki önemli fizikokimyasal özelliği makul ölçülerde tahmin edebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fizikokimyasal özellikler, makine öğrenmesi, GAFF2, buharlaşma entalpisi, erime noktası, XGBoost, van der Waals

PHYSICOCHEMICAL PROPERTY PREDICTION WITH MACHINE LEARNING: MODELING MELTING POINT AND STANDARD ENTHALPY OF VAPORIZATION USING GAFF2-BASED MOLECULAR DESCRIPTORS

Abstract

Melting point and standard enthalpy of vaporization are fundamental physicochemical properties jointly determined by molecular structure and intermolecular interactions. However, melting point is strongly influenced by crystal packing and polymorphism, whereas enthalpy of vaporization is strongly affected by liquid-phase cohesion; therefore, simple predictions based solely on molecular formula are inherently limited. In this study, GAFF2 parameters, conventionally used in classical molecular dynamics simulations, were employed alongside RDKit descriptors as molecular representations for machine-learning-based prediction of melting point and enthalpy of vaporization. GAFF2 atom types and AM1-BCC partial charges were assigned using Antechamber, and the required force-field terms were completed using parmchk2. In canonical-SMILES-based 5-fold GroupKFold cross-validation, XGBoost achieved $R^2 = 0.850$ for melting point and $R^2 = 0.899$ for standard enthalpy of vaporization. For melting point, RDKit 2D descriptors achieved $R^2 = 0.876$ on the same set of 969 molecules, compared with $R^2 = 0.850$ for the GAFF2 representation. On the common subset of 893 molecules for which the Joback method was applicable, the R^2 values for RDKit, GAFF2, and Joback were 0.884, 0.854, and 0.628, respectively. For enthalpy of vaporization, vdW descriptors alone achieved $R^2 = 0.868$, while the combined vdW + charge representation reached $R^2 = 0.880$. On the same set of 924 molecules, RDKit 2D descriptors achieved $R^2 = 0.918$, compared with $R^2 = 0.899$ for the GAFF2 representation. The results demonstrate that machine learning can reasonably predict two important physicochemical properties using both native molecular descriptors such as RDKit and force-field parameters such as GAFF2 that are repurposed as molecular descriptors.

Keywords: physicochemical properties, machine learning, GAFF2, enthalpy of vaporization, melting point, XGBoost, van der Waals

1. Introduction

The melting point (T_m) of a substance is the temperature at which the Gibbs free energies of the solid and liquid phases are equal. Thermodynamically, because the Gibbs free energy change of fusion (ΔG_{fus}) is zero at the melting point, the relation $T_m \approx \Delta H_{fus}/\Delta S_{fus}$ can be considered, where ΔH_{fus} is the enthalpy change of fusion and ΔS_{fus} is the entropy change of fusion. However, both ΔH_{fus} and, in particular, ΔS_{fus} are influenced by solid-state characteristics such as crystal lattice, molecular symmetry, conformation, and polymorphism. Consequently, Tm cannot be reliably calculated from molecular formula alone, and constitutional isomers with the same molecular formula may exhibit very different melting points because of differences in molecular symmetry, conformation, and solid-state organization (Kong et al., 2023; Pinal, 2004).

The standard molar enthalpy of vaporization ($\Delta vapH_m°$) is the enthalpy change required to transfer one mole of liquid to the gas phase at a specified temperature. At 298.15 K, ΔvapHm° can be interpreted as a direct indicator of intermolecular cohesion in the liquid phase. Dispersion/van der Waals interactions, electrostatic interactions, hydrogen bonding, and molecular size are among the main components determining this property (Ferraz-Caetano et al., 2024a, 2024b). A natural physical connection is therefore expected between ΔvapHm° and the nonbonded terms of molecular-mechanics force fields.

Classical group-contribution methods divide a molecule into predefined functional groups and sum the contribution of each group. The Joback-Reid method is one of the best-known examples of this approach and provides correlations for many pure-component properties, including normal boiling point, melting point, critical properties, and phase-change enthalpies (Joback & Reid, 1987). For melting point, the basic form is $Tm[K]=122.5+\Sigma ni\Delta Tm,i$. This approach is fast; however, it represents group interactions, crystal packing, and the overall structural environment only to a limited extent. More recent interpretable group-contribution descriptors have likewise shown that composition and structural organization contain substantial melting-point information (Kong et al., 2023).

GAFF and its second-generation extension, GAFF2, were developed to represent organic and drug-like molecules within a molecular-mechanics framework (Case et al., 2023; He et al., 2020; Wang et al., 2004). GAFF2 contains atom types, bond and angle force constants, equilibrium geometries, torsion terms, and Lennard-Jones nonbonded parameters. In practical GAFF2 workflows, Antechamber can be used to assign atom and bond types and generate AM1-BCC partial charges, whereas parmchk2 identifies and completes missing force-field parameters (Case et al., 2023; Jakalian et al., 2000; Wang et al., 2006). These parameters are

traditionally used for molecular-dynamics simulations; however, the same information also encodes features of molecular physical structure and intermolecular-interaction potential.

Molecular-representation approaches inspired by force-field concepts have also been explored in machine learning (Ren et al., 2023). A recent study compared GAFF atom-type counts with RDKit descriptors for density and refractive-index prediction and found that both representations were successful, with RDKit showing a slight advantage (Hu et al., 2026). The present study examines two thermophysical targets using not only atom-type counts but also summary statistics derived directly from GAFF2 vdW, charge, bond, angle, and torsion parameters.

The study was designed to answer two questions: (i) can GAFF2 force-field parameters form a molecular representation capable of predicting experimental physicochemical properties without performing simulations, and (ii) which parameter families carry the most information, particularly for melting point and standard enthalpy of vaporization? Controlled comparisons were additionally performed with the classical Joback method for melting point and with RDKit 2D descriptors for both target properties.

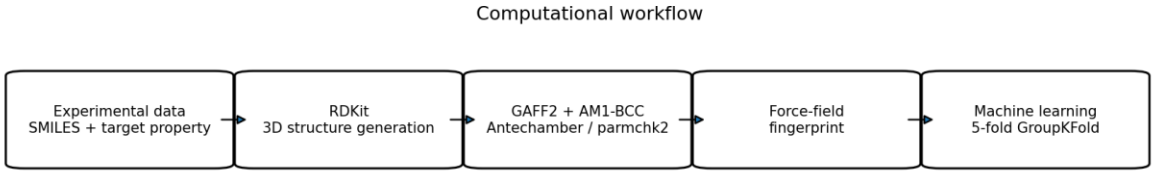


Figure 1. Overall workflow from SMILES-based experimental data to the GAFF2 force-field fingerprint and machine-learning prediction.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental datasets and study subsets

Melting-point data were obtained from the Jean-Claude Bradley Double Plus Good dataset (Bradley et al., 2014). The source dataset contains 3041 highly curated measurements; inclusion in this collection required more than one measurement for a compound and a reported range within 0.01-5 °C. In this study, source records were passed through the automated GAFF2 workflow; records that failed to meet the timeout, parameterization-success, or fingerprint-completeness criteria were excluded without manual intervention. This process yielded 1209 successful fingerprints. After a strict quality filter that removed records with missing

atom-type or vdW/charge/bond/angle/torsion matches, 969 molecules were included in the machine-learning analysis.

For standard enthalpy of vaporization, the ΔvapHm-VOC database of Ferraz-Caetano and co-workers was used (Ferraz-Caetano et al., 2024a, 2024b). The source database contains 2410 unique organic compounds with experimental ΔvapHm° values standardized to 298.15 K. During the computational campaign, 1057 fingerprints were included in the final data table; after the strict parameter-completeness filter, 924 molecules remained for ML analysis. The possibility that subset selection was influenced by the computation-time limit and automatic exclusion of failures is discussed explicitly in the Limitations section.

Table 1. Open data sources used and automated computational subsets generated for this study.

Dataset	Source size	Fingerprint table	Strict ML set	Target
Melting point	3041	1209	969	Tm (°C)
Enthalpy of vaporization	2410	1057	924	ΔvapHm° (298.15 K), kJ/mol

2.2. Molecular structure preparation and GAFF2 parameterization

Each SMILES string was read with RDKit, and salts/multi-fragment structures as well as records containing atoms outside the targeted GAFF2 organic element space were automatically excluded. The formal total charge was determined from the RDKit molecular graph. After adding hydrogens, a three-dimensional conformer was generated using ETKDGv3 (Riniker & Landrum, 2015; Wang et al., 2020); a short pre-minimization was then performed with MMFF94s when parameters were available (Halgren, 1999), otherwise with UFF (Rappé et al., 1992). In the rare event of an RDKit 3D-embedding failure, a second attempt based on random coordinates was made; if this also failed, the molecule was automatically excluded (RDKit, n.d.).

The prepared 3D structures were assigned GAFF2 atom types with Antechamber, and AM1-BCC partial charges were calculated (He et al., 2020; Jakalian et al., 2000; Wang et al., 2006). The basic command pattern was antechamber -at gaff2 -c bcc -nc Q. Next, parmchk2 was run with the -s 2 option to generate molecule-specific frcmod files (Case et al., 2023). This allowed MASS, NONBON, and, when necessary, bonded parameters for new or fallback atom types to be completed according to the Amber parameter-matching rules.

Calculations were executed with a per-molecule wall-time limit and parallel workers in order to prevent a small number of difficult structures from dominating the total computational cost. Failed or timed-out records were skipped without manual intervention.

2.3. Construction of the GAFF2 force-field fingerprint

For each successfully parameterized molecule, atom-type composition, elemental composition and topological quantities, Lennard-Jones vdW parameters, the AM1-BCC charge distribution, and bond, angle, and proper-torsion parameters were converted into separate feature families. To represent molecules with variable atom counts as vectors of equal length, summary statistics such as count, fraction, sum, mean, standard deviation, minimum, and maximum were calculated for each parameter family. During torsion assignment, specific GAFF2 four-atom-type matches were evaluated before generic X-b-c-X patterns, and multi-term Fourier torsions were retained in accordance with the GAFF2/Amber parameter hierarchy (Case et al., 2023; Wang et al., 2004).

After removal of constant or unusable columns within each strict analysis subset, the melting-point representation contained 250 features, whereas the vaporization-enthalpy representation contained 254. The difference arose entirely within the ATOM+TOPO block because several atom-type/composition columns were constant in one subset but not the other.

Table 2. Main information blocks used in the GAFF2 fingerprint for the two target datasets.

Feature family	Physical/chemical content	Tm features	ΔvapHm° features
ATOM+TOPO	Atom types, element counts/fractions, mass/polarizability summaries, topology	178	182
VDW	Lennard-Jones Rmin/2 and ε statistics	10	10
CHARGE	AM1-BCC partial-charge statistics	15	15
BOND	Bond force-constant and equilibrium bond-length statistics	10	10
ANGLE	Angle force-constant and equilibrium-angle statistics	10	10
TORSION	Fourier amplitude, periodicity, and proper-torsion summaries	27	27
ALL	All usable nonconstant features above	250	254

2.4. Machine learning and prevention of data leakage

To prevent records with the same canonical SMILES from being split between training and validation folds, canonical SMILES was used as the group identifier and 5-fold GroupKFold cross-validation was applied. Thus, if multiple measurements existed for the same chemical structure, they could not leak into different folds. Experimental min, max, range, and count fields associated with the target; molecule identity, name, SMILES, InChI/ChemSpider-like identity fields; parameter-missing counts; and other diagnostic columns were excluded from the model input. This design was implemented specifically to prevent target and identity leakage.

The compared models were DummyMean, Random Forest, ExtraTrees, XGBoost, and a multilayer perceptron (MLP). Random Forest and ExtraTrees used 400 trees. XGBoost (Chen & Guestrin, 2016; Pedregosa et al., 2011) used 600 estimators, max_depth=4, learning_rate=0.03, subsample=0.85, colsample_bytree=0.75, and L2 reg_lambda=1.0. The MLP had two hidden layers (128 and 64 neurons), alpha=0.001 regularization, and early stopping. Missing numerical values were imputed using the within-fold median; StandardScaler was additionally applied for the MLP. The random seed was fixed at 42.

Performance was measured using R^2, mean absolute error (MAE), and root mean square error (RMSE). R^2 indicates the fraction of target variance explained by the model, MAE describes the typical absolute deviation, and RMSE gives greater weight to large errors.

$$RMSE = \sqrt{[(1/n)\,\Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2]}$$

$$R^2 = 1 - \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2 / \Sigma(y_i - \bar{y})^2$$

$$MAE = (1/n)\,\Sigma|y_i - \hat{y}_i|$$

2.5. Comparison experiments

Two separate controlled comparisons were performed for melting point. First, the classical Joback-Reid group-contribution prediction was applied to the same chemical structures (Joback & Reid, 1987). The 893 molecules for which Joback fragmentation could be completed without missing groups formed the common three-way comparison set for GAFF2+XGBoost and RDKit+XGBoost. Second, RDKit 2D molecular descriptors were calculated for all 969 molecules that passed the strict quality filter; after removing constant or entirely missing columns, 184 descriptors were retained (RDKit, n.d.). The same canonical-SMILES GroupKFold arrangement and the same XGBoost hyperparameters were used for RDKit and GAFF2, making molecular representation the principal variable in the comparison.

For enthalpy of vaporization, RDKit 2D molecular descriptors were calculated for all 924 strict GAFF2 molecules (RDKit, n.d.). After constant or entirely missing columns were removed, 183 RDKit descriptors were retained. The same XGBoost hyperparameters and GroupKFold design were applied. A direct Joback vaporization-enthalpy benchmark was not used because the Joback phase-change enthalpy corresponds to normal-boiling conditions, whereas the present experimental target is standardized to 298.15 K; a direct comparison without temperature correction would therefore be thermodynamically inconsistent.

3. Results

3.1. Melting-point prediction

Among the 969 molecules that passed the strict quality filter, XGBoost gave the best overall performance, with R^2=0.850, MAE=27.62 °C, and RMSE=37.71 °C. ExtraTrees, Random Forest, and MLP showed similar but lower performance. Because melting point is strongly affected by variables that are not represented directly in the fingerprint, such as crystal packing, polymorphism, and solid-state symmetry, this error level is consistent with the expected limits of a molecular-level representation.

Table 3. Five-fold GroupKFold cross-validation results for melting point (n=969).

Model	R^2	MAE (°C)	RMSE (°C)
XGBoost	0.850	27.62	37.71
ExtraTrees	0.832	29.02	39.94
RandomForest	0.827	29.50	40.56
MLP	0.820	28.98	41.27

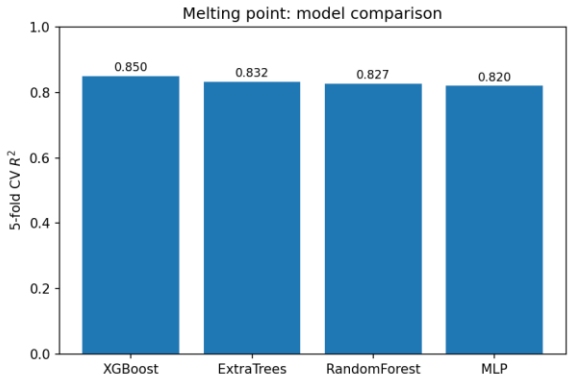


Figure 2. Comparison of model R^2 values for melting point.

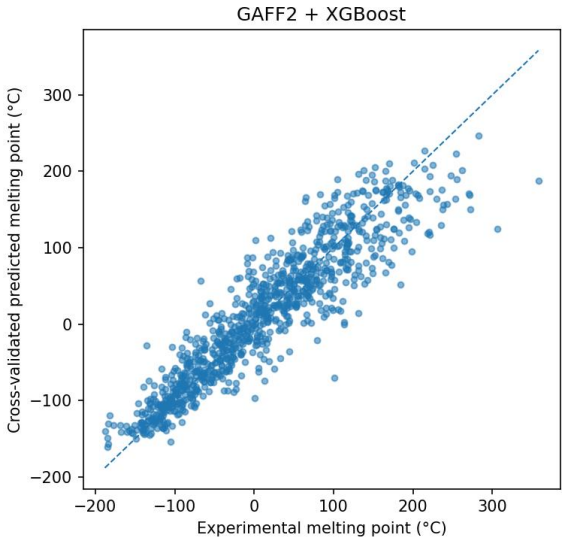


Figure 3. Experimental-versus-predicted melting points for GAFF2 + XGBoost.

3.2. Melting-point comparison with Joback and RDKit

Across all 969 molecules that passed the strict quality filter, RDKit 2D + XGBoost achieved R^2=0.876, MAE=25.20 °C, and RMSE=34.24 °C, whereas GAFF2+XGBoost on the same set gave R^2=0.850, MAE=27.62 °C, and RMSE=37.71 °C. The Joback method could be applied completely to 893 of the 969 records. When a fair three-way comparison was restricted to these same 893 molecules, RDKit+XGBoost gave R^2=0.884, MAE=24.61 °C, and RMSE=33.28 °C; GAFF2+XGBoost gave R^2=0.854, MAE=27.36 °C, and RMSE=37.45 °C; and Joback gave R^2=0.628, MAE=40.21 °C, and RMSE=59.70 °C. Thus, both machine-learning representations clearly outperformed the classical group-contribution approach, while RDKit 2D descriptors provided slightly higher predictive accuracy than the GAFF2 fingerprint for melting point.

Table 4. Melting-point performance of RDKit, GAFF2, and Joback on the same 893 molecules.

Method	n	R^2	MAE (°C)	RMSE (°C)
GAFF2 + XGBoost	893	0.854	27.36	37.45
RDKit 2D + XGBoost	893	0.884	24.61	33.28
Joback	893	0.628	40.21	59.70

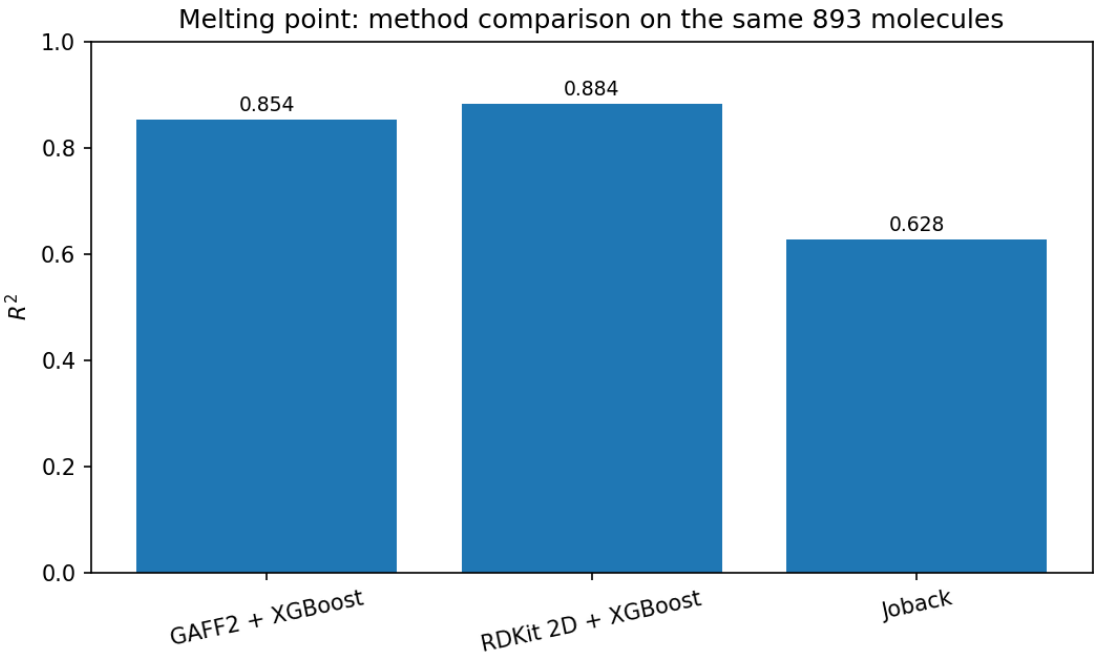


Figure 4. Comparison of melting-point R² for RDKit 2D + XGBoost, GAFF2 + XGBoost, and Joback on the same 893 molecules.

3.3. Physical information content of GAFF2 parameter families for melting point

Standalone feature-family analysis revealed a different pattern for melting point than for vaporization enthalpy. ATOM+TOPO was the strongest individual block, reaching R^2=0.837 with 178 features. VDW and BOND each reached R^2=0.793, ANGLE reached R^2=0.786, CHARGE reached R^2=0.732, and TORSION reached R^2=0.668. Combining the 10 vdW and 15 charge descriptors produced R^2=0.810. Thus, nonbonded parameters remain highly informative, but they do not approach the ATOM+TOPO block as closely as they do for ΔvapHm°. This pattern is consistent with the stronger role of molecular composition, topology, symmetry, and unmodeled crystal-packing effects in melting behavior; it should nevertheless be interpreted as predictive information content rather than causal proof.

Table 5. Standalone XGBoost performance of GAFF2 feature families for melting point (n=969).

Feature block	Feature count	R^2	MAE (°C)	RMSE (°C)
ATOM+TOPO	178	0.837	29.04	39.27
VDW	10	0.793	32.99	44.34
CHARGE	15	0.732	36.91	50.39
BOND	10	0.793	32.77	44.35
ANGLE	10	0.786	33.47	45.10
TORSION	27	0.668	41.77	56.10
VDW + CHARGE	25	0.810	30.87	42.50

3.4. Standard enthalpy of vaporization prediction

For ΔvapHm°, XGBoost was the best model on 924 molecules, with R^2=0.899, MAE=3.117 kJ/mol, and RMSE=5.095 kJ/mol. ExtraTrees and Random Forest gave R^2=0.881 and 0.877, respectively, while MLP remained at R^2=0.852. The $R^2 \approx 0$ value of DummyMean serves as a simple baseline confirming that the performance does not arise from merely predicting the mean of the target distribution.

Table 6. Five-fold GroupKFold results for standard enthalpy of vaporization (n=924).

Model	R^2	MAE (kJ/mol)	RMSE (kJ/mol)
DummyMean	-0.002	12.619	16.064
RandomForest	0.877	3.668	5.622
ExtraTrees	0.881	3.460	5.531
XGBoost	0.899	3.117	5.095
MLP	0.852	3.737	6.183

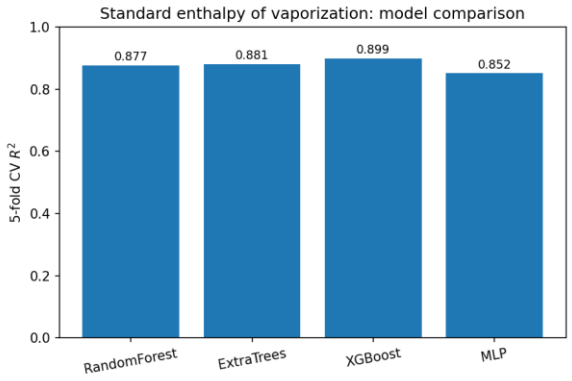


Figure 5. Model comparison for ΔvapHm°.

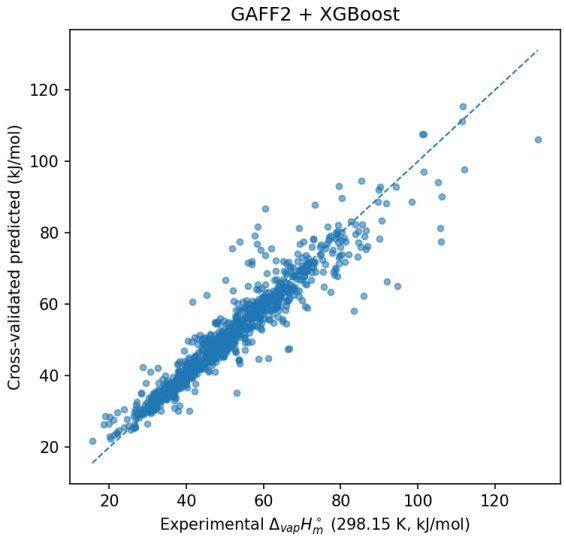


Figure 6. Experimental-versus-predicted ΔvapHm° for GAFF2 + XGBoost.

3.5. Physical information content of GAFF2 parameter families for vaporization enthalpy

When individual feature blocks were examined for enthalpy of vaporization, ATOM+TOPO gave the highest standalone performance, with R^2=0.884. More strikingly, only 10 vdW descriptors reached R^2=0.868. This result indicates that a very low-dimensional representation derived from Lennard-Jones parameters carries strong information about liquid-phase cohesion. Charge features alone gave R^2=0.781, whereas the vdW+charge combination reached R^2=0.880 with 25 features. Although bond and angle blocks also showed high correlations on their own, such summaries may contain indirect proxies for molecular size and atom-type composition and should therefore be interpreted with caution.

Table 7. Standalone XGBoost performance of GAFF2 feature families for ΔvapHm°.

Feature block	Feature count	R^2	MAE (kJ/mol)	RMSE (kJ/mol)
ATOM+TOPO	182	0.884	3.377	5.472
VDW	10	0.868	3.807	5.840
CHARGE	15	0.781	5.198	7.507
BOND	10	0.839	4.243	6.444
ANGLE	10	0.826	4.479	6.692
TORSION	27	0.698	6.090	8.815
VDW + CHARGE	25	0.880	3.690	5.551

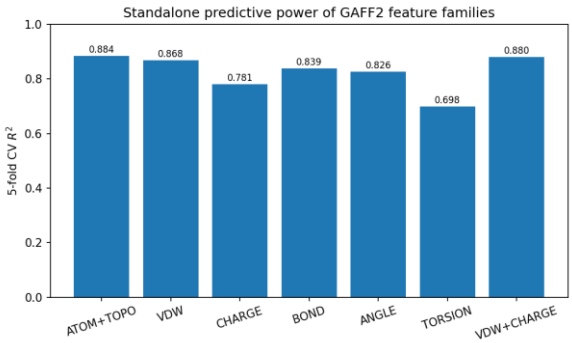


Figure 7. Standalone R^2 values of GAFF2 feature families for ΔvapHm°.

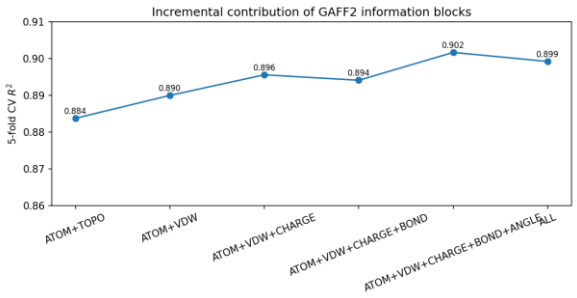


Figure 8. Incremental contribution of GAFF2 information blocks.

In the incremental analysis, ATOM+TOPO increased from R^2=0.884 to 0.890 when vdW features were added, and to 0.896 after partial charges were added. The bond block caused a small decrease, whereas the angle block produced the highest intermediate performance at 0.902. Adding torsions slightly reduced the full model to R^2=0.899. This indicates that adding more force-field terms does not always provide independent predictive information and that some parameter families may be correlated and/or noisy.

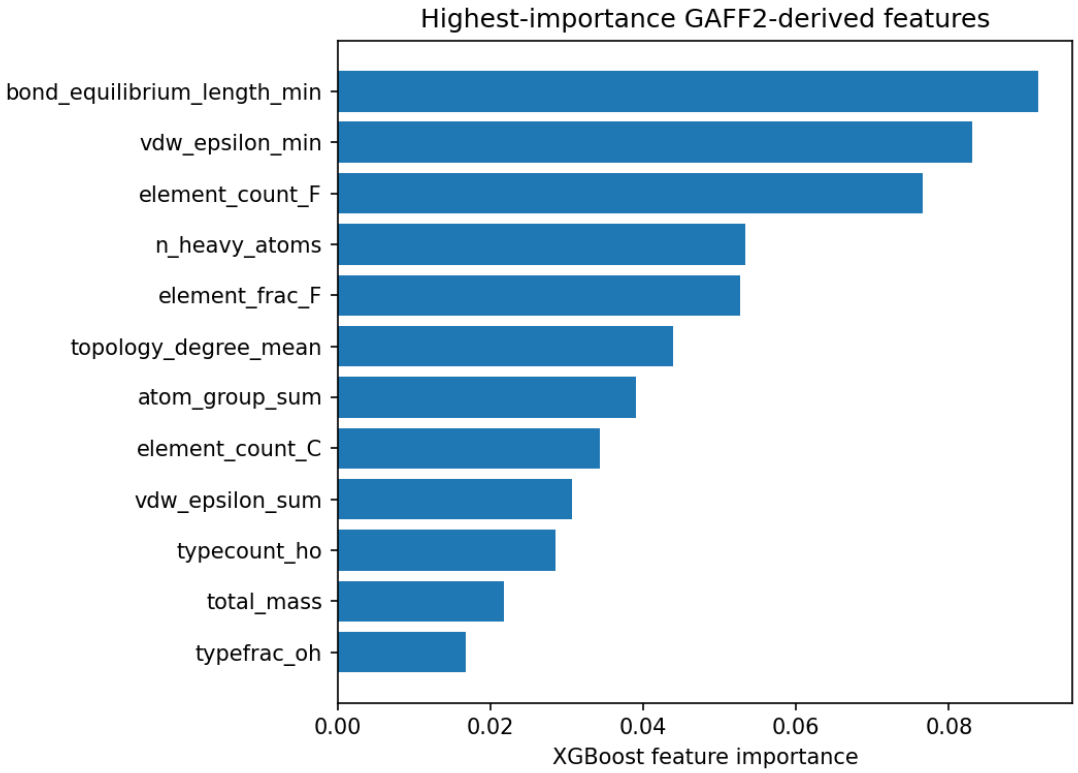


Figure 9. Highest-importance GAFF2-derived features in the ΔvapHm° XGBoost model. Feature importance should not be interpreted as causal evidence.

3.6. RDKit 2D descriptors versus GAFF2 for vaporization enthalpy

On the same 924 molecules, using the same canonical-SMILES GroupKFold split and the same XGBoost settings, 183 usable RDKit 2D descriptors achieved R^2=0.918, MAE=2.825 kJ/mol, and RMSE=4.589 kJ/mol. The GAFF2 fingerprint showed slightly lower performance, with R^2=0.899, MAE=3.117 kJ/mol, and RMSE=5.095 kJ/mol. This result does not suggest that GAFF2 should replace general-purpose cheminformatics descriptors; rather, it shows that a representation derived from physical parameters developed for simulation can achieve surprisingly similar performance in property prediction.

This trend is consistent with the slight RDKit advantage reported for density and refractive-index prediction by Hu et al. (2026). The GAFF2 representation used here is broader than atom-type counts alone, because it directly includes vdW, AM1-BCC charge, bond, angle, and torsion parameter blocks.

Table 8. Performance of GAFF2 and RDKit representations on the same 924 molecules under identical XGBoost/CV conditions.

Representation	n	Features	R^2	MAE (kJ/mol)	RMSE (kJ/mol)
GAFF2 fingerprint + XGBoost	924	254	0.899	3.117	5.095
RDKit 2D descriptors + XGBoost	924	183	0.918	2.825	4.589

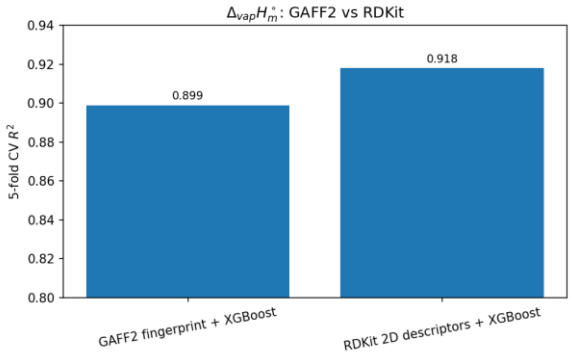


Figure 10. GAFF2 and RDKit R^2 comparison for ΔvapHm°.

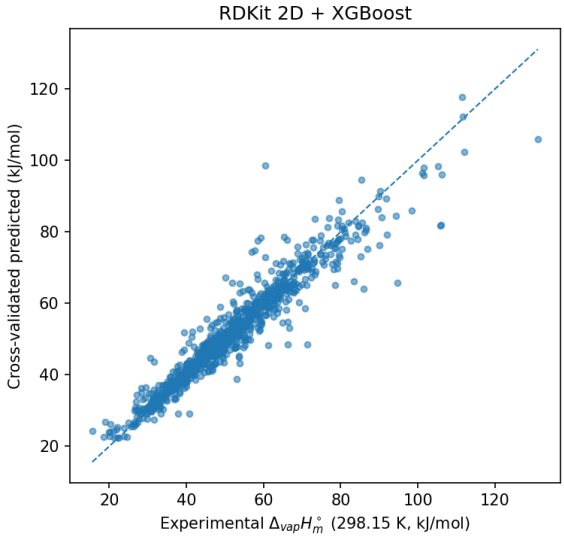


Figure 11. Experimental-versus-predicted ΔvapHm° for RDKit 2D + XGBoost.

4. Discussion

The central result of this study is that a molecular-mechanics force field need not be viewed solely as a numerical parameter repository for energy minimization or molecular dynamics. GAFF2 parameters combine multiple layers of physically meaningful information, including chemical environment through atom types, atomic size and dispersion through Lennard-Jones parameters, electrostatic charge distribution, and intramolecular deformation potentials. Converting this information into fixed-length fingerprints made it possible to establish statistical relationships with experimental physicochemical properties without performing explicit condensed-phase simulations.

The melting-point ablation results sharpen the distinction between the two target properties. ATOM+TOPO alone reached R^2=0.837 for Tm, whereas VDW+CHARGE reached R^2=0.810. In contrast, for ΔvapHm°, only ten vdW descriptors reached R^2=0.868, close to the ATOM+TOPO value of 0.884, and VDW+CHARGE reached R^2=0.880. The relative shift toward composition/topology for Tm is physically plausible because melting is governed not only by pairwise intermolecular interactions but also by molecular shape, symmetry, crystal packing, polymorph selection, and packing efficiency. Conversely, vaporization enthalpy at 298.15 K is more directly related to cohesive interactions in the liquid phase, so a stronger nonbonded signal is expected. These ablation results quantify predictive information and should not be read as standalone evidence of causality.

The GAFF2 fingerprint reached $R^2 \approx 0.85$ for melting point despite not explicitly including crystal structure. RDKit 2D descriptors reached R^2=0.876 on the same 969 molecules. This suggests that molecular composition and topological information are strong predictors of melting temperature while also indicating a natural performance ceiling for molecule-only representations when explicit crystal-packing information is absent. On the common 893-compound subset, both RDKit and GAFF2 machine-learning models substantially outperformed the Joback group-contribution prediction.

Ferraz-Caetano et al. (2024a) reported an MAE of approximately 3.02 kJ/mol using a 106-descriptor Random Forest framework on the broader ΔvapHm-VOC database. The controlled RDKit+XGBoost comparison in the present study gave an MAE of 2.825 kJ/mol on the strict 924-molecule subset. Because the data subsets and validation schemes are not identical, these values should not be compared directly as better or worse. The purpose of the present work is not to claim a new state-of-the-art ΔvapHm° model, but to quantify the physical information content of force-field-derived descriptors.

The presence of quantities such as minimum vdW ε, total vdW ε, total absolute charge, and total polarizability among influential variables is compatible with the physics-informed hypothesis. At the same time, the high importance of features such as minimum equilibrium bond length and fluorine count/fraction shows that the model may use some variables as proxies for chemical class and molecular size. Feature-importance values therefore require cautious interpretation.

Overall, the slightly higher accuracy of RDKit 2D descriptors relative to GAFF2-based fingerprints does not falsify the initial hypothesis. Instead, it demonstrates that two distinct molecular representations can both provide strong predictive capacity under the same learning algorithm. The contribution of the GAFF2

representation lies in showing that parameters developed primarily for simulation can also function as a compact, physically interpretable information source for data-driven property prediction without long molecular-dynamics simulations.

5. Limitations and Transparency

Not every record in the source datasets reached the final machine-learning set. The final subsets were determined by automated structural eligibility, computation-time limits, parameterization success, and parameter-completeness filtering rather than by random sampling; they should therefore not be assumed to perfectly represent the chemical distribution of the full databases.

Automatic exclusion of timed-out or failed parameterizations may underrepresent larger, more complex, or difficult-to-parameterize molecules. No failed structure was manually rescued.

Crystal structure, polymorphism, and actual solid-state packing were not used as explicit descriptors in the melting-point models.

The ΔvapHm° results apply to a curated chemical space consisting predominantly of small-to-medium, neutral organic compounds at 298.15 K; they should not be generalized directly to other temperatures, ionic species, or very different chemical classes.

The comparison is based on grouped cross-validation; no independent external test set was used. Hyperparameter optimization was not performed extensively, and predefined common settings were preferred.

The algorithm and fold structure were kept the same in the RDKit and GAFF2 comparisons, but representation dimensionality differed: 184 RDKit 2D descriptors versus 250 GAFF2 features for melting point, and 183 RDKit descriptors versus 254 GAFF2 features for vaporization enthalpy.

Feature importance and ablation indicate statistical information content; by themselves, they do not constitute evidence of a causal physical mechanism.

6. Conclusion

This study demonstrated that melting point and standard enthalpy of vaporization can be predicted with useful accuracy by combining different molecular representations with machine learning. GAFF2-derived force-field descriptors reached R^2=0.850 for melting point and R^2=0.899 for standard enthalpy of vaporization with XGBoost. General-purpose RDKit 2D molecular descriptors provided slightly higher accuracy under the same machine-learning framework, with R^2=0.876 and R^2=0.918, respectively.

For melting point, the standalone family analysis showed that ATOM+TOPO was the strongest individual GAFF2 block (R^2=0.837), while VDW+CHARGE reached R^2=0.810 with only 25 features. On the common 893 molecules for which Joback was applicable, the R^2 values for RDKit 2D+XGBoost, GAFF2+XGBoost, and Joback were 0.884, 0.854, and 0.628, respectively. Thus, both machine-learning representations clearly exceeded the classical group-contribution benchmark, while the stronger role of ATOM+TOPO is consistent with the structural and solid-state complexity of melting behavior.

For standard enthalpy of vaporization, the fact that only ten Lennard-Jones vdW descriptors reached R^2=0.868 and the vdW+charge block reached R^2=0.880 indicates that nonbonded force-field components carry strong experimental information about intermolecular cohesion. The full GAFF2 representation reached R^2=0.899, showing that meaningful physicochemical predictions can be obtained from statistical summaries of force-field parameters without performing long molecular-dynamics simulations.

The principal finding is therefore not that GAFF2 is superior to general-purpose cheminformatics descriptors. Rather, both standard molecular descriptors such as RDKit and GAFF2 parameters originally developed for molecular mechanics can be converted into effective information sources for machine learning. GAFF2-derived descriptors provide a complementary and physically interpretable representation, particularly for properties related to intermolecular interactions. Future work should evaluate independent external test sets, combined GAFF2-cheminformatics representations, alternative force fields, and explicit solid-state information for melting-point prediction.

Data and Software Note

The source datasets for melting point and standard enthalpy of vaporization were obtained from open data repositories (Bradley et al., 2014; Ferraz-Caetano et al., 2024b). GAFF2 parameterization was performed with AmberTools using Antechamber and parmchk2 (Wang et al., 2004, 2006; Case et al., 2023), with AM1-BCC partial charges assigned according to the established charge-model framework (Jakalian et al., 2000; He et al., 2020). Molecular preparation and descriptor calculations were performed with RDKit (RDKit, n.d.), whereas machine-learning analyses were conducted in Python using scikit-learn and XGBoost (Pedregosa et al., 2011; Chen & Guestrin, 2016). The parser, fingerprint-generation, and analysis scripts developed for this study were kept modular to support methodological reproducibility.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest.

References

Bradley, J.-C., Lang, A., & Williams, A. J. (2014). Jean-Claude Bradley Double Plus Good (Highly Curated and Validated) Melting Point Dataset [Data set]. *figshare*. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.1031638

Case, D. A., Aktulga, H. M., Belfon, K., Cerutti, D. S., Cisneros, G. A., Cruzeiro, V. W. D., Forouzesh, N., Giese, T. J., Götz, A. W., Gohlke, H., Izadi, S., Kasavajhala, K., Kaymak, M. C., King, E., Kurtzman, T., Lee, T.-S., Li, P., Liu, J., Luchko, T., … Merz, K. M. (2023). AmberTools. *Journal of Chemical Information and Modeling, 63*(20), 6183–6191. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.3c01153

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785-794). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Ferraz-Caetano, J., Teixeira, F., & Cordeiro, M. N. D. S. (2024a). Data-driven, explainable machine learning model for predicting volatile organic compounds' standard vaporization enthalpy. *Chemosphere, 359*, 142257. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142257

Ferraz-Caetano, J., Teixeira, F., & Cordeiro, M. N. D. S. (2024b). ΔvapHm-VOC: Standard molar vaporization enthalpy database for machine learning prediction models [Data set]. *Zenodo*. https://doi.org/10.5281/zenodo.11127880

Halgren, T. A. (1999). MMFF VI. MMFF94s option for energy minimization studies. *Journal of Computational Chemistry, 20*(7), 720–729. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-987X(199905)20:7<720::AID-JCC7>3.0.CO;2-X

He, X., Man, V. H., Yang, W., Lee, T.-S., & Wang, J. (2020). A fast and high-quality charge model for the next generation general AMBER force field. *The Journal of Chemical Physics, 153*(11), 114502. https://doi.org/10.1063/5.0019056

Hu, B., Zhai, J., Qi, X., He, X., Wang, N. X., & Wang, J. (2026). Toward predicting solubility of arbitrary solutes in arbitrary solvents: Prediction of density and refractive index using machine learning algorithms with global sensitivity analysis. *Organic Process Research & Development, 30*(7), 2028-2040. https://doi.org/10.1021/acs.oprd.6c00166

Jakalian, A., Bush, B. L., Jack, D. B., & Bayly, C. I. (2000). Fast, efficient generation of high-quality atomic charges. AM1-BCC model: I. Method. *Journal of Computational Chemistry, 21*(2), 132-146. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-987X(20000130)21:2<132::AID-JCC5>3.0.CO;2-P

Joback, K. G., & Reid, R. C. (1987). Estimation of pure-component properties from group-contributions. *Chemical Engineering Communications, 57*(1-6), 233-243. https://doi.org/10.1080/00986448708960487

Kong, D., Luan, Y., Zhao, X., Lu, Y., Li, W., Zhang, Q., & Pang, A. (2023). Extended atom-based and bond-based group contribution descriptor and its application to melting point prediction of energetic compounds. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 243*, 105021. https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.105021

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., VanderPlas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay,

É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research, 12*, 2825–2830.

Pinal, R. (2004). Effect of molecular symmetry on melting temperature and solubility. *Organic & Biomolecular Chemistry, 2*(18), 2692–2699. https://doi.org/10.1039/B407105K

RDKit. (n.d.). RDKit: Open-source cheminformatics [Computer software]. Retrieved August 31, 2026, from https://www.rdkit.org/ (Software releases archived at https://doi.org/10.5281/zenodo.591637)

Rappé, A. K., Casewit, C. J., Colwell, K. S., Goddard, W. A., III, & Skiff, W. M. (1992). UFF, a full periodic table force field for molecular mechanics and molecular dynamics simulations. *Journal of the American Chemical Society, 114*(25), 10024–10035. https://doi.org/10.1021/ja00051a040

Ren, G.-P., Yin, Y.-J., Wu, K.-J., & He, Y. (2023). Force field-inspired molecular representation learning for property prediction. *Journal of Cheminformatics, 15*, 17. https://doi.org/10.1186/s13321-023-00691-2

Riniker, S., & Landrum, G. A. (2015). Better informed distance geometry: Using what we know to improve conformation generation. *Journal of Chemical Information and Modeling, 55*(12), 2562–2574. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.5b00654

Wang, J., Wang, W., Kollman, P. A., & Case, D. A. (2006). Automatic atom type and bond type perception in molecular mechanical calculations. *Journal of Molecular Graphics and Modelling, 25*(2), 247–260. https://doi.org/10.1016/j.jmgm.2005.12.005

Wang, S., Witek, J., Landrum, G. A., & Riniker, S. (2020). Improving conformer generation for small rings and macrocycles based on distance geometry and experimental torsional-angle preferences. *Journal of Chemical Information and Modeling, 60*(4), 2044–2058. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.0c00025

Wang, J., Wolf, R. M., Caldwell, J. W., Kollman, P. A., & Case, D. A. (2004). Development and testing of a general Amber force field. *Journal of Computational Chemistry, 25*(9), 1157-1174. https://doi.org/10.1002/jcc.20035

ROBUST PORT SELECTION FOR FLUID ANTENNA SYSTEMS IN UAV COMMUNICATIONS UNDER SPATIAL JITTER AND IMPERFECT CSI

Merih Leblebici[1]/ Ali Çalhan[2]

[1]Duzce University, Department of Electrical and Electronics Engineering, merihleblebici@duzce.edu.tr, 0000-0002-7709-2906

[2]Duzce University, Department of Computer Engineering, alicalhan@duzce.edu.tr, 0000-0002-5798-3103

Abstract

Fluid antenna systems (FAS) have been identified as an appealing solution for 6G wireless communications by exploiting the spatial diversity within small-sized devices. But when used with unmanned aerial vehicles (UAV), the performance of FAS suffers from the high-frequency spatial jitter caused by the aerodynamic forces and the inaccuracy in the channel state information (CSI). In this paper, the simultaneous effect of 3D spatial jitter and the CSI inaccuracy is investigated on the performance of FAS-based air-to-ground (A2G) transmissions. To mitigate such problems, a robust selection criterion based on the linear minimum mean-square error (LMMSE) is suggested which exploits the spatial correlations between the ports of the FAS. The simulation outcomes demonstrate the robustness of the presented method compared to the maximum selection criterion, thus avoiding capacity collapse even in highly inaccurate channels and under vibration conditions. These findings highlight the importance of reliable port selection for practical UAV deployment.

Keywords: Fluid antenna systems, UAV communications, spatial jitter, imperfect CSI, LMMSE estimation

1. INTRODUCTION

In future generation wireless communications systems, unmanned aerial vehicles (UAV) form an integral component by operating as aerial base stations or mobile relays for providing ubiquity in connectivity services. To satisfy the extremely high demands for spectral efficiency in 6G wireless communications systems, the use of multi-antenna technologies on UAVs is critical. However, the use of multiple-input multiple-output (MIMO) systems on small-scale UAVs faces significant obstacles.

To overcome the physical constraints of traditional antennas, fluid antenna system (FAS) is considered to be a much more flexible design (Wong et al., 2021). As opposed to the usage of stationary antenna arrays, FAS uses a single or a few radio frequency (RF) pixels located within a continuously varying linear or planar space allowing the user to adjust the choice of ports with the aim to maximize the channel gain (Wong et al., 2023). Even though FAS offers a lot of potential benefits, there are mainly two drawbacks associated with the usage of the technology in the aerial environment: 1) spatial jitter due to wind gusts and mechanical vibrations of UAV rotors, leading to phase shifts (W. Wang & Zhang, 2022), and 2) the lack of accurate channel state information (CSI).

Several studies have analyzed analytical modeling approaches and port selection techniques that can be applied to take maximum advantage of FAS. In particular, performance modeling has been approached by applying a two-stage analytical approximation technique to account for high spatial correlation in the Jakes' model and convert complicated multiple integral terms into one integral in order to determine outage probability (Khammassi et al., 2023). Also, a two-sided asymptotic matching procedure using the Gamma distribution function has been used to formulate the performance of FASs under spatially correlated Nakagami-m fading (Vega-Sanchez et al., 2024).

To address the excessive pilot overhead due to full channel estimation while performing port selection, several learning-based techniques have been explored. In order to maximize capacity in Fluid-MIMO, convex relaxation based joint approach along with alternating optimization technique has been suggested (Efrem & Krikidis, 2024). With respect to multi-user precoded port selection problems, Gaussian process upper confidence bound (GP-UCB) models have been used for the probabilistic inference of unobserved port using limited samples (Z. Wang et al., 2026). Machine learning techniques are also extensively used; a long short-term memory (LSTM) network along with smart predict and optimize (SPO) model has been successfully used to infer the optimal port using minimum of 10% port observation (Chai et al., 2022). Deep reinforcement

learning using constrained soft actor critic (C-SAC) technique has been adopted to optimize long term gain in integrated data and energy transfer (IDET) system (Zhang et al., 2026). Furthermore, in high mobility 6G environment, hybrid predictive-axiomatic techniques are used; unified adaptive modeling algorithms (UAMA) and Fisher information/curvature scores are used for prediction of ports in sparse observability cases (S. Wang & Zheng, 2026).

While most existing works on FAS assume perfect CSI and static environments, the combined impact of spatial jitter and channel estimation errors remains unaddressed. Driven by this research gap, this paper proposes a robust mathematical port selection framework for UAV-based FAS. By leveraging the spatial correlation matrix, our proposed linear minimum mean-square error (LMMSE)-based selection metric filters out the estimation noise and selects the most reliable port under severe uncertainty.

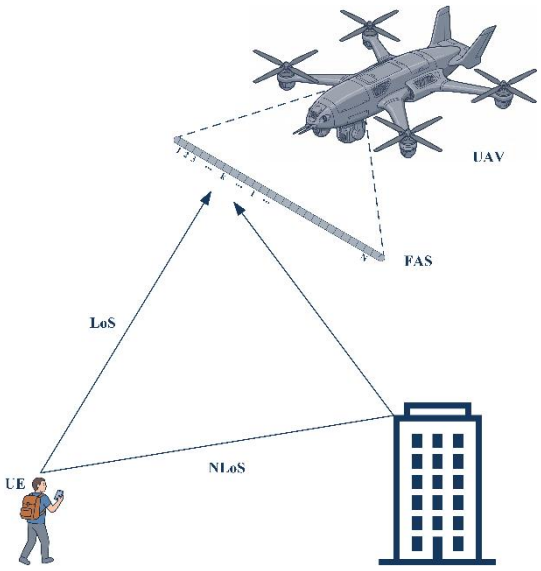


Fig. 1. System model

2. SYSTEM MODEL AND PROBLEM FORMULATION

We consider an A2G communication link where a UAV equipped with a FAS communicates with a single-antenna ground user as shown in Fig. 1. The FAS on the UAV is structured as a linear space of length $W\lambda$, containing N evenly distributed ports. Here, λ represents the wavelength of radiation. The received signal at the n-th port is given by

$$r_n = h_n s + w_n, \quad n \in \{1,2,\dots,N\} \tag{1}$$

where h_n denotes the channel with Rician distributed at the n-th port, s is the information symbol, and w_n represents the zero-mean, σ_w^2 variance complex Gaussian noise at the n-th port.

Due to the close proximity of the ports, the channels corresponding to each port are considered to be spatially correlated. For example, the channels are weakly correlated for large values of W. The displacement of the l-th port from the k-th port is measured as

$$\delta_{k,l} = \left(\frac{l-k}{N-1}\right) W\lambda, \quad \text{for } l > k \tag{2}$$

to characterize the correlation.

2.1. 3D Spatial Jitter Model

Due to aerodynamic perturbations and rotor vibrations during hovering, the actual 3D position of the UAV at any time instance deviates from its nominal coordinates. Let $\mathbf{p}_0 = [x_0, y_0, z_0]^T$ denote the nominal position of the UAV. The instantaneous perturbed position $\mathbf{p}$ is modeled as:

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 + [\Delta x, \Delta y, \Delta z]^T \tag{3}$$

where $\Delta x, \Delta y,$ and $\Delta z \sim \mathcal{N}\left(0, \sigma_j^2\right)$ represent the independent and identically distributed (i.i.d.) spatial jitter components along the three axes, with σ_j^2 being the jitter variance. Consequently, the instantaneous 3D distance d and the elevation angle θ between the UAV and the ground user located at the origin are dynamically affected by this spatial displacement.

It is assumed that the physical displacement caused by spatial jitter occurs on a macroscopic timescale, allowing the UAV's position to remain static during the relevant pilot (e.g., for channel estimation) and data transmission phases of a single coherence block.

2.2. Air-to-Ground Rician Channel with Spatial Correlation

The A2G channel is characterized by a Rician fading model to account for both the dominant line-of-sight (LoS) path and scattered Non-LoS (NLoS) components. The true channel vector $\mathbf{h} \in \mathbb{C}^{N\text{x}1}$ across all N ports can be expressed as:

$$\mathbf{h} = \sqrt{\beta}\left(\sqrt{\frac{K}{K+1}}\, g_{\text{LoS}} + \sqrt{\frac{1}{K+1}}\, g_{\text{NLoS}}\right) \tag{4}$$

where $\beta = \chi d^{-\alpha}$ denotes the large-scale path gain, χ is the shadowing loss, and α is the path loss exponent. The Rician factor K is a function of the instantaneous elevation angle θ, expressed as $K_{\text{dB}} = A \log_{10}(\theta) + B$, where A and B denote parameters that model different environments.

The LoS deterministic phase vector g_{LoS} is defined based on the angle of arrival (AoA) ϕ:

$$g_{\text{LoS}} = \left[1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\delta_{1,2}\cos\phi}, \ldots, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\delta_{1,N}\cos\phi}\right]^T \quad (5)$$

To capture the dense deployment within the compact FAS space, the NLoS component g_{NLoS} is modeled as a spatially correlated multivariate complex Gaussian vector, $g_{\text{NLoS}} \sim \mathcal{N}_{\mathbb{C}}(\mathbf{0}, \mathbf{R})$. According to Jake's spatial correlation model, the entries of the correlation matrix $\mathbf{R} \in \mathbb{R}^{N\text{x}N}$ are given by:

$$[\mathbf{R}]_{k,l} = J_0\left(2\pi\frac{|k-l|W}{N-1}\right) \quad (6)$$

where $J_0(\cdot)$ is the zeroth order Bessel function of the first kind.

2.3. Imperfect Channel Estimation

In practical setups, the receiver estimates the channel matrix through pilot sequences. The estimated channel vector $\hat{\mathbf{h}}$ is contaminated by estimation noise due to finite blocklengths and thermal noise:

$$\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{h} + \sqrt{\beta}\mathbf{e} \quad (7)$$

where $\mathbf{e} \sim \mathcal{N}_{\mathbb{C}}(\mathbf{0}, \sigma_{\text{e}}^2\mathbf{I}_N)$ represents the channel estimation error vector, scaled by the path gain $\sqrt{\beta}$ to ensure the error variance remains relative to the received signal power. Here, $\mathbf{I}_N$ denotes the identity matrix of size $N\text{x}N$.

3. PROPOSED LMMSE-BASED ROBUST PORT SELECTION

The conventional FAS deployment utilizes a greedy maximum-selection metric where the port with the highest estimated gain is chosen, i.e., $n^* = \arg\max_n |\hat{\mathbf{h}}_n|^2$ for $n \in \{1,2,\ldots,N\}$. However, this approach is highly vulnerable to estimation noise because a single noisy fluctuation can lead to a severely suboptimal port choice.

To overcome this vulnerability, we propose a robust port selection metric based on the LMMSE framework. The objective is to derive a filter matrix $\mathbf{F}$ that minimizes the mean-square error between the true channel and its robust estimate, $\mathbb{E}\left\{\left\|\mathbf{h} - \mathbf{F}\hat{\mathbf{h}}\right\|^2\right\}$. The LMMSE estimator is mathematically formulated as:

$$\mathbf{F} = \mathbf{C}_{\mathbf{h}\hat{\mathbf{h}}}\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{h}}\hat{\mathbf{h}}}^{-1} \quad (8)$$

where $\mathbf{C}_{\mathbf{h}\hat{\mathbf{h}}}$ is the cross-covariance matrix between $\mathbf{h}$ and $\hat{\mathbf{h}}$, and $\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{h}}\hat{\mathbf{h}}}$ is the auto-covariance matrix of the estimated channel. Given that $\mathbf{h}$ and $\mathbf{e}$ are uncorrelated, these matrices are derived as:

$$\mathbf{C}_{\mathbf{h}\hat{\mathbf{h}}} = \mathbb{E}\{\mathbf{h}\hat{\mathbf{h}}^H\} = \beta\mathbf{R} \quad (9)$$

$$\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{h}}\hat{\mathbf{h}}} = \mathbb{E}\{\hat{\mathbf{h}}\hat{\mathbf{h}}^H\} = \beta(\mathbf{R} + \sigma_{\text{e}}^2\mathbf{I}_N)^{\dagger} \quad (10)$$

Substituting Equ. (9) and (10) into (8), the large-scale path gain β cancels out, yielding a scale-invariant robust filter:

$$\mathbf{F} = \mathbf{R}(\mathbf{R} + \sigma_e^2 \mathbf{I}_N)^{\dagger} \tag{11}$$

where $(\cdot)^{\dagger}$ denotes the pseudo-inverse to ensure numerical stability in the presence of the ill-conditioned dense spatial correlation matrix $\mathbf{R}$ as $\sigma_e^2 \to 0$.

Finally, the robust estimated channel vector is computed as $\hat{\mathbf{h}}_{\text{robust}} = \mathbf{F}\hat{\mathbf{h}}$, and the proposed robust port selection rule is executed as:

$$n^*_{\text{robust}} = \arg\max_n \left|\hat{\mathbf{h}}_{\text{robust,n}}\right|^2 \tag{12}$$

4. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

In this section, we evaluate the performance of the proposed LMMSE-based robust port selection scheme for UAV-FAS through extensive Monte Carlo simulations. The general simulation parameters are presented in Table 1.

Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Carrier frequency, f_c	3.5 GHz
UAV position	$(100, 100, 100)$ m
User position	$(0, 0, 0)$ m
AoA, ϕ	45°
Transmit power, P_{tx}	0.2 W
System bandwidth, BW	20 MHz
Number of FAS ports, N	16
FAS aperture length, $W\lambda$	1.5λ
Environment	Suburban, $(A = 13, B = -10)$
Jitter standard deviation	2 cm
Monte Carlo trials	100000

As illustrated in the parametric evaluation results, the ergodic capacity is analyzed against the channel estimation error variance σ_e^2. The achievable channel capacity is evaluated according to the Shannon capacity theorem. Specifically, the channel capacity is computed as

$$C = BW \log_2(1 + SNR_{n^*})$$

where SNR_{n^*} represents the received signal-to-noise ratio corresponding to the selected port.

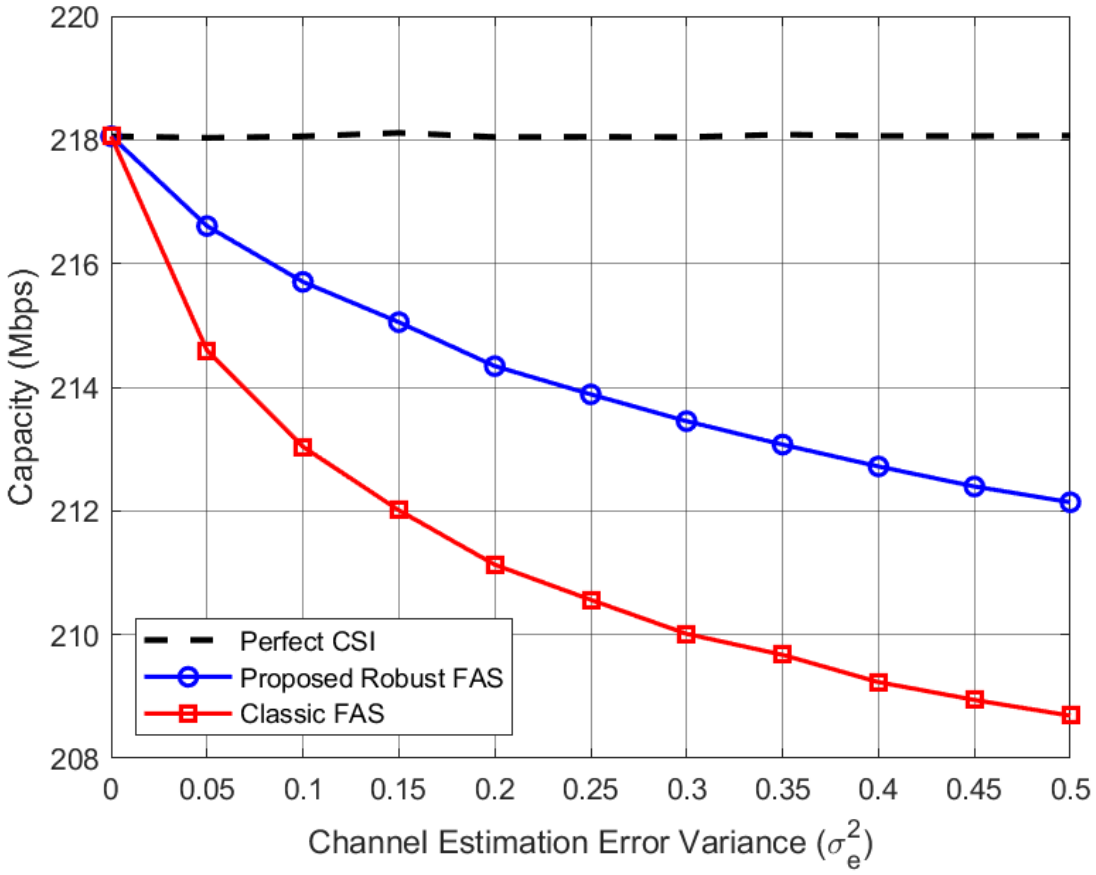


Fig. 2. Channel estimation error effect

As shown in Fig. 2, the conventional maximum-selection practical FAS experiences an immediate capacity collapse even under mild noise conditions ($\sigma_e^2 = 0.05$). Conversely, the proposed robust scheme successfully maintains a close-to-optimal capacity curve across the entire error spectrum, demonstrating remarkable immunity against estimation impairments.

Furthermore, as shown in Fig. 3, the impact of the number of fluid antenna ports $N \in \{8, 16, 24, 32\}$ under a fixed error variance of $\sigma_e^2 = 0.2$ indicates that in the conventional scheme, increasing N does not yield a substantial capacity gain due to the high probability of selecting a noisy outlier port. In contrast, the proposed LMMSE scheme efficiently leverages the increased spatial correlation matrix dimensionality of denser ports, consistently expanding the performance gap and providing higher spectral efficiency.

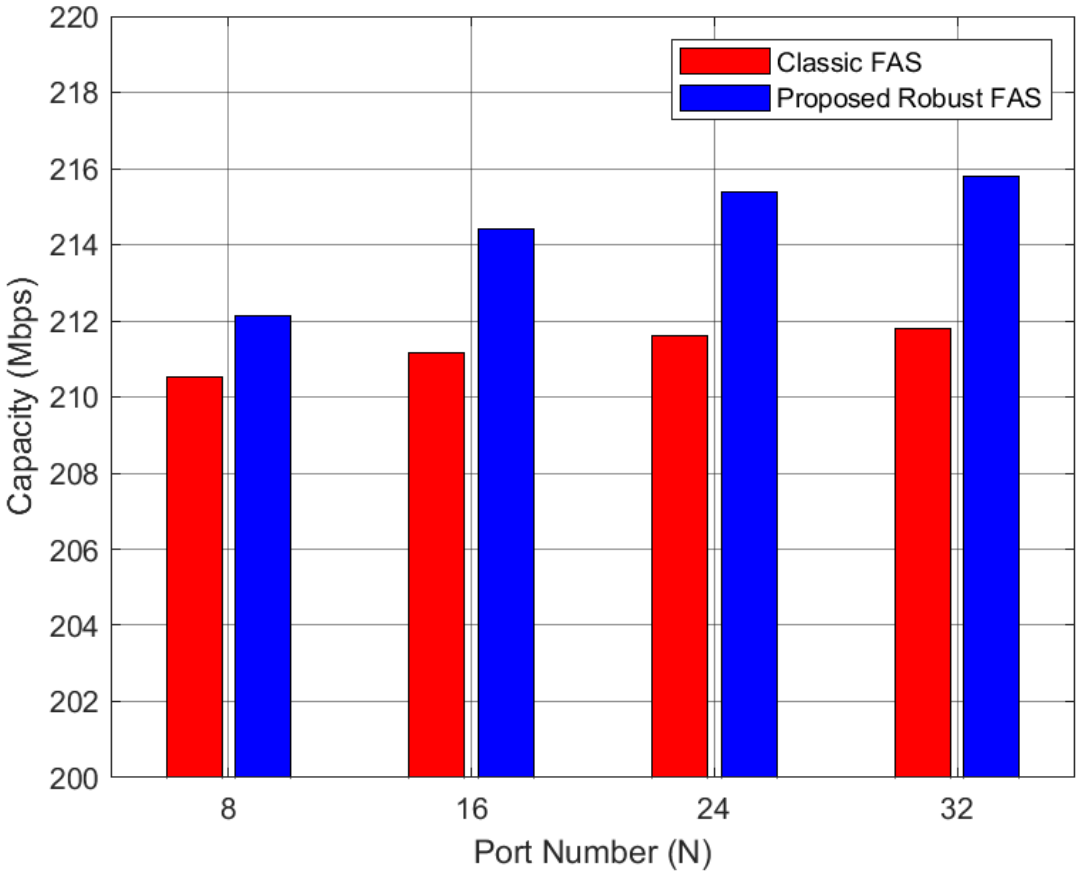


Fig. 3. Port number effect

Finally, the resilience against aerodynamic-induced mechanical vibration is examined by varying the spatial jitter standard deviation σ_{jitter} from 0 to 5 cm under a fixed error variance of $\sigma_e^2 = 0.2$. As shown in Fig. 4, the results verify that while spatial jitter degrades the absolute alignment of both systems, the proposed robust port selection rule guarantees a robust capacity floor, safely mitigating the rapid phase perturbations caused by the UAV's rotor movements.

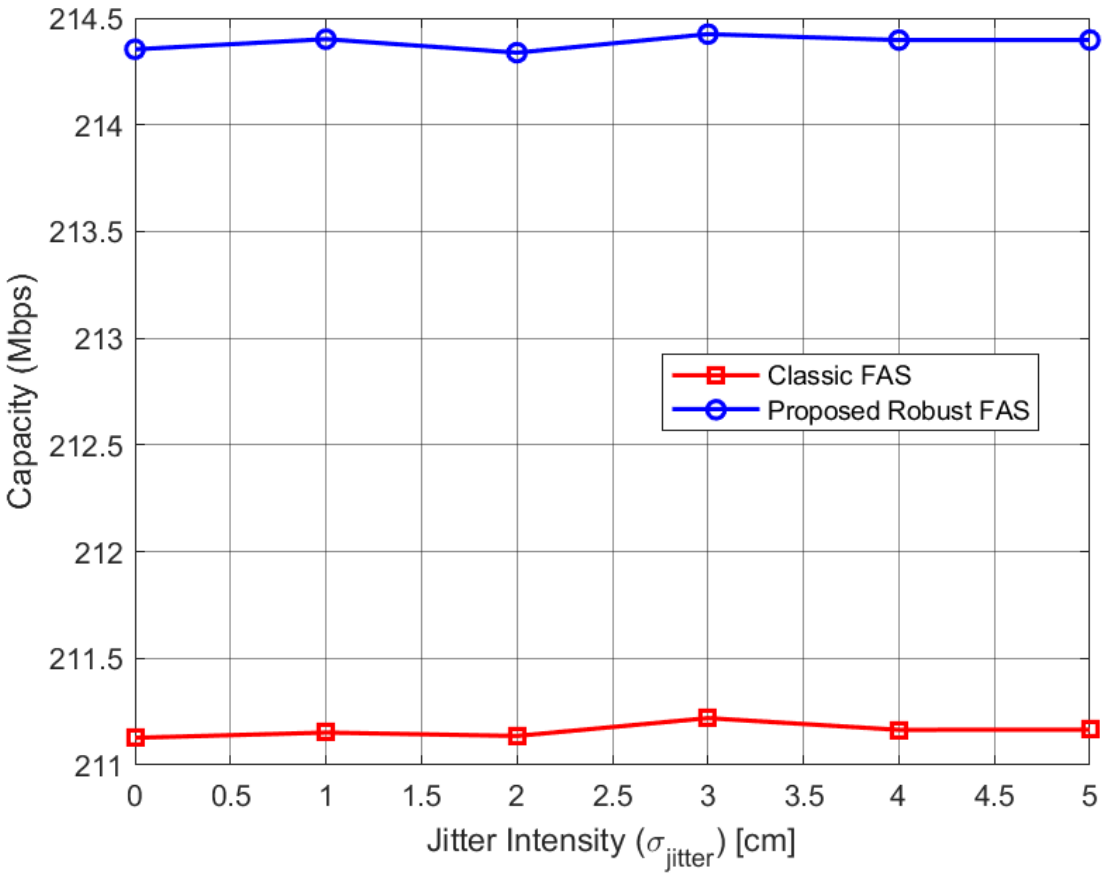


Fig. 4. Jitter resilience analysis

5. CONCLUSION

In this paper, we have proposed a robust port selection mechanism for UAV-based FAS operating under the joint impairments of 3D spatial jitter and imperfect CSI. By executing an LMMSE filter that exploits spatial correlation, the proposed metric effectively guards the selection process against random estimation errors. Comprehensive simulations confirm that the proposed algorithm secures significant capacity savings over the traditional opportunistic selection, clearing a bottleneck for reliable fluid antenna implementation on aerial networks.

REFERENCES

Chai, Z., Wong, K. K., Tong, K. F., Chen, Y., & Zhang, Y. (2022). Port Selection for Fluid Antenna Systems. *IEEE Communications Letters*, *26*(5), 1180–1184. https://doi.org/10.1109/LCOMM.2022.3152451

Efrem, C. N., & Krikidis, I. (2024). Transmit and Receive Antenna Port Selection for Channel Capacity Maximization in Fluid-MIMO Systems. *IEEE Wireless Communications Letters*, *13*(11), 3202–3206. https://doi.org/10.1109/LWC.2024.3458417

Khammassi, M., Kammoun, A., & Alouini, M. S. (2023). A New Analytical Approximation of the Fluid Antenna System Channel. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *22*(12), 8843–8858. https://doi.org/10.1109/TWC.2023.3266411

Vega-Sanchez, J. D., Urquiza-Aguiar, L., Paredes, M. C. P., & Osorio, D. P. M. (2024). A Simple Method for the Performance Analysis of Fluid Antenna Systems under Correlated Nakagami-m Fading. *IEEE Wireless Communications Letters*, *13*(2), 377–381. https://doi.org/10.1109/LWC.2023.3329794

Wang, S., & Zheng, H. (2026). A Hybrid Prediction-Axiom Dual-Driven Port Selection Algorithm for Fluid Antenna Systems in 6G High-Mobility Scenarios. *Electronics (Switzerland)*, *15*(4). https://doi.org/10.3390/electronics15040880

Wang, W., & Zhang, W. (2022). Jittering Effects Analysis and Beam Training Design for UAV Millimeter Wave Communications. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *21*(5), 3131–3146. https://doi.org/10.1109/TWC.2021.3118558

Wang, Z., Wei, G., Hu, X., & Li, A. (2026). Efficient Port Selection for MIMO Fluid Antenna Systems: A Gaussian Process Bandit Approach. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. https://doi.org/10.1109/TVT.2026.3695817

Wong, K. K., New, W. K., Hao, X., Tong, K. F., & Chae, C. B. (2023). Fluid Antenna System - Part I: Preliminaries. *IEEE Communications Letters*, *27*(8), 1919–1923. https://doi.org/10.1109/LCOMM.2023.3284320

Wong, K. K., Shojaeifard, A., Tong, K. F., & Zhang, Y. (2021). Fluid Antenna Systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *20*(3), 1950–1962. https://doi.org/10.1109/TWC.2020.3037595

Zhang, L., Zhao, Y., Yang, H., Liang, G., & Hu, J. (2026). Energy-Efficient Port Selection and Beamforming Design for Integrated Data and Energy Transfer Assisted by Fluid Antennas. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, *44*, 1480–1494. https://doi.org/10.1109/JSAC.2025.3615576

ENERGY-EXERGY PERFORMANCE OF A GRAPHENE/h-BN/Al_2O_3 NANOLUBRICANT IN AN R134A SYSTEM

Assoc.Prof.Dr., Mustafa AKKAYA[1]/ M.Sc.Student, Elif Nur EREN[2]

[1]Department of Energy Systems Engineering, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Türkiye

mustafa.akkaya@cbu.edu.tr 0000-0002-8690-921X

[2]Graduate School, Department of Energy Systems Engineering, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Türkiye

Abstract

This study experimentally investigates the effect of a hybrid nanolubricant of graphene, hexagonal boron nitride (h-BN) and aluminum oxide (Al_2O_3) nanoparticles on the energy and exergy performance of an R134a-PAG vapor compression refrigeration system. Nanoparticle additives were used at mass fractions of 0.00%, 0.25%, 0.50%, 0.75% and 1.00% relative to the PAG oil. The system load was set to 50%, 75% and 100%. Three replicate measurements were performed for each of the 15 experimental conditions. Evaporator capacity ranged from 0.687 to 1.808 kW, coefficient of performance (COP) from 2.548 to 3.589 and exergy efficiency from 10.790% to 34.720%. The effect of the load on all performance indicators was dominant while the effect of the concentration was load-dependent and did not result in a consistent improvement. The results indicate that the highest value of COP (3.589) and exergy efficiency (34.720%) were obtained with pure PAG oil at 50% load. With 0.50% concentration, the COP increased by 3.74% and 1.34% at 75% and 100% loads, respectively, compared to the pure conditions, while the COP decreased by 4.69% and 5.80% at the same loads with the 0.75% concentration. The condenser had the highest average exergy destruction (0.1761 kW) while the evaporator had the lowest (0.0152 kW) on a component basis. The results show that the effect of hybrid nanolubricant addition on system performance is operating condition-specific and that the optimal concentration should be assessed in conjunction with the load level.

Keywords: Hybrid nanolubricant, Vapor compression refrigeration system, Energy analysis, Exergy analysis, Coefficient of performance.

1.INTRODUCTION

Vapor compression refrigeration systems are widely used in food preservation, air conditioning, health care applications and industrial processes and they have an important position among refrigeration technologies because of their ease of implementation and wide operating range. Many factors like compressor energy consumption, refrigerant properties, operating load, heat transfer conditions and mechanical losses affect the performance of these systems. The increase of the energy efficiency is thus a combined evaluation of the thermodynamic cycle and the system components as well as the working fluids and lubricants used (She et al., 2018; McLinden et al., 2020). Compressor lubricants play essential roles such as reducing friction and wear between moving surfaces, enabling sealing, and carrying away heat generated by friction. In recent years, research has focused on the applications of nanolubricants based on the addition of nanoparticles into base oils to improve the thermal and tribological properties of lubricants. Nanoparticle additives have been reported to decrease the friction coefficient and enhance tribological performance of lubricants at suitable concentrations (Waqas et al., 2021). It has been reported that nanorefrigeration and nanolubricant applications have the potential to improve thermophysical properties and heat transfer behavior in refrigeration systems (Sanukrishna et al., 2017). The influence of the addition of the nanoparticles is not only dependent on the type of the particles but also on parameters such as concentration, size, temperature, base fluid and stability. Hybrid nanolubricants may allow the superior properties of different nanoparticles in order to be simultaneously exploited by using multiple nanoparticles. However, increasing the concentration does not guaranty a continuous improvement in performance. Soliman et al. found that the cycle performance was improved, and the energy consumption was reduced by the low concentration of Al_2O_3 in a system operating with R134a (Soliman et al., 2019). Zawawi et al. (2022) showed that the nanoparticle mixing ratio in hybrid nanolubricants is a decisive factor affecting COP and compressor work. (Zawawi et al., 2022). Akkaya reported that the COP improved up to 16.83% using ZnO/PAG and MoO_3/PAG nanolubricants compared to pure PAG oil (Akkaya, 2021). Experimentally, Dağıdır and Bilen showed that single component nanolubricants including Al_2O_3, graphene and CNT enhance the compressor performance up to a certain concentration (Dağıdır and Bilen, 2023).

The literature review shows that the most of the studies have been related to single – component or two-component hybrid nanolubricants, and that the research work on the evaluation of a three-component hybrid nanolubricant composed of graphene, h-BN, and Al_2O_3 in an R134a – PAG refrigeration system under different concentration and load conditions, considering energy and exergy indicators is scarce. Hence, the aim of this

study is to experimentally investigate the influences of ternary hybrid nanolubricant addition on the energy and exergy performance of a vapor compression refrigeration system under different load conditions.

2.MATERIAL AND METHODS

2.1.Experimental Setup and Measurement System

The experimental work was carried out in a vapor-compression refrigeration cycle consisting of a semi-hermetic reciprocating compressor, a condenser, an expansion device and an evaporator (Figure 1). The refrigerant was R134a, and the compressor lubricant was a polyalkylene glycol (PAG) based oil. Four basic state points were taken along the cycle: evaporator outlet-compressor inlet (1), compressor outlet – condenser inlet (2), condenser outlet-expansion device inlet (3), expansion device outlet-evaporator inlet (4). The mass flow rate of R134a and the electrical power consumption of the compressor were measured simultaneously with the pressure and temperature values at these points. Temperature measurements were carried out by K-type thermocouples (±0.5 ^{0}C) and Pt100 resistance thermometers (±0.15 ^{0}C), pressure measurements were carried out by sensors with ±0.1% and ±0.25% full scale accuracy on the low and high pressure lines, respectively, the mass flow rate was measured by a mass flow meter (±0.5% of reading) and the power analyzer (±0.5% of reading ±0.1% full scale). All pressures were taken as absolute pressure.

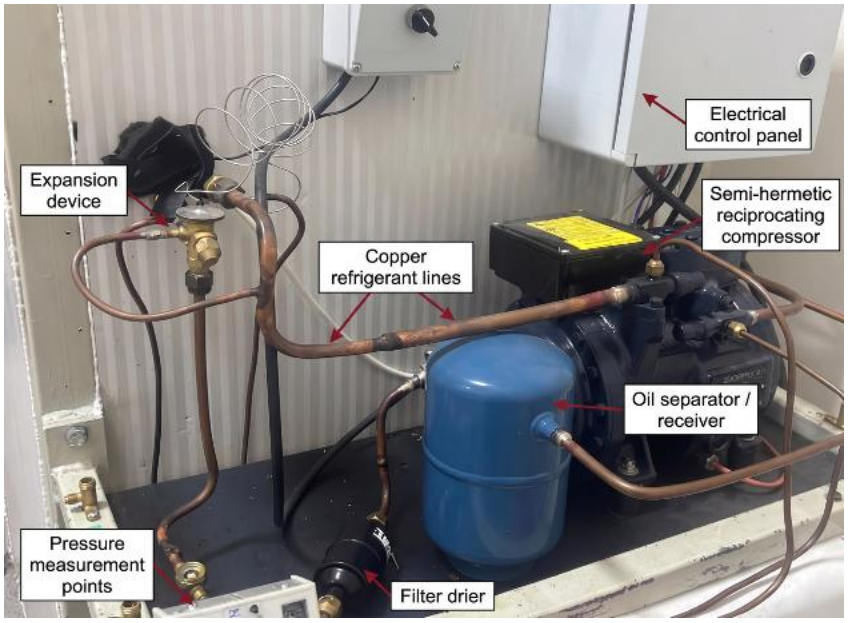


Figure 1. General view of the experimental setup

2.2.Preparation of the Hybrid Nanolubricant

Samples of hybrid nanolubricant were prepared by two step method. In this method nanoparticles are dispersed in the base lubricant. Graphene and h-BN nanoparticles with an average size of 50 nm, and Al_2O_3 nanoparticles with an average size of 20 nm (purity ≥ 99%) were used as additives in a mass ratio of 1:1:1. In all cases the base oil was 100 g PAG oil, and the hybrid additive was added in amounts of 0.25%, 0.50%, 0.75% and 1.00% by mass of oil. The pure PAG oil was used as a reference sample with 0% concentration. The concentration levels were designated by codes K00, K025, K050, K075 and K100. The nanoparticles were weighed using an analytical balance and mixed in a glass beaker, PAG oil was then gradually added and the mixture was mechanically stirred for 2-3 min. Then, the samples were sonicated at a frequency of 40 kHz and power of 200 W for 30-40 min, with the dispersion state being checked every 10 min. Samples after ultrasonic treatment were kept in sealed containers for 24 h, and those without visible sedimentation or phase separation were used for the experiments (Figure 2). The exposure time of the samples in the open environment was limited due to the hygroscopic property of the PAG oil.

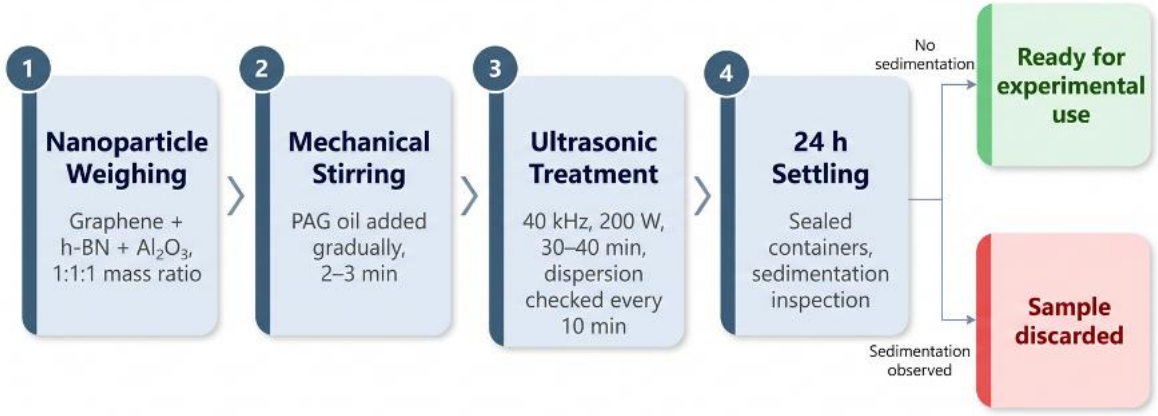


Figure 2. Preparation steps of the hybrid nanolubricant

2.3.Experimental design and operating conditions

The experimental study was designed based on full factorial design of two independent variables of hybrid nanolubricant concentration (C) and system load level (L). The concentration was applied at 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 wt% and the system load at 50%, 75%, and 100%. There were five concentration and three loads, which combined to give 15 experimental conditions. Each of these conditions was measured three times, giving a total of 45 measurements. At each operating condition, after steady state conditions were reached, pressure,

temperature, mass flow rate, and electrical power were recorded. The measurements were reviewed for missing data, time synchronization, and physical consistency before analysis.

2.4.Determination of thermophysical properties

The effective density values of the samples were calculated using the mixing rule. The specific heat values were determined by differential scanning calorimetry (DSC) under a nitrogen atmosphere at a heating rate of 10 ^{0}C/min. The thermal conductivity values were measured at 40 °C using the transient plane source method. Dynamic viscosity was measured using a rotational viscometer and compared with the Brinkman model (Brinkman, 1952). The thermophysical properties are listed in Table 1 as a function of concentration.

Table 1. Concentration-dependent thermophysical properties

Concentration (%)	Density (kg/m^3)	Specific heat (kJ/(kg.K))	Thermal Conductivity (W/(m.K))	Dynamic Viscosity (Pa.s)	Prandtl number
0.00	1150	1.190±0.012	0.092±0.006	0.00285	36.86
0.25	1162	1.180±0.009	0.095±0.004	0.00285	35.40
0.50	1174	1.170±0.011	0.097±0.007	0.00285	34.38
0.75	1186	1.160±0.015	0.093±0.008	0.00286	35.67
1.00	1198	1.150±0.013	0.090±0.009	0.00286	36.54

2.5.Energy analysis

The energy performance of the system was evaluated because of the first law of thermodynamics. The analyses were performed based on the assumptions of steady state operation of the system, constant mass flow rate through the cycle and negligible changes in kinetic and potential energy. The measured absolute pressure and temperature at the state points were used to determine the specific enthalpy values of R134a using the CoolProp library in the Python environment. Using these relations the evaporator capacity Qevap = m(h_1-h_4), the condenser capacity Qcond= m (h_2 – h_3) and the enthalpy based power transferred by the compressor to the refrigerant W_{comp}=m (h_2-h_1) was calculated (Çengel et al., 2024). It was assumed that the process in the expansion device is an isenthalpic process with h_3=h_4. The system COP were calculated as COP = Q_{evap} / W_{el}, by dividing the evaporator capacity by the compressor electrical power, directly measured electrical power to verify the internal consistency of the calculations (Çengel et al., 2024).

2.6.Exergy analysis

The system performance based on second law was analyzed by exergy analysis. The reference environment conditions were taken as T_0 = 298.15 K and P_0 = 101.325 kPa and the specific flow exergy at each state point were calculated by the relation ψi = (hi-h0)- T_0 (S_i-S_0) (Çengel et al., 2024). The following relations were used.

For the compressor, neglecting heat exchange with the surroundings: $ED_{comp} = W_{el} - m(\psi 2 - \psi 1)$. For the condenser assuming that the rejected heat is transfered to the reference surroundings: $ED_{cond} = m(\psi 2 - \psi 3)$. For the expansion device, since there is no work or heat transfer: $ED_{exp} = m(\psi 3 - \psi 4)$. The mean heat transfer temperature for the evaporator was taken as the arithmetic mean of the inlet and outlet temperatures and the destruction was calculated as $ED_{evap} = m(\psi 4 - \psi 1) + Q_{evap}(1 - T_0 / T_{evap})$. The total exergy destruction was assumed to the sum of the destructions of the four components and the exergy efficiency was defined as the ratio of the useful cooling exergy to the electrical power consumed in the compressor $\eta_{ex} = Q_{evap}(1 - T_0 / T_{evap}). W_{el}$ (Dinçer and Rosen, 2020; Çengel et al., 2024).

2.7.Measurement uncertainty analysis

The reliability of the experimental measurements was evaluated by adding the Type A standard uncertainty of three replicate measurements to the Type B standard uncertainty of the instrument limits of accuracy. The combined standard uncertainties of the derived quantities were calculated using the Kline-McClintock uncertainty propagation method (Kline and McClintock, 1953) and the expanded uncertainties were obtained by applying a coverage factor of k=2 for an approximately 95% confidence level (Kline and McClintock, 1953).

3.RESULTS

3.1.Thermophysical properties and measurement uncertainty results

The results of the expanded uncertainties for the calculated quantities are presented in Table 2. The mean relative uncertainties of the evaporator and condenser capacities were calculated to be 1.706% and 1.631% respectively. The uncertainty of the COP was in the range of 3.151% and 6.852%. The relative effect of the full scale error component of the power analyzer at low power values, for loads less than 50%, is the cause of the increase in COP uncertainty. As presented in Table 2, the calculated parameters exhibited relatively low uncertainty levels. The mean relative uncertainties ranged from 1.306% to 4.769%, indicating satisfactory reliability of the experimental measurements and calculated performance parameters.

Table 2. Expanded uncertainty results for the calculated quantities

Quantity	Unit	Relative uncertainty range(%)	Mean relative uncertainty (%)
Evaporator capacity	kW	1.197-2.196	1.706
Condenser capacity	kW	1.076-2.157	1.631
Compressor electrical power	kW	2.595-6.543	4.417
Coefficient of performance	-	3.151-6.852	4.769
Pressure ratio	-	0.952-1.628	1.306

3.2. Energy analysis results

The coefficient of performance values is shown in Table 3. As system load increased, evaporator capacity, condenser capacity and compressor power increased considerably. The average mass flow rate of R134a increased from 18.73 kg/h at 50% load to 50.81 kg/h at 100% load. The average relative difference between the compressor power determined by the difference of enthalpy and the direct measurement of the electrical power was 0.076%, confirming the internal consistency of the calculation chain.

Table 3. Coefficient of performance according to load and concentration conditions

Load	Concentration (%)	COP	Change relative to pure condit
50	0.00	3.589±0.017	Baseline
50	0.25	3.432±0.038	-4.36
50	0.50	3.479±0.005	-3.06
50	0.75	3.493±0.009	-2.67
50	1.00	3.476±0.031	-3.16
75	0.00	2.922±0.068	Baseline
75	0.25	2.995±0.011	+2.48
75	0.50	3.031±0.021	+3.74
75	0.75	2.785±0.029	-4.69
75	1.00	2.863±0.020	-2.02
100	0.00	2.705±0.036	Baseline
100	0.25	2.553±0.053	-5.62
100	0.50	2.741±0.059	+1.34
100	0.75	2.548±0.012	-5.80
100	1.00	2.673±0.023	-1.18

Table 3 shows the range of COP values. At 50% load, all nanolubricant concentrations resulted in a slight reduction in COP improvements were observed at 75% and 100% loads, particularly at 0.50% concentration. The highest improvement of 3.74% was achieved at 75% load. The influence of hybrid nanolubricant concentration on COP was different for the load condition (Figure 3).

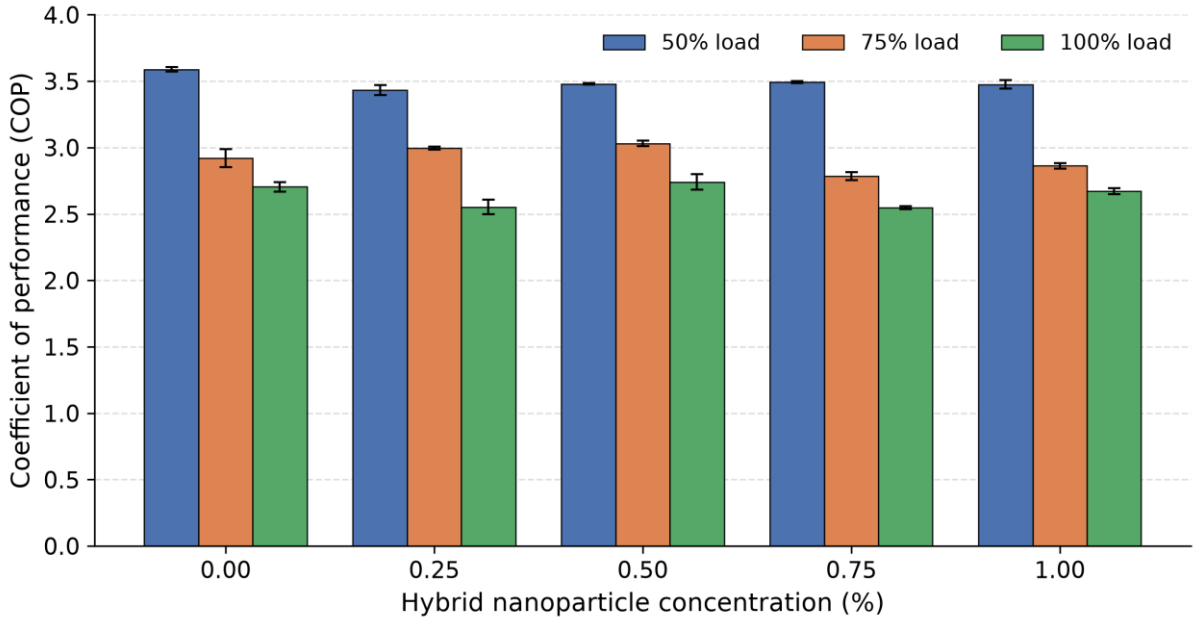


Figure 3. Variation of the coefficient of performance with load and concentration conditions

3.3. Exergy analysis results

Table 4 summarizes the component wise exergy destructions, total exergy destruction and exergy efficiency values. The average exergy destruction was found to be 0.0773 kW in the compressor, 0.1761 kW in the condenser, 0.0762 kW in the expansion device and 0.0152 kW in the evaporator for all conditions. The condenser was found to have the highest average irreversibility in the system and the evaporator the least. The total exergy destruction increased with the load level.

Table 4. Exergy efficiency according to load and concentration conditions

Load	Concentration (%)	Total exergy destruction (kW)	Exergy Efficiency (%)
50	0.00	0.1319±0.0097	34.720±0.166
50	0.25	0.1432±0.0063	33.273±0.288
50	0.50	0.1310±0.0027	33.612±0.193
50	0.75	0.1457±0.0065	33.656±0.062
50	1.00	0.1387±0.0070	33.647±0.207
75	0.00	0.3334±0.0095	20.803±0.442
75	0.25	0.3635±0.0114	19.166±0.278
75	0.50	0.3090±0.0104	20.981±0.125
75	0.75	0.3700±0.0065	19.561±0.205
75	1.00	0.3089±0.0070	18.270±0.231
100	0.00	0.5586±0.0095	12.398±0.074
100	0.25	0.5402±0.0114	12.546±0.122
100	0.50	0.5842±0.0104	12.446±0.239
100	0.75	0.5265±0.0070	12.242±0.188
100	1.00	0.5876±0.0057	10.790±0.074

The exergy efficiency was found to be in the range of 10.790-34.720% (Figure 4). The maximum exergy efficiency of 34.720% was achieved at 50% load with pure fluid, while the minimum exergy efficiency of 10.790% was obtained at 1.00% concentration and 100% load. The impact of concentration on the exergy performance is not monotonic When the concentration was 1.00%, the total exergy destruction increased by 5.16% and 5.19% at 50% and 100% load respectively compared with the pure condition, but decreased by 7.35% at 75% load. In the same comparison, the exergy efficiency decreased by 1.073, 2.533 and 1.608 percentage points at 50%, 75% and 100% loads, respectively. The findings indicate that increasing nanoparticle concentration does not necessarily improve the exergy performance of the system, particularly under high – load conditions.

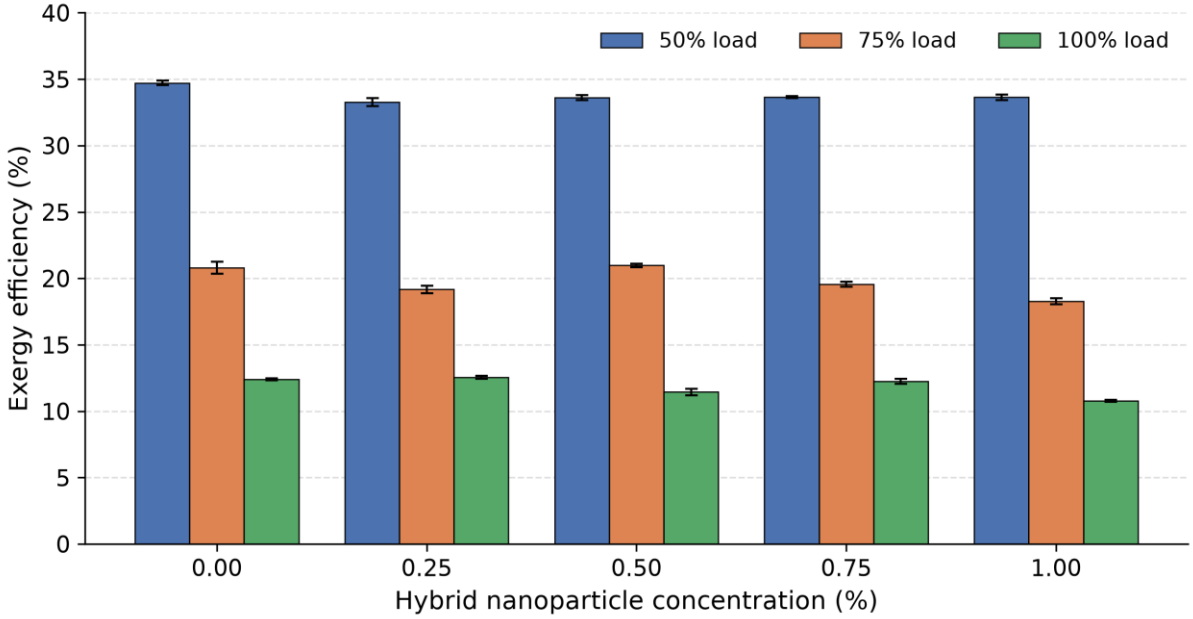


Figure 4. Variation of exergy efficiency with load and concentration conditions

4.DISCUSSION

The results obtained show that the increase of hybrid nanolubricant concentration does not always improve the energy and exergy performance in the studied conditions. The density and viscosity increases are in line with the general thermophysical trends reported for hybrid nanofluids (Rashidi et al., 2021). However, the thermal conductivity decrease above the 0.50% concentration shows that increasing concentration does not produce a continuous improvement in all cases. This behavior is likely related to the particle distribution or agglomeration, but in the absence of zeta potential and long-term sedimentation measurements, no definitive mechanism has been proposed. The positive results at intermediate concentrations under particular load conditions are in part consistent with the literature. Soliman et al. reported an improvement in cycle performance and around 10% energy savings with 0.1% Al_2O_3 additive (Soliman et al., 2019). Sarrafzadeh Javadi and Saidur reported 2.69% energy savings with 0.1% Al_2O_3 additive (Sarrafzadeh Javadi and Saidur, 2021). In the present study no continuous performance improvement in the same direction was observed as the lowest concentration was 0.25% and ternary hybrid mixture was used. The difference suggest a possible optimum region which needs to be further investigated at lower concentrations. Moreover, the ratio 1:1:1 used in this study cannot be said to be the best composition, considering the findings of Zawawi et al. on the decisive role of the hybrid mixing ratio on performance. The condenser has the highest average exergy destruction on the

component based ecaluation, indicating that it is the main component to focus on for improvement (Zawawi et al., 2022). It has been reported in the literature that the component with the highest destruction may vary depending on the cycle configuration and operating conditions (Ghanbarpour et al., 2021; Aized et al., 2022). The fact that the system load is the dominant factor in all performance indicators indicates that the possible effects of nanolubricant addition should be evaluated together with the load conditions. Limitations of the study include exclusion of concentrations below 0.25% and different particle mixing ratios and absence of long-term stability measurements.

5.CONCLUSION

In this study, the effect of a hybrid nanolubricant containing graphene, h-BN and Al2O3 nanoparticles on energy and exergy performance of an R134a-PAG vapor compression refrigeration system was experimentally investigated at five concentrations and three load levels. The main results obtained are summarized as follows:

- Effective density increased by 4.17% and specific heat decreased by 3.36% with increasing hybrid nanoparticle concentration.
- The system load had a greater impact on energy and exergy performance than the concentrations. as the load increases, the mass flow rate, compressor power and capacities rise, whereas the COP and exergy efficiency decrease.
- The highest COP and exergy efficiency were obtained for pure PAG oil at 50% load. The concentration effect was dependent on the load level.
- Future studies should consider to study concentrations below 0.25% (0.05-0.20%), to test different mixing ratios of the nanoparticles and to monitor the zeta potential, sedimentation and long-term operational stability of the nanolubricant.

Declaration of generative AI and AI-assisted technologies

Artificial intelligence (AI) tools were used solely for proofreading the manuscript and enhancing the resolution of the figures.

REFERENCES

T. Aized, M. Rashid, F. Riaz, A. Hamza, H. Z. Nabi, M. Sultan, et al., "Energy and exergy analysis of vapor compression refrigeration system with low-GWP refrigerants," *Energies*, vol. 15, no. 19, Art. no. 7246, 2022. https://doi.org/10.3390/en15197246

M. Akkaya, "MoO_3/PAG ve ZnO/PAG nanoyağlayıcılarının soğutma sisteminin performans parametrelerine etkilerinin belirlenmesi [Determination of the effects of MoO_3/PAG and ZnO/PAG nanolubricants on the performance parameters of the refrigeration system]," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 10, no. 2, pp. 521–532, 2021. https://doi.org/10.17798/bitlisfen.857657

H. C. Brinkman, "The viscosity of concentrated suspensions and solutions," *Journal of Chemical Physics*, vol. 20, no. 4, p. 571, 1952.

Y. A. Çengel, M. A. Boles, and M. Kanoğlu, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 10th ed. New York, NY, USA: McGraw Hill, 2024.

K. Dağıdır and K. Bilen, "Experimental investigation of usage of POE lubricants with Al_2O_3, graphene or CNT nanoparticles in a refrigeration compressor," *Beilstein Journal of Nanotechnology*, vol. 14, pp. 1041–1058, 2023. https://doi.org/10.3762/bjnano.14.86

İ. Dinçer and M. A. Rosen, *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*, 3rd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2020. https://doi.org/10.1016/C2016-0-02067-3

M. Ghanbarpour, A. Mota-Babiloni, B. E. Badran, and R. Khodabandeh, "Energy, exergy, and environmental (3E) analysis of hydrocarbons as low GWP alternatives to R134a in vapor compression refrigeration configurations," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 13, Art. no. 6226, 2021. https://doi.org/10.3390/app11136226

S. J. Kline and F. A. McClintock, "Describing uncertainties in single-sample experiments," *Mechanical Engineering*, vol. 75, no. 1, pp. 3–8, 1953.

M. O. McLinden, C. J. Seeton, and A. Pearson, "New refrigerants and system configurations for vapor-compression refrigeration," *Science*, vol. 370, no. 6518, pp. 791–796, 2020. https://doi.org/10.1126/science.abe3692

M. M. Rashidi, M. Alhuyi Nazari, I. Mahariq, M. E. H. Assad, M. E. Ali, R. Almuzaiqer, et al., "Thermophysical properties of hybrid nanofluids and the proposed models: An updated comprehensive study," *Nanomaterials*, vol. 11, no. 11, Art. no. 3084, 2021. https://doi.org/10.3390/nano11113084

S. S. Sanukrishna, A. S. Vishnu, and M. Jose Prakash, "Nanorefrigerants for energy efficient refrigeration systems," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 31, pp. 3993–4001, 2017. https://doi.org/10.1007/s12206-017-0746-4

F. Sarrafzadeh Javadi and R. Saidur, "Thermodynamic and energy efficiency analysis of a domestic refrigerator using Al_2O_3 nano-refrigerant," *Sustainability*, vol. 13, no. 10, Art. no. 5659, 2021. https://doi.org/10.3390/su13105659

X. She, L. Cong, B. Nie, G. Leng, H. Peng, Y. Chen, et al., "Energy-efficient and -economic technologies for air conditioning with vapor compression refrigeration: A comprehensive review," *Applied Energy*, vol. 232, pp. 157–186, 2018. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.067

A. M. A. Soliman, A. K. Abdel Rahman, and S. Ookawara, "Enhancement of vapor compression cycle performance using nanofluids: Experimental results," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 135, pp. 1507–1520, 2019. https://doi.org/10.1007/s10973-018-7623-y

M. Waqas, R. Zahid, M. U. Bhutta, Z. A. Khan, and A. Saeed, "A review of friction performance of lubricants with nano additives," *Materials*, vol. 14, no. 21, Art. no. 6310, 2021. https://doi.org/10.3390/ma14216310

N. N. M. Zawawi, W. H. Azmi, M. F. Ghazali, and H. M. Ali, "Performance of air-conditioning system with different nanoparticle composition ratio of hybrid nanolubricant," *Micromachines*, vol. 13, no. 11, Art. no. 1871, 2022. https://doi.org/10.3390/mi13111871

SENKRON GENERATÖR MODELLERİ İLE DURUM DEĞİŞKENLERİNİN FAZ UZAYINDA İNCELENMESİ

Prof.Dr.Kadir ABACI[1], Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Çağrı BARUTÇU [2]

[1]Mersin Üniversitesi , Müh. Fakültesi Öğr. Üyesi, kabaci@mersin.edu.tr, 0000-0001-5627-0032

[2]Hakkari Üniversitesi, MYO Öğr. Üyesi, ibrahimcagribarutcu@hakkari.edu.tr, 0000-0001-6164-2048

Özet

Senkron generatörlerin (SG) dinamik davranışlarının doğru biçimde temsil edilmesi, güç sistemlerinin kararlılığının ve dinamik davranışlarının anlaşılması açısından önemlidir. Basit matematiksel yapısı nedeniyle klasik salınım yaklaşımı uygulamalarda sık tercih edilmektedir. Bununla birlikte, iki boyutlu bir gösterime sahip olan bu model, generatör dinamiklerinin analizini rotor açısı ve hız sapması değişkenleriyle sınırlandırmaktadır. Buna karşılık, daha yüksek dereceli senkron generatör modelleri daha ayrıntılı bir dinamik yapı sunarak sistem davranışının daha yüksek boyutlu durum uzaylarında incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda faz portreleri, durum değişkenlerinin faz uzayındaki yörüngelerini görsel olarak ortaya koyan ve doğrusal olmayan dinamik sistemlerin analizinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece SG modelleri MATLAB/Simulink'te kurulmuş olup seçilen bozucu koşullar için faz uzayı yörüngeleri elde edilmiştir. Modellerin faz uzayındaki davranışları karşılaştırmalı olarak incelenerek model derecesindeki artışın generatör dinamiklerinin görselleştirilmesi ve yorumlanması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İkinci dereceden model, rotor açısı ve hız değişkenlerine dayanan basit ve hesaplama açısından verimli bir faz düzlemi gösterimi sunarak temel ve hızlı kararlılık değerlendirmeleri için uygun bir yapı sağlamaktadır. Üçüncü ve dördüncü dereceden modeller ise ilave dinamik durum değişkenlerini faz uzayına dahil ederek geçici ve elektromanyetik dinamik davranışların daha ayrıntılı ve çok değişkenli biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar, farklı model derecelerinden elde edilen faz portrelerinin avantaj ve sınırlılıklarını ortaya koymakta ve faz uzayı tabanlı kararlılık ve doğrusal olmayan dinamik analizler için uygun generatör modelinin seçimine yönelik bir değerlendirme sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Senkron generatörler, faz portreleri, durum değişkenleri

ANALYSIS OF STATE VARIABLES IN PHASE SPACE USING SYNCHRONOUS GENERATOR MODELS

Prof.Dr.Kadir ABACI[1], Assistant Prof. İbrahim Çağrı BARUTÇU [2],

[1]Mersin University , Eng. Faculty , kabaci@mersin.edu.tr, 0000-0001-5627-0032

[2]Hakkari University, Çölemerik V.H.S., ibrahimcagribarutcu@hakkari.edu.tr, 0000-0001-6164-2048

Abstract

Accurate representation of synchronous generator(SG) dynamics is essential for understanding the stability and dynamic behavior of power systems. Although a classical swing-equation formulation is commonly used due to its simplicity, its two-dimensional representation limits the analysis of generator dynamics to the basic rotor-angle and speed variables. In contrast, higher-order synchronous generator models provide a richer dynamic representation and enable the investigation of system behavior in higher-dimensional state spaces. In this context, phase portraits offer an effective graphical tool for analyzing nonlinear dynamical systems by illustrating the trajectories of state variables in phase space. The numerical study implements second-, third-, and fourth-order SG representations in MATLAB/Simulink and generates their phase space trajectories for selected disturbance cases. The phase-space behavior of the models is comparatively examined to investigate the consequences of raising model order for visualization and interpretation of generator dynamics. The second-order model provides a simple and computationally efficient phase-plane representation based on rotor angle and speed, making it suitable for rapid and fundamental stability assessments. The higher-order formulations broaden the phase-space representation by incorporating additional dynamic states, thereby providing a broader framework for examining transient and electromagnetic dynamic behavior. The comparative results demonstrate the advantages and limitations of phase portraits obtained from different model orders and provide guidance on the selection of an appropriate generator model for phase-space-based stability and nonlinear dynamic analyses.

Keywords: Synchronous generator, phase portraits, state variables

1. GİRİŞ

Elektrik üretim zincirinin temel elemanlarından olan senkron generatörler, tahrik sisteminden aldıkları mekanik enerjiyi elektromanyetik dönüşüm yoluyla elektrik enerjisine çeviren döner makinelerdir. Bu nedenle senkron generatörlerin dinamik modellenmesi, güç sistemi kararlılığı ve dinamik analiz çalışmalarının temel konularından biri olmuştur (Dai, 2025; Kundur & Malik, 1994, Sauer vd., 2017). Senkron makinenin dinamik davranışı; rotorun elektromekanik hareketi ile makinenin elektromanyetik durumlarının karşılıklı etkileşimi sonucunda ortaya çıktığından, kullanılan matematiksel modelin bu fiziksel süreçleri hangi ayrıntı düzeyinde temsil ettiği, elde edilen dinamik davranışın incelenmesinde belirleyici olmaktadır (Barakat vd., 2010; Dai, 2025; Machowski vd., 2008; Sauer vd., 2017). Senkron makine modelleme ve analizinin tarihsel gelişimi yaklaşık bir asra uzanmakta; alandaki ilk kapsamlı çalışmalar 1920'li ve 1930'lu yıllarda ortaya çıkmıştır (Blondel, 1923; Doherty & Nickle, 1926; Park, 1929). İlerleyen yıllarda çalışmalar devam etmiş (Minnich vd., 1987; Shackshaft & Henser, 1979), bunun yanında senkron makinelerin çalışma karakteristikleri ve performansını ele alan çok sayıda araştırma yayımlanmıştır (Anderson & Fouad, 1977; Demello & Concordia, 1969; Fitzgerald & Kingsley, 1961, Kimbark, 1995).

Senkron makine modellerinin doğrudan ve enine eksenlerdeki eşdeğer devreler üzerinden farklı ayrıntı seviyelerinde oluşturulabilmesi, aynı fiziksel makinenin farklı modelleme düzeylerinde temsil edilmesine olanak sağlamaktadır (Dai, 2025). Bu açıdan model parametreleri yalnızca makinenin elektriksel karakteristiklerini tanımlayan büyüklükler olmayıp, aynı zamanda sistemin dinamik durumunu oluşturan değişkenlerin ve bu değişkenler arasındaki etkileşimlerin belirlenmesinde de temel bir role sahiptir.Dinamik bir sistemin davranışının incelenmesinde, durum değişkenlerinin zaman içerisindeki değişimlerinin yanı sıra bu değişkenlerin oluşturduğu durum uzayındaki yörüngelerin değerlendirilmesi de önemli bilgiler sağlayabilmektedir. Faz uzayı, bir dinamik sistemin durumunu tanımlayan değişkenlerin oluşturduğu uzay olarak değerlendirilirken, faz portreleri bu uzaydaki sistem yörüngelerinin geometrik olarak gösterilmesine olanak sağlamaktadır (Strogatz, 2024). Özellikle doğrusal olmayan dinamik sistemlerde faz portreleri; sistem yörüngelerinin gelişimini, denge noktaları çevresindeki hareketleri ve farklı dinamik davranış biçimlerini görsel olarak incelemek için etkili bir araçtır (Abaci vd., 2007). Dolayısıyla senkron generatörlerin dinamik davranışının faz uzayı üzerinden incelenmesi, farklı durum değişkenlerinin birbirleriyle olan ilişkilerinin yalnızca zamana bağlı grafikler üzerinden değil, aynı zamanda geometrik yörüngeler aracılığıyla değerlendirilmesine imkân sağlayabilir (Ghandhari, 2011).

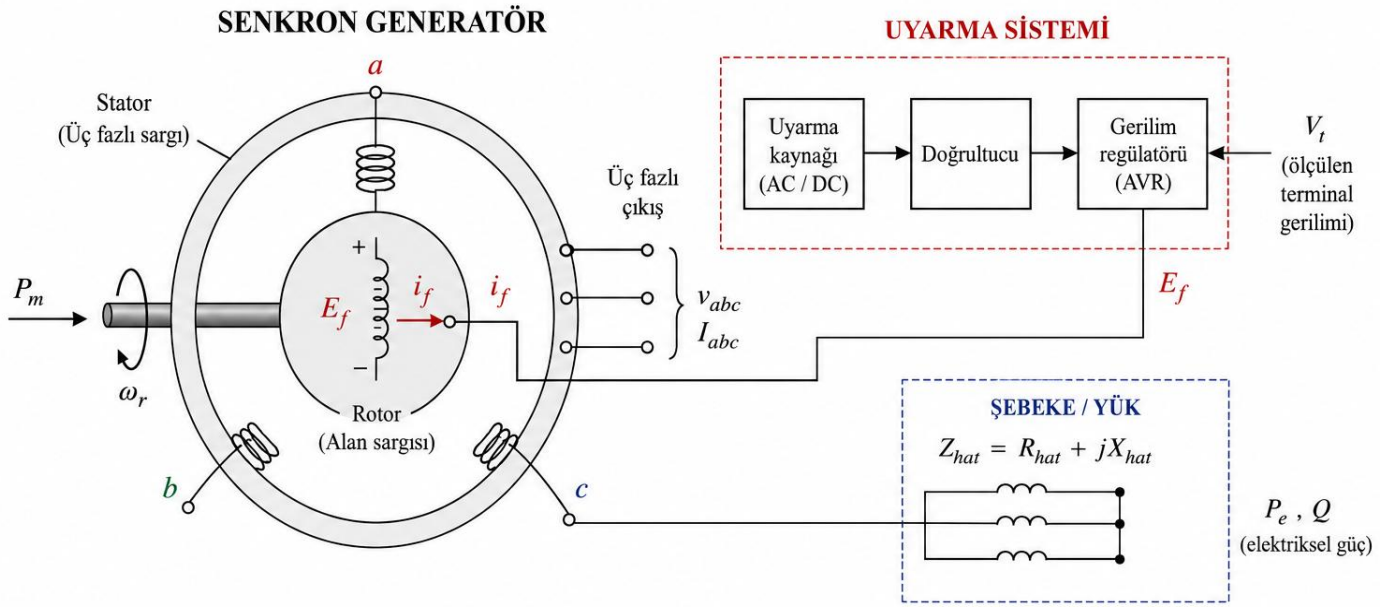
Senkron generatörün elektromekanik dinamiğinin temel matematiksel gösterimlerinden biri salınım denklemidir (Kundur & Malik, 1994; Sauer vd., 2017). Bununla birlikte, bu yaklaşımın iki durum değişkenine dayalı yapısı, generatörün elektromanyetik dinamiklerinin faz uzayında doğrudan incelenmesini sınırlandırmaktadır. Senkron generatörün yalnızca elektromekanik hareketinin değil, aynı zamanda elektromanyetik geçici davranışlarının da incelenmesi gerektiğinde, klasik salınım denkleminin ötesinde daha ayrıntılı modelleme yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda ikinci, üçüncü ve dördüncü derece senkron generatör modelleri, makinenin dinamik davranışının farklı modelleme seviyelerinde incelenmesine olanak sağlamaktadır. İkinci derece modelde dinamik durum çoğunlukla rotor açısı ile senkron hızdan sapma değişkenleri ile temsil edilirken, model derecesinin artırılmasıyla ilave dinamik durum değişkenleri modele dahil edilmektedir (Barakat vd., 2010; Dai, 2025; Machowski vd., 2008; Sauer vd., 2017). Literatürde ikinci, üçüncü ve dördüncü derece modellerin sırasıyla (δ,ω), (δ,ω,Eq') ve (δ,ω,Eq',Ed') gibi artan sayıda durum değişkeniyle temsil edilebildiği görülmektedir (Stegink vd., 2019; Weckesser vd., 2013). Buna bağlı olarak, faz uzayında elde edilen gösterimler de iki boyutlu bir faz düzleminden daha yüksek boyutlu durum uzayı ilişkilerine doğru genişlemektedir.Bu durum, farklı modelleme seviyelerinin faz portreleri üzerinden karşılaştırılması açısından özel bir önem taşımaktadır. İkinci derece model, rotor açısı ve hız değişkenlerine dayalı iki boyutlu bir faz düzlemi oluşturarak generatörün temel elektromekanik davranışının hızlı ve anlaşılır biçimde görselleştirilmesine olanak sağlarken model derecesinin üçüncü ve dördüncü seviyelere yükseltilmesiyle birlikte modele dahil edilen ilave dinamik durum değişkenleri, faz uzayındaki temsilin boyutunu artırmakta ve generatörün geçici ve elektromanyetik davranışlarının daha kapsamlı biçimde incelenmesine imkân vermektedir. Böylece faz portreleri, yalnızca kararlılık durumunun görsel bir göstergesi olmaktan çıkarak, model derecesiyle birlikte ortaya çıkan farklı dinamik durumların birbirleriyle olan ilişkilerini incelemek için de kullanılabilir. Bu nedenle model derecesi ile faz uzayının boyutu arasındaki ilişkinin incelenmesi, senkron generatör modellerinin dinamik temsil yeteneklerinin değerlendirilmesine yönelik anlamlı bir yaklaşım sunmaktadır.

Araştırma kapsamında aynı senkron generatör için ikinci, üçüncü ve dördüncü derece matematiksel modeller MATLAB/Simulink'te gerçekleştirilmiş ve bu modellerin dinamik cevapları incelenmiştir. Her bir model için ilgili durum değişkenlerinin zaman içerisindeki değişimleri ve bu değişkenlerin faz uzayında oluşturduğu yörüngeler elde edilerek modelleme seviyeleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın odağında, aynı senkron generatörün farklı model derecelerinde temsil edilmesi sonucunda faz uzayındaki dinamik

gösterimin nasıl değiştiğinin ortaya konulması bulunmaktadır. Bu kapsamda ikinci derece modelin rotor açısı ve hız değişkenlerine dayalı basit ve hesaplama açısından verimli faz düzlemi gösterimi ile üçüncü ve dördüncü derece modellerin ilave dinamik durumları içeren daha yüksek boyutlu faz uzayı gösterimleri karşılaştırılmaktadır. Böylece model derecesindeki artışın generatör dinamiklerinin görselleştirilmesi ve yorumlanması üzerindeki etkisi doğrudan incelenmektedir.

2. SENKRON GENERATÖRLER

Senkron generatörler, tahrik sisteminden alınan mekanik gücü elektrik enerjisine dönüştüren ve güç üretim sistemlerinin temel bileşenleri arasında yer alan döner elektrik makineleridir (Saadat, 1999). Enerji dönüşümü, rotor tarafından oluşturulan döner manyetik alanın stator sargılarıyla etkileşerek bu sargılarda alternatif gerilim meydana getirmesi esasına dayanır. Generatörün dinamik cevabı; rotor, stator ve uyarma devresinin birlikte davranışıyla şekillenir ve bu bileşenlerin temel bağlantısı Şekil 1'de şematik olarak verilmiştir. Rotor alan sargısının doğru akımla beslenmesi rotor üzerinde sürekli bir manyetik alan oluşturur. Mekanik tahrikle senkron hızda döndürülen bu alanın stator sargılarıyla göreli hareketi elektriksel gerilimin oluşmasını sağlar. Alan akımının seviyesi, generatörün iç elektromotor kuvvetini belirleyen temel büyüklüklerden biridir. Şekil 1'deki uyarma düzeni; uyarma kaynağı, doğrultucu ve gerilim düzenleyici/kontrol birimlerinden oluşmaktadır. Alan sargısına uygulanan uyarma gerilimi E_f , rotor manyetik alanını ve dolayısıyla generatörün iç elektromotor kuvvetini değiştirir. Bu nedenle uyarma sistemi yalnızca terminal geriliminin düzenlenmesinde değil, makinenin elektromanyetik geçici süreçleri ve genel dinamik cevabının oluşumunda da etkilidir. Düşük dereceli modellerde uyarma etkisi sabit veya indirgenmiş biçimde ele alınabilirken, daha ayrıntılı modeller rotor alan devresinin geçici davranışını doğrudan dinamik modelin parçası olarak içerir. Bu özellik, farklı model seviyeleri arasındaki temel fiziksel ayrımlardan birini oluşturur. Senkron generatörde mekanik, elektromanyetik ve elektriksel süreçler karşılıklı bağlıdır: mekanik giriş gücü P_m rotorun hareketini, uyarma gerilimi E_f rotorun elektromanyetik durumunu belirler; rotor alanının stator ile etkileşimi sonucunda oluşan elektriksel güç P_e ise şebekeye aktarılır.



Şekil 1. Generatör, uyarma ve şebeke yapısının sadeleştirilmiş bağlantı görünümü

3. SENKRON GENERATÖRLERİN MODELLENMESİ

İzleyen alt bölümlerde başlangıç noktası olarak senkron generatörün temel hareket bağıntısı olan salınım denklemi alınmakta; bu denklemden hareketle ikinci, üçüncü ve dördüncü mertebe modellerin (Sauer vd., 2017) nasıl oluşturulduğu açıklanmaktadır.

3.1. Salınım Denklemi

Bozucu bir etkinin ardından sistem cevabını inceleyebilmek için, makinaların dönen kısımlarına ait hareket denklemlerinin kurulması ve çözülmesi gerekir. Şekil 2.a'da verilen generatörde elektromanyetik tork (T_e) üretilmekte ve rotor senkron hız w_{sm} civarında dönmektedir. Sürekli çalışma durumunda kayıplar ihmal edildiğinde, mekanik tork (T_m) ile elektromanyetik tork arasında aşağıdaki denge bağıntısı yazılabilir.

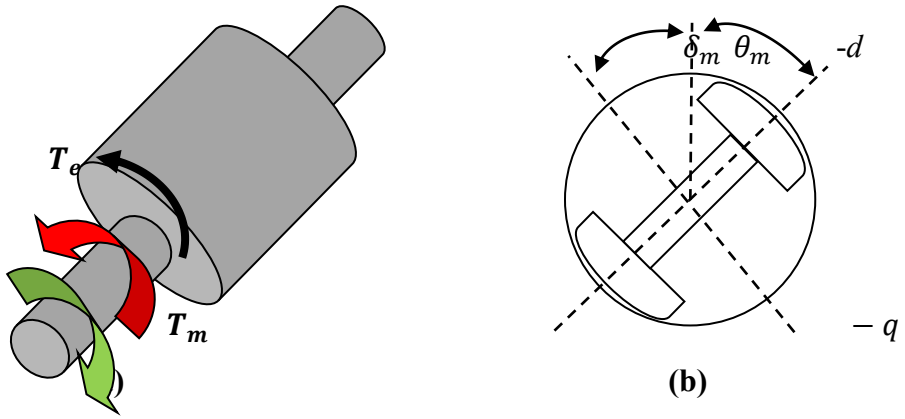
$$T_a = T_m - T_e = J\frac{d^2\theta_m}{dt^2} \tag{1}$$

J [kg.m²] parametresi rotorun dönme eksenine ilişkin ataletini temsil eder θ_m ise mekanik rotor konumunun referans eksene göre radyan cinsinden ölçülen açısıdır.

$$T_a = T_m - T_e = J\frac{d^2\delta_m}{dt^2} \tag{2}$$

w_{sm} açısal hızıyla dönen senkron referans takımında rotorun konumu δ_m açısıyla tanımlanır. Şekil 2.b dikkate alındığında, θ_m ile ifade edilen mekanik rotor açısı kullanılarak ilgili dönüşüm yaklaşık biçimde yazılabilir.

Üçüncü bağıntının her iki tarafının rotor açısal hızı (w_m) ile çarpılması sonucunda güç ifadelerine geçilir. Böylece 4 numaralı eşitlikte mekanik aktif güç (P_m) ve elektriksel aktif güç (P_e) cinsinden generatörün aktif güç dengesi elde edilir.



Şekil 2. (a) Generatör torklarının ve (b) rotorun iki eksenli referans takımındaki açısal konumunun gösterimi

$$T_a = T_m - T_e = J\frac{d^2\delta_m}{dt^2} \tag{3}$$

$$P_m - P_e = Jw_m\frac{d^2\delta_m}{dt^2} \tag{4}$$

Jw_m terimi, yaygın gösterimde eylemsizlik sabiti (M) ile temsil edilir. Makinenin kinetik gücü (W_k), bu tanımlama kullanılarak 5 numaralı denklem biçiminde yazılır. Dördüncü eşitlikteki Jw_m ifadesi (M) ile değiştirildiğinde, gerçek güç büyüklüklerine dayanan 6 numaralı salınım denklemi elde edilir. Per unit (p.u.) gösterime geçişte birim atalet sabiti (H), kinetik enerjinin baz güce oranı üzerinden tanımlanır ve denklem 8 numaralı biçime dönüşür (Abaci vd., 2007).

$$W_k = \frac{1}{2}Jw_m^2 = \frac{1}{2}Mw_m \tag{5}$$

$$M\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \tag{6}$$

$$H = \frac{W_k}{S_{baz}} \tag{7}$$

$$\frac{H}{\pi f_0}\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \tag{8}$$

3.2. İkinci Mertebeli Modelin Durum Denklemleri

6 numaralı ikinci dereceden salınım denklemi, birinci dereceden iki bağlı diferansiyel denkleme ayrıştırıldığında ikinci mertebe senkron generatör durum modeli elde edilir. Bu modelde w, rotor hızının senkron hıza göre sapmasını; δ ise rotorun elektriksel açısı ile senkron referans açısı arasındaki farkı temsil eder. Dolayısıyla durum değişkenleri w ve δ seçilerek model aşağıdaki birinci dereceden eşitlikler biçiminde yazılabilir.

$$w = w_e - w_s \tag{9}$$

$$\delta = \theta_e - \theta_s \tag{10}$$

Bu noktadan sonra eşitliğe zaman türevi uygulandığında;

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{d\theta_e}{dt} - \frac{d\theta_s}{dt} = w_e - w_s = w \tag{11}$$

olur. $x_1 = \delta, x_2 = w$ kabul edelim. $\frac{d\delta}{dt} = w$ olduğuna göre;

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{d\delta}{dt} = w = x_2 \tag{12}$$

Bir önceki ifade yeniden zamana göre türevlendiğinde sonuç 13 numaralı bağıntı biçiminde yazılır.

$$\frac{d^2x_1}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt} = \frac{dw}{dt} = \frac{1}{M}(P_m - P_e) \tag{13}$$

Sönüm sargılarının etkisi modele katılacaksa hareket denklemine sönümlemeyi temsil eden ek bir güç terimi eklenmelidir. Sönüm katsayısı D ile gösterildiğinde bu terim $D\frac{d\delta}{dt} = Dw$ biçimini alır. Bu ifade 13 numaralı bağıntıya dahil edilip düzenlendiğinde

$$\frac{d^2\delta}{dt} = \frac{dw}{dt} = \frac{1}{M}(P_m - P_e - Dw) \tag{14}$$

elde edilir. Böylece ikinci dereceden salınım denklemi, 14 numaralı bağıntı temel alınarak iki adet birinci dereceden diferansiyel durum denklemine dönüştürülebilir; bu eşitlikler senkron generatörün ikinci mertebe modelini oluşturur.

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= w \\ \frac{dw}{dt} &= \frac{1}{M}(P_m - P_e - Dw) \end{aligned} \tag{15}$$

3.3. Üçüncü Mertebeli Modelin Durum Denklemleri

İkinci mertebe yapıya q eksenindeki iç gerilim dinamiğini temsil eden (E'_q) durum değişkeni eklendiğinde modelin durum vektörü $[\delta, w, E'_q]$ olmak üzere üç bileşenli hale gelir. Bu tek eksenli üçüncü mertebe model aşağıdaki diferansiyel denklemlerle tanımlanır (Kundur & Malik, 1994).

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= w \\ \frac{dw}{dt} &= \frac{1}{M}(P_m - P_e - Dw) \\ \frac{1}{T'_{d0}}\frac{dE'_q}{dt} &= E_f - E'_q - (x_d - x_{d'})I_d \end{aligned} \tag{16}$$

d eksenine ait parametreler bakımından T'_{d0} geçici zaman sabitini gösterir. x_d ve $x_{d'}$ senkron ve geçici reaktans değerlerini; I_d ise *d* ekseni akım bileşenini ifade etmektedir.

3.4. Dördüncü Mertebeli Modelin Durum Denklemleri

Üçüncü mertebe tek eksenli gösterim, *d* eksenindeki iç gerilim bileşeni (E'_d) de durum değişkeni olarak eklendiğinde iki eksenli dördüncü mertebe yapıya genişler. Bu durumda durum vektörü $[\delta, w, E'_q, E'_d]$ biçiminde dört değişkenden oluşur ve model (Kundur & Malik, 1994) aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir.

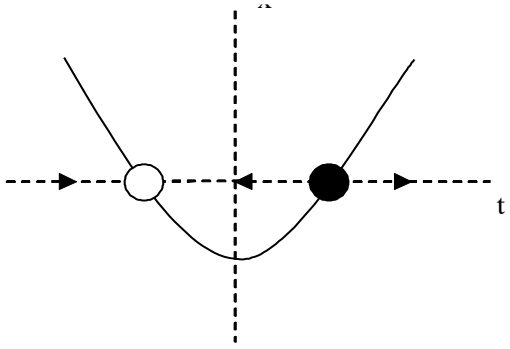
$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= w \\ \frac{dw}{dt} &= \frac{1}{M}(P_m - P_e - Dw) \\ \frac{1}{T'_{d0}}\frac{dE'_q}{dt} &= E_f - E'_q - (x_d - x_{d'})I_d \\ \frac{1}{T'_{q0}}\frac{dE'_d}{dt} &= -E'_d + (x_q - x_{q'})I_q \end{aligned} \tag{17}$$

q ekseninin dinamik parametreleri için T'_{q0} geçici zaman sabitini belirtir. x_q ve $x_{q'}$ bu eksendeki senkron ve geçici reaktansları, I_q ise *q* ekseni akım bileşenini temsil eder.

4. FAZ UZAYI

Faz düzlemi, sistemin bütün dinamiklerini görmenin en iyi yoludur. Bir eksen olarak dinamiklerin bütün görünüşleri kolaylıkla çizilebilir. Ancak genellikle ihtiyaç duyulan bütün grafikler 2 yada 3 boyutludur. Basit bir fiziksel sistem için, ***x*** ekseni pozisyonu diğer ekseni ise ***x***'in türevi hız göstermektedir. Eğer sistem pendulum örneğinde olduğu gibi ikinci dereceden bir diferansiyel denklem ise, o zaman pendulumun herhangi bir anındaki durumu, tamamen pozisyon ve hız tarafından verilebilir. Bu durum sabit noktaları görmeyi çok

kolaylaştırır. Bu sabit noktalar hız sıfır olduğunda eğrinin ***x*** eksenini kestiği yerlerdir. Eğri ***x*** ekseninin aşağısında olduğu zaman (hız negatif) çekici sola doğru (negatif yöne) hareket eder. Sabit noktanın kararlığını araştırmak için bu çekicilerin ikisine de bakılıp karar ona göre verilmelidir. Eğer çekiciler her iki dış kenardan sabit noktaya doğru hareket ediyorsa kararlı, sabit noktadan her iki dış kenara doğru hareket ediyorsa kararsızdır denir. Şekil 3'te sistem için tipik bir faz portresi bulunmaktadır.



Şekil 3. Tipik bir faz portresi

Diyagramda ***x*** eksenindeki ok yönleri akışın yönünü göstermektedir. Sabit nokta olarak işaretli noktalar akışın sıfır olduğu yerleri göstermektedir. İçi boş nokta kararsız bir sabit noktayı gösterirken, içi dolu nokta kararlı bir sabit noktayı göstermektedir. ***x***'in türevi ***y*** ile yer değiştirerek ***x***'in basit bir fonksiyonunu verir. Bu fonksiyonu çizme ve çizime bakma, diferansiyel eşitlik çözmeksizin sistemin önemli özelliklerini gösterir (Nayfeh & Balachandran, 2008; Uyaroğlu, 2002).

4.1. Limit Çevrimler

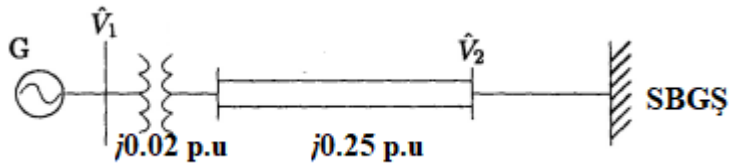
Bir limit çevrim kapalı ve yalıtılmış bir gezingedir. Burada yalıtılmışın anlamı komşu gezingelerin kapalı olmadığıdır; komşular ya limit çevrime doğru yada limit çevrimden uzaklaşan spirallerdir (Şekil 4).

Şekil 4. Limit çevrim yapıları (Abacı, 2007)

Eğer tüm komşu gezingeler limit çevrime yaklaşırsa, limit çevrimin kapalı ya da çekici olduğu söylenir. Aksi takdirde limit çevrim kararsız, veya olağanüstü durumlarda, yarı kararlıdır. Kararlı limit çevrimler bilimsel olarak çok önemlidir. Bu çevrimler kendiliğinden sürebilen salınımlar gösteren sistemleri modellemekte kullanılırlar. Diğer bir deyişle, bu sistemler hiç bir dış periyodik zorlama olmaksızın salınırlar. Limit çevrimler öz olarak doğrusal olmayan olgulardır; yani doğrusal sistemlerde gözlenemezler.

5. BULGULAR

Faz uzayı karşılaştırmaları için Şekil 5'teki tek makinalı sistem esas alınmıştır. Senkron generatör, bir transformatör ve paralel enerji iletim hattı üzerinden sonsuz güçlü şebekeye bağlıdır. Karşılaştırmada sistemin fiziksel yapısı ile elektriksel parametreleri aynı tutulmuş; yalnızca generatörün ikinci, üçüncü ve dördüncü mertebe modelleri değiştirilerek bozucu etki sonrasında durum değişkenlerinin kararlılık davranışı değerlendirilmiştir. Kullanılan sayısal parametreler Tablo 1'de özetlenmiştir.



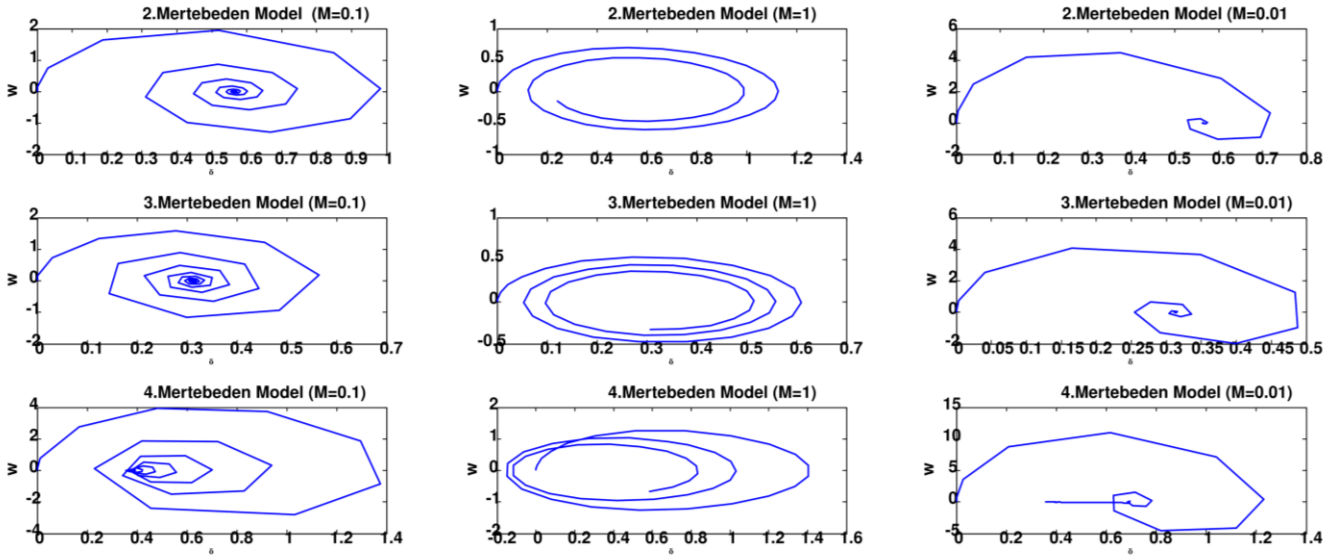
Şekil 5. Tek makineli sistem modeli

Tablo 1. Simülasyonda esas alınan tek makineli sistemin sayısal verileri

Parametreler	Generatör
x_d	0.73
x'_d	0,304
x_q	0.4845
x'_q	0.304
T'_{d0}	8.69
T'_{q0}	0.31
E_f	1.9
M	0.1
D	0.1

5.1. Durum Değişkenlerinin Analizi

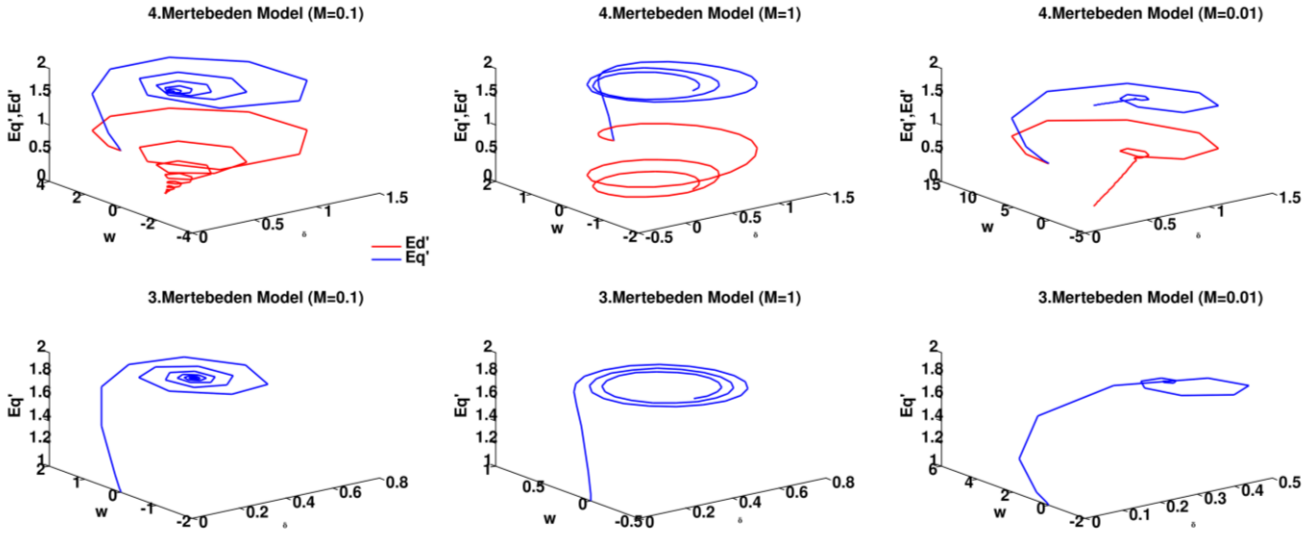
Simülasyonlarda sisteme 1.0 p.u. büyüklüğünde aktif güç talebi uygulanmış ve 10 s'lik gözlem aralığında ortaya çıkan dinamik sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 6'da δ ve w durum değişkenlerinin faz uzaylarında çizmiş oldukları yörüngeler farklı atalet sabiti (M) değerleri için elde edilmiştir. Şekil 6'da M değerleri sırası ile 0.1, 1 ve 0.01 değerleri alınarak her üç model için faz portreleri görülmektedir. $\frac{dw}{dt} = \frac{1}{M}(P_m - P_e - Dw)$ ifadesi M değerinin küçüldükçe w değerinin artacağı ve dolayısı ile hızlanma cevabının artmasına neden olacağı açıktır. Atalet katsayısının M=1'den M=0.1 ve M=0.01 değerlerine düşürülmesi, rotor hızının güç dengesizliklerine karşı daha hızlı tepki vermesine ve dolayısıyla (δ,ω) faz düzlemindeki yörüngelerin geometrisinin değişmesine neden olmuştur. M parametresindeki değişim, faz uzayındaki iç içe yörüngelerin sayısını ve geometrisini de değiştirmiştir. Bu değişim, sistemin karakteristik salınım zaman ölçeğinin ve sönümlenme davranışının M parametresine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.



Şekil 6. Farklı model mertebelerinde M parametresinin değişiminin $[\delta, w]$ faz uzayındaki portreleri

Şekil 7'de 4. mertebeli modelde E'_q ve E'_d durum değişkenlerinin başlangıçta birbirine yakın bir konumdan hareket etmelerine rağmen zamanla farklı faz uzayı yörüngeleri oluşturması, d ve q eksenlerine ait farklı transient reaktans ve zaman sabitlerinin elektromanyetik durumlar üzerindeki farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla E'_q ve E'_d 'nin aynı yolu izlemesini beklememeliyiz. -d ve -q eksenlerinin farklı reaktans ve zaman sabitlerine sahip olması**,** bu iki elektromanyetik durumun farklı dinamik tepki

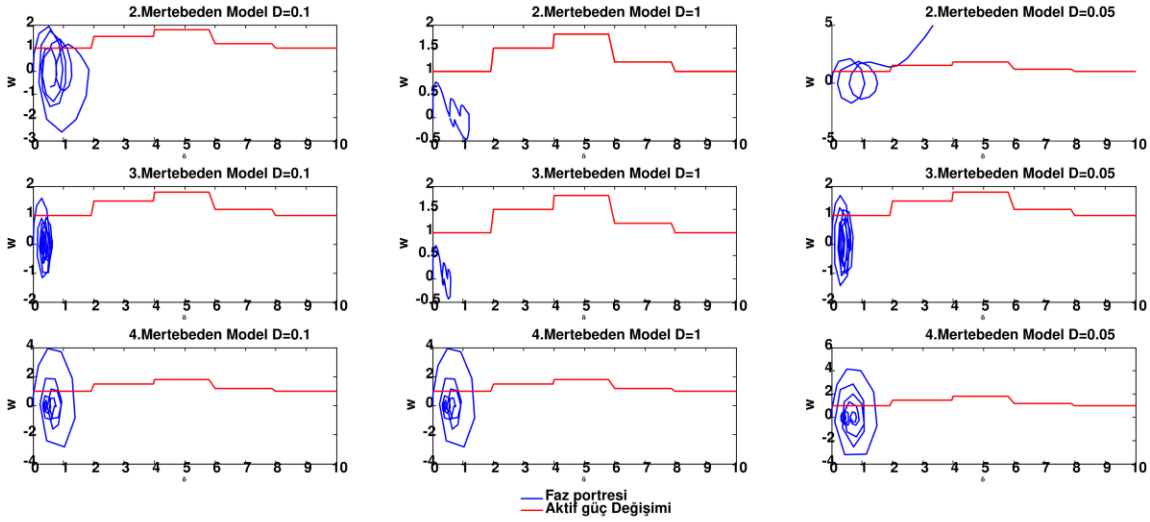
vermesinin temel fiziksel nedenidir. Bu durum model mertebesi arttığında yalnızca denklem sayısı artmadığını; fiziksel sistemin daha önce görünmeyen dinamiklerini de görünür hale getirdiklerini açıklamaktadır.



Şekil 7. Farklı model mertebelerinde M parametresinin değişiminin $[\delta, w, E_q']$ faz uzayındaki portreleri

5.2. Değişken Aktif Güç Talebinin Analizi

Bu çalışmada 10 sn'lik simulasyon süresince aktif gücün değişken olduğu bir senaryo oluşturularak generatör modellerinin bu duruma verdikleri cevaplar faz uzayında incelenmiş ve yorumlanmıştır. 10 sn. içerisinde sisteme uygulanan aktif güç değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Farklı model mertebelerinde aktif güç adım değişimlerine karşı farklı D parametresi sonucunda etkileri $[\delta, w]$ faz uzayındaki portreler

Uygulanan değişken aktif güç makinanın sönümleme parametresi (D)'nin farklı değerleri için tüm modellerde test edilmiştir. Şekil 8 açıkça göstermiştir ki; yörüngelerin yatay ve düşey yöndeki yayılımındaki değişimler, rotor açısı ve hızının bozucu etki karşısındaki dinamik salınım aralıklarının D parametresine duyarlıdır. Düşük sönüm katsayısı altında (D =0.05), ikinci mertebeli modelde faz yörüngesinin zamanla dışa doğru genişlemesi, rotor açısı ve hızındaki salınımların sönümlenmek yerine büyüdüğünü ve sistemin denge bölgesinden uzaklaştığını göstermektedir. Buna karşılık üçüncü ve dördüncü mertebeli modellerde yörüngelerin sınırlı bir bölge içerisinde kalması, ilave elektromanyetik durum değişkenlerinin dinamik modele dahil edilmesinin bozucu etki altındaki sistem davranışının temsilini değiştirdiğini göstermektedir. Sönümleme değerinin en küçük değerinde 2. mertebe modelde görülen kararsızlık (δ,ω) durum değişkenlerinin denge noktasından uzaklaşmasına ve böylece faz uzayında genleşmesine neden olmuştur. Rotor hareketine karşı koyan D parametresi küçüldükçe sönümleme etkisi azalmakta aktif güçteki değişimlere yeterli cevabı veremediği noktalarda denge noktasından uzaklaşarak sistemi kararsızlığa taşımaktadır. 3. ve 4. mertebe modellerindeki ilave durum değişkenleri bozucu etki altında düşük sönüm katsayısında dahi sistemi kararlı tutmaktadır.

6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmanın temel yaklaşımı, senkron generatörün modelleme seviyesindeki artış ile faz uzayında temsil edilen dinamik davranışın boyutu ve zenginliği arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktır. İkinci derece modelin iki boyutlu faz düzlemi temel elektromekanik hareketi açık ve hızlı bir biçimde ortaya koyarken, daha yüksek dereceli modellerin faz uzayına eklenen durum değişkenleri, generatörün geçici ve elektromanyetik davranışlarının daha geniş bir durum uzayı içerisinde incelenmesine olanak sağlamıştır. Bu bakımdan daha yüksek dereceli modellerden elde edilen faz portreleri, yalnızca daha fazla değişken içeren grafikler olarak değil, fiziksel sistemde mevcut olan ilave dinamik süreçlerin geometrik temsilleri olarak değerlendirilmelidir.. Dolayısıyla çalışma, model derecesinin artırılmasının senkron generatörün dinamik davranışının faz uzayındaki görünümünü nasıl değiştirdiğini ortaya koyarak, farklı modelleme seviyelerinden elde edilen faz portrelerinin avantaj ve sınırlılıklarının değerlendirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, aynı fiziksel sistemi temsil eden farklı model ayrıntı düzeylerini temsil eden üç SG modeli (ikinci, üçüncü ve dördüncü mertebe) MATLAB/Simulink ortamında oluşturularak bozucu etkiler altındaki dinamik davranışları faz uzayı üzerinden karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, model mertebesinin artmasının yalnızca model karmaşıklığını değil, temsil edilen dinamik bilginin kapsamını da değiştirdiğini göstermiştir. Genel olarak çalışma, model mertebesindeki artışın aynı fiziksel makinenin elektromekanik hareketi ile iç elektromanyetik süreçlerinin faz

uzayında daha ayrıntılı biçimde temsil edilmesini sağladığını ortaya koymuştur. İkinci mertebeli model basitlik ve düşük hesaplama maliyeti sağlarken, daha yüksek mertebeli modeller ilave elektromanyetik dinamiklerin incelenmesine olanak vermektedir. Bu nedenle uygun model mertebesinin, incelenen dinamik olayın gerektirdiği fiziksel ayrıntı düzeyine göre seçilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Abacı, K. (2007). *Gerilim kararlılığı iyileştiricilerinin çatallaşma ve kaotik analizleri* (Doctoral dissertation, Sakarya Universitesi (Turkey)).

Abaci, K., Uyaroglu, Y., Yalcin, M. A., & Yildiz, M. (2007). Observing chaotic oscillations induced by under load tap changer in power systems. *Journal of Applied Sciences*, *7*(1), 66-71.

Anderson, P. M., & Fouad, A. A. (1977). Power System Control and Stability, Iowa State.

Barakat, A., Tnani, S., Champenois, G., & Mouni, E. (2010). Analysis of synchronous machine modeling for simulation and industrial applications. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *18*(9), 1382-1396.

Blondel, A. (1923). The two-reaction method for study of oscillatory phenomena in coupled alternators. *Revue générale de l'électricité*, *13*, 235-251.

Dai, J. J. (2025). Suggested Approaches to Perform Transient Stability Studies for Industrial and Commercial Power Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, *61*(3), 4833-4846.

Demello, F. P., & Concordia, C. (1969). Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control. *IEEE Transactions on power apparatus and systems*, (4), 316-329.

Doherty, R. E., & Nickle, C. A. (1926). Synchronous machines I-an extension of blondel's two-reaction theory. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, *45*, 912-947.

Fitzgerald, A. E., & Kingsley, C. (1961). *Electric machinery: the dynamics and statics of electromechanical energy conversion* (Vol. 1). McGraw-Hill.

Ghandhari, M. (2011). Stability of power systems, an introduction.

Kimbark, E. W. (1995). *Power system stability* (Vol. 1). John Wiley & Sons.

Kundur, P., & Malik, O. P. (1994). *Power system stability and control* (Vol. 7, p. 623). New York: McGraw-Hill.

Machowski, J., Bialek, J. W., Bumby, J. R., & Lubośny, Z. (2008). *Power system dynamics: stability and control* (Vol. 2). New York: Wiley.

Minnich, S. H., Schulz, R. P., Baker, D. H., Sharma, D. K., Farmer, R. G., & Fish, J. H. (1987). Saturation functions for synchronous generators from finite elements. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, (4), 680-692.

Nayfeh, A. H., & Balachandran, B. (2008). *Applied nonlinear dynamics: analytical, computational, and experimental methods*. John Wiley & Sons.

Park, R. H. (1929). Two-reaction theory of synchronous machines generalized method of analysis-part I. *Transactions of the american institute of electrical engineers*, *48*(3), 716-727.

Saadat, H. (1999). *Power system analysis* (Vol. 2). New York: McGraw-Hill.

Sauer, P. W., Pai, M. A., & Chow, J. H. (2017). *Power system dynamics and stability: with synchrophasor measurement and power system toolbox*. John Wiley & Sons.

Shackshaft, G., & Henser, P. B. (1979, August). Model of generator saturation for use in power-system studies. In *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers* (Vol. 126, No. 8, pp. 759-763). IEE.

Stegink, T. W., De Persis, C., & Van Der Schaft, A. J. (2019). An energy-based analysis of reduced-order models of (networked) synchronous machines. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, *25*(1), 1-39.

Strogatz, S. H. (2024). *Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering*. CRC press.

Uyaroğlu, Y. (2002). *Elektrik Güç Sistemlerinde Çatallaşma Analizi İle Kaotik Olayların İncelenmesi* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi).

Weckesser, T., Jóhannsson, H., & Østergaard, J. (2013, August). Impact of model detail of synchronous machines on real-time transient stability assessment. In *2013 IREP Symposium Bulk Power System Dynamics and Control-IX Optimization, Security and Control of the Emerging Power Grid* (pp. 1-9). IEEE.

ELECTRIC VEHICLES IN TÜRKİYE: LIFE-CYCLE IMPACTS AND FUTURE PROJECTIONS

Assoc.Prof.Dr., Mustafa AKKAYA[1]

[1]Manisa Celal Bayar University, Department of Energy Systems Engineering,

Manisa, Türkiye

Abstract

The transport sector is a major contributor to global greenhouse gas (GHG) emissions and is key to Türkiye's commitment to each net zero emissions by 2053. This study aims to investigate the economic and environmental impacts of the electric vehicles (EVs) in Türkiye using a life cycle assessment (LCA) approach, which encompasses vehicle production, use and end-of-life issues. The analysis uses data from 2024-2026 and a scenario for electricity generation in 2035. The grid carbon intensity is 380 g CO_{2e}/kWh and the electricity consumption is 18 kWh/100 km. The use of phase of a battery electric vehicle (BEV) results in 68.4 g CO_{2e}/km which is about 70.9% less than 235 g CO_{2e}/km of a gasoline vehicle. When emissions from vehicle production are amortized over a 200,000 km lifetime and combined with use-phase emissions, the production plus use emissions of the BEV are about 60.2% lower than those of the gasoline vehicle. The BEV'S extra production emissions are compensated after approximately 12,005 km and 9,960 km for the current and 2035 grid scenario, respectively. The total operating cost is estimated as 533,810 TL for the gasoline vehicle 95,200 TL for home-charged BEV and 208,600 TL for a BEV using DC fast charging over 100,000 km, corresponding to savings of 82.2% and 60.9% respectively. In the 2035 scenario, the share of renewable electricity is 71% and the grid carbon intensity is reduced 190 g CO_{2e}/kWh, reducing the emissions from BEV use-phase to 34.2 g CO_{2e}/km. The results embhasize the significance of grid decarbonization, charging infrastructure, smart grid integration, and battery recycling in achieving the environmental and economic benefits of EV adoption in Türkiye.

Keywords: Electric vehicles, Life cycle assessment, Greenhouse gas emission, Net zero target, Energy transition.

1.INTRODUCTION

Decarbonization of the transport sector is at the center of international environmental policies in the framework of global climate change mitigation. The transport sector accounts for about a quarter of all greenhouse gas emissions globally, with passengers cars accounting for 45% of this share (International Energy Agency [IEA], 2020). In line with the objectives of the Paris Agreement, Türkiye has pledged to achieve net-zero emissions by 2053. Therefore, transitioning from internal combustion engine vehicles (ICEVs) to electric vehicles (EVs) appears to be a key strategy for meeting the country's climate goals (Republic of Türkiye, 2023; Dönmezçelik et al., 2023). The electric vehicle market in Türkiye has gained significant momentum in recent years. Between 2022 and 2024, battery electric vehicle (BEV) sales increased by 255% while hybrid electric vehicle (HEV) sales grew by 71% (EY, 2025). This rapid growth is driven by the realization of domestic automotive projects, government incentives, and increasing consumer awareness. However, the environmental and economic impact of this rapid market expansion require comprehensive assessment. Aryan et al. made a comparative assessment of life cycle GWP of BEVs in ten developing countries including Türkiye for the 2023 and 2030 electricity mix scenarios. They found that Türkiye had a moderate impact (17,100 kg CO_2e) with grid decarbonization being the main driver of BEVs climate benefits (Aryan K. et al., 2025). Saraç and Ertürk used a SARIMA time series model to forecast the adoption of electric and hybrid vehicles in Türkiye until 2030. They project the national fleet to grow to about 2.6 million units by the end of 2029, providing important insights for planning charging infrastructure (Saraç&Ertürk, 2025). Akbulut Uludağ conducted a well-to whell LCA of ICEVs and EVs in Türkiye, which showed that electric cars have 56% lower GWP than diesel cars, but terrestrial acidification and freshwater eutrophication impacts are higher due to lignite based electricity generation. Their sensitivity analysis estimates a 70% GWP reduction with the decarbonized grid scenario in 2035 for Türkiye (Akbulut Uludağ, 2025). Koroma et al. performed a scenario based LCA of BEVs considering future evolution of the electricity mix, battery efficiency fade and end of life management options. They found that the integration of renewable energy reduces climate impacts by 9.4% while the decline of battery efficiency leads to 7.4-8.1% increase in use stage emissions, emphasizing the significance of dynamic electricity mix modeling in BEV impact assessment (Koroma et al., 2022). To understand the real environmental benefits of electric vehicles it requires a Life Cycle Assessment (LCA) approach not only considering the use phase emissions but also the production and en of life recycling phases. The aim of this study is to perform a detailed analysis of the

economic and environmental impacts of electric vehicles under the current electricity generation mix and 2035 energy scenarios of Türkiye.

2.MATERIALS AND METHODS

This study employs a Life Cycle Assessment (LCA) methodology in accordance with ISO 14040 and ISO 14044 standards to evaluate the environmental impacts of electric vehicles. The LCA framework encompasses three main phases: production, use, and end-of-life management. Figure 1 illustrates the system boundary.

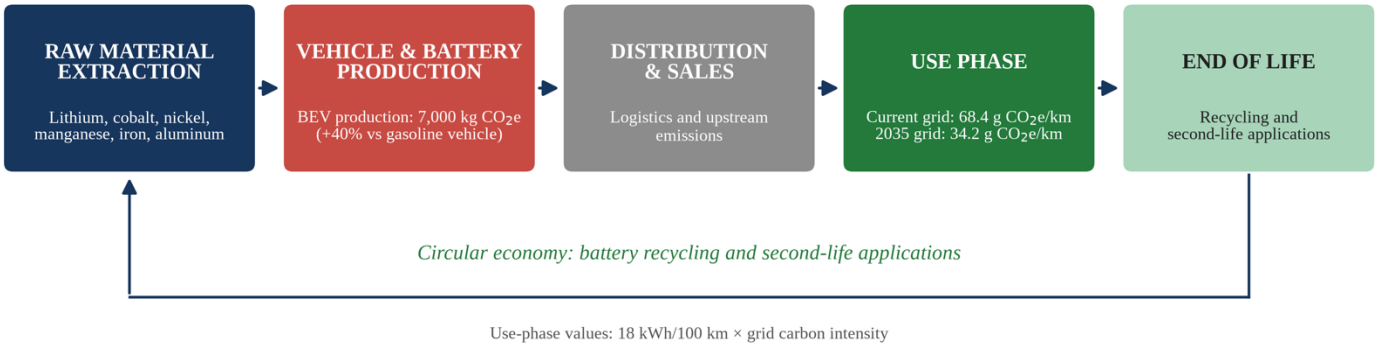


Figure 1. Life-cycle assessment framework and system boundary for electric vehicles.

Production phase: Energy consumption and greenhouse gas emissions for the manufacturing processes of the vehicle body and especially of lithium-ion batteries were calculated. The second phase is the mining and refining of critical minerals, including lithium, cobalt, nickel and manganese.

*Use Phase:*Use-phase emissions were calculated from vehicle electricity consumption and grid carbon intensity. The electricity consumption of the BEV was assumed to be 18 kWh/100 km. The carbon intensity of Türkiye's current electricity grid was taken as 380 g CO_{2e}/kWh, while the 2035 scenerio was represented by an estimated carbon intensity of 190 g CO_{2e}/kWh. Use phase emissions were calculated as electricity consumption multiplied by grid carbon intensity and divided by 100. Accordingly, the BEV use-phase emissions were 68.4 g CO_{2e}/km under the current grid and 34.2 g CO_{2e}/km under the 2035 scenario.

End of Life Phase: Vehicle scrapping, battery recycling processes (hydrometallurgical and pyrometallurgical methods), and the use of batteries with capacities below 80% in second-life applications for grid scale energy storage systems were assessed. Figure 2 shows the electricity-generation mixes in the current and 2035 scenarios. The current mix is 32% coal, 27% natural gas, 22% hydropower, 11% wind and 8% solar power,

giving a renewable share of 41%. The 2035 scenario is 10% coal, 10% natural gas, 22% hydropower, 28% wind, 21% solar power and 9% other sources, with a renewable share of 71%.

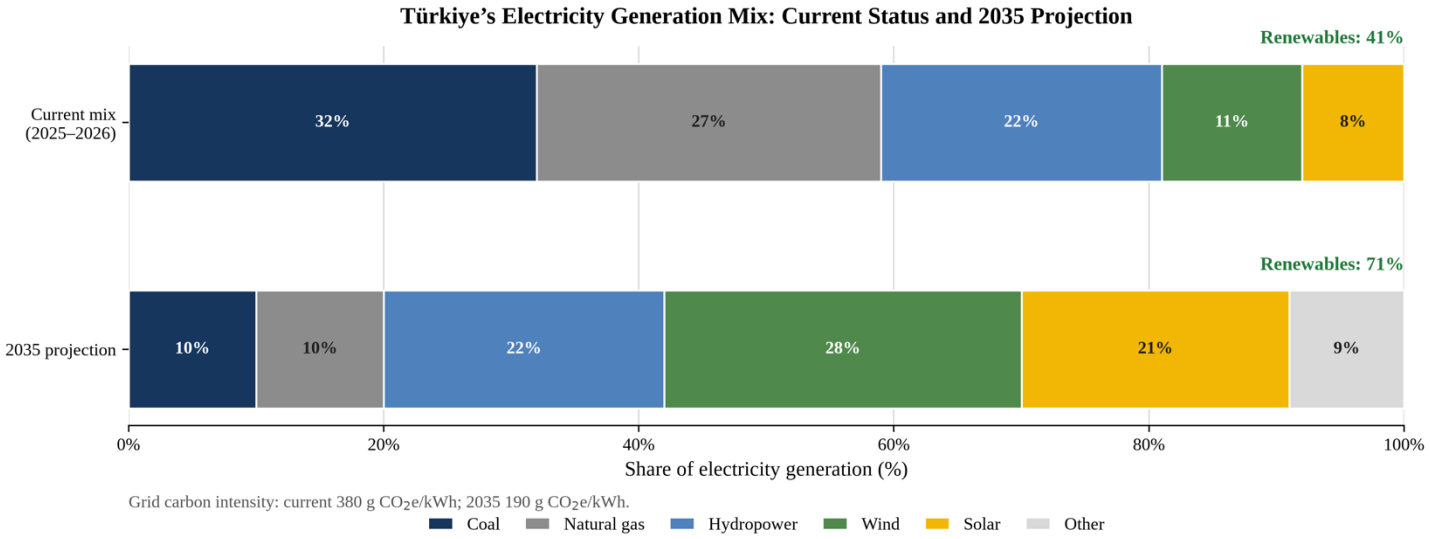


Figure 2. Türkiye's electricity generation mix: Current status and 2035 projection.

The economic impact analysis was done at two levels: micro (consumer) and macro (national economy). The micro analysis was performed for a usage scenario of 100,000 km to determine the total cost of ownership (TCO). The macro analysis considered the impacts on foreign trade balance and employment.

2.1.Goal and scope definition

The aim of this study is to assess the environmental impacts of the life cycle of battery electric vehicles (BEVs) in Türkiye and to compare them with conventional internal combustion engine vehicles (ICEVs) The assessment takes into account the current electricity generation mix (2024-2026) and forecast scenarios for 2035, in line with Türkiye's net zero emission target for 2053. Türkiye has committed to achieving net-zero emissions by 2053 (Republic of Türkiye, 2023)

2.2. System Boundary and functional unit

The system boundary covers three life cycle phases: (i) vehicle production (ii) use phase and (iii) end of life (EnL) management. The functional unit is one vehicle-kilometre traveled with a total lifetime mileage of 200,000 km, in accordance with the ISO 14040/14044 requirements for comparative assertions (International Organization for Standardization (ISO, 2006).

2.3. Life cycle inventory analysis

Data on inventories of vehicle production were taken from the ecoinvent v3.9 database and peer-reviewed literature. The BEV electricity consumption in the use phase was assumed to be 18 kWh/100 km. The current mix of electricity generation is 32% coal, 27% natural gas, 22% hydropower, 11% wind, and 8% solar power; the 2035 scenario is 10% coal, 10% natural gas, 22% hydropower, 28% wind, 21% solar power, and 9% other sources. Grid carbon intensities of 380 and 190 g CO_2e/kWh were assumed for the current and 2035 scenarios respectively. Battery production emissions were estimated for a 60 kWh lithium-ion battery pack with NMC 622 chemistry. Data on fuel consumption for internal-combustion-engine vehicles were obtained from the Turkish Statistical Institute and from the specifications of vehicle manufacturers (MENR, 2022, TurkStat, 2024).

2.4.Life cycle impact assessment

The environmental impact assessment was performed with the ReCiPe 2016 Midpoint (H) v1.07 method. The main impact category was Global Warming Potential (GWP, 100 year horizon). Additional categories are Terrestrial Acidification Potential (TAP), freshwater Eutrophication Potential (FEP) and Mineral Resource Scarcity (MRS). Characterization factors were determined using ReCiPe methodology (Huijbregts et al., 2017).

3.RESULTS

3.1.Environmental impacts and life cycle emission

The analysis reveals that electric vehicles generate around 40% more greenhouse gas emissions during the production phase compared to conventional vehicles. The increase is largely a result of the carbon intensive way in which lithium ion batteries are manufactured. This initial disadvantage is, however soon made up for by the emission savings during the use phase. Figure 3 shows the cumulative life cycle emissions and break even point, indicating that electric vehicles become environmentally advantageous within the first year of use.

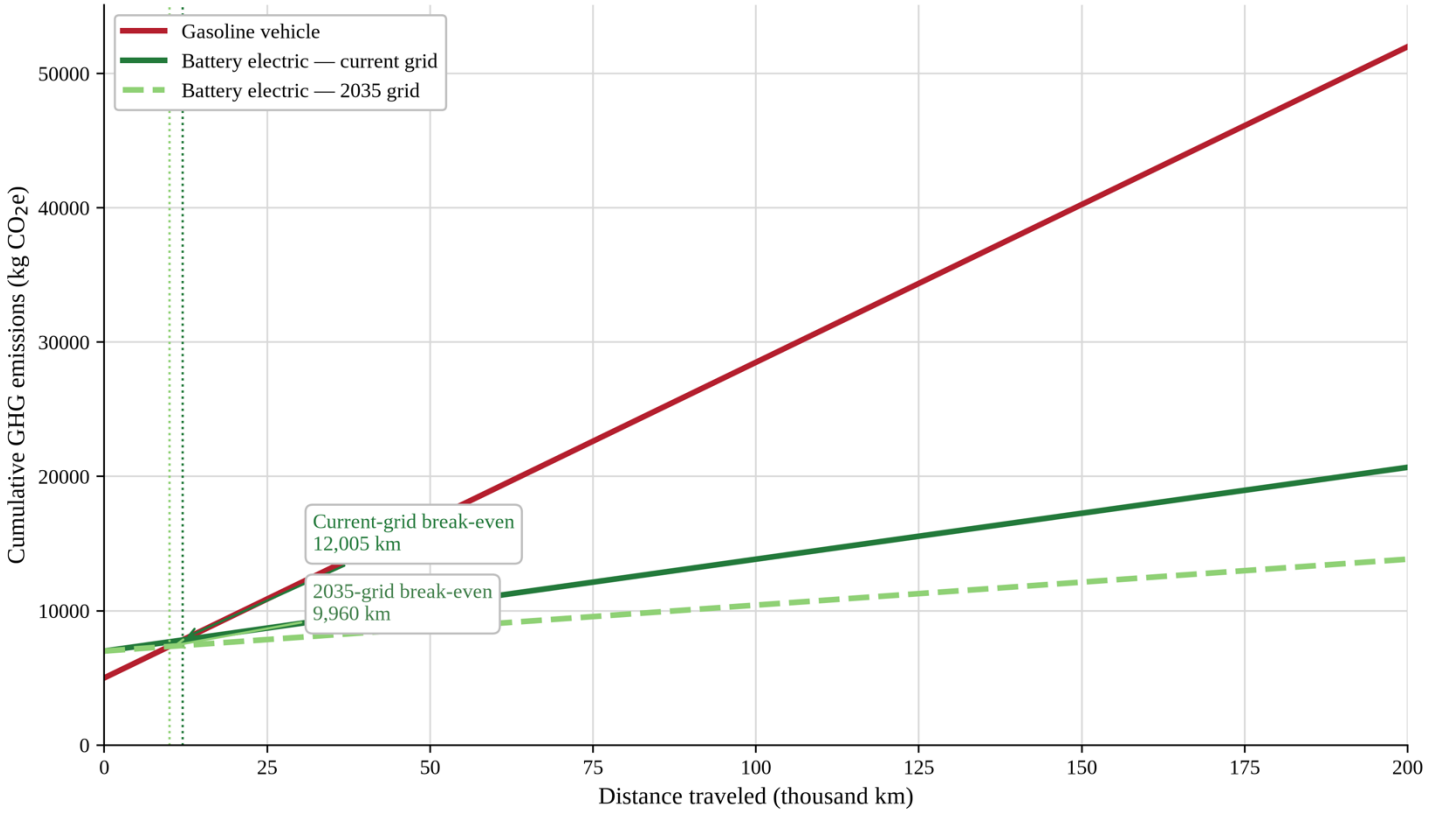


Figure 3. Cumulative production and use greenhouse gas emissions and carbon break even distances.

The carbon break-even distance was calculated as the additional production-stage emissions of the BEV relative to the gasoline vehicle divided by the difference in their use-phase emissions. BEV production emitted 7,000 kg CO_2e and gasoline vehicle production emitted 5,000 kg CO_2e, which added a burden of 2,000 kg CO_2e to BEV production. The break-even distance was ca. 12,005 km with use-phase emissions of 235 g CO_2e/km for the gasoline vehicle and 68.4 g CO_2e/km for the BEV under the current grid. The break-even distance under the 2035 grid scenario with BEV use-phase emissions of 34.2 g CO_2e/km was about 9,960 km. The assumed vehicle lifetime is 200,000 km, and cumulative production-and-use emissions were considered.

Table 1. Life cycle emission comparison by vehicle type

Vehicle Type	Production Emissions	Use Phase Emissions	Total LCA Emissions	Savings vs. ICE
Gasoline Vehicles (ICE)	5,000 kg CO_2e	235 g CO_2e/km	260 g CO_2e/km	-
Diesel Vehicle	5,200 kg CO_2e	234 g CO_2e/km	260 g CO_2e/km	0.0%
CNG Vehicle	5,100 kg CO_2e	203 g CO_2e/km	228.5 g CO_2e/km	12.1%
Hybrid (HEV)	5,800 kg CO_2e	188 g CO_2e/km	217 g CO_2e/km	16.5%
Plug-in Hybrid (PHEV)	6,200 kg CO_2e	163 g CO_2e/km	194 g CO_2e/km	25.4%
Battery Electric (Current Grid)	7,000 kg CO_2e	68.4 g CO_{2e}/km	103.4 g CO_2e/km	60.2%
Battery Electric (Renewable)	7,000 kg CO_2e	34.2 g CO_2e/km	69.2 g CO_2e/km	73.4%

Table 1 compares vehicle production and use-phase greenhouse gas emissions on a common 200,000 km lifetime basis. Under the current grid conditions in Türkiye, the use-phase emissions of the BEV are 68.4 g CO_2e/km, which is ~ 70.9% lower than the use-phase emissions of the gasoline vehicle at 235 g $_{CO2e}$/km. When the production emissions are amortized over the lifetime of the vehicle and combined with the use-phase emissions, the total is 103.4 g CO_2e/km for the current-grid BEV and 260.0 g CO_2e/km for the gasoline vehicle, a reduction of approximately 60.2 %. For the 2035 grid scenario, the BEV use-phase emissions drop to 34.2 g CO_2e/km and the combined production-plus-use value drops to 69.2 g CO_2e/km, a 73.4% reduction relative to the gasoline vehicle (Koroma et al., 2022; Negri&Bieker, 2025; LowCarbonPower, 2026).

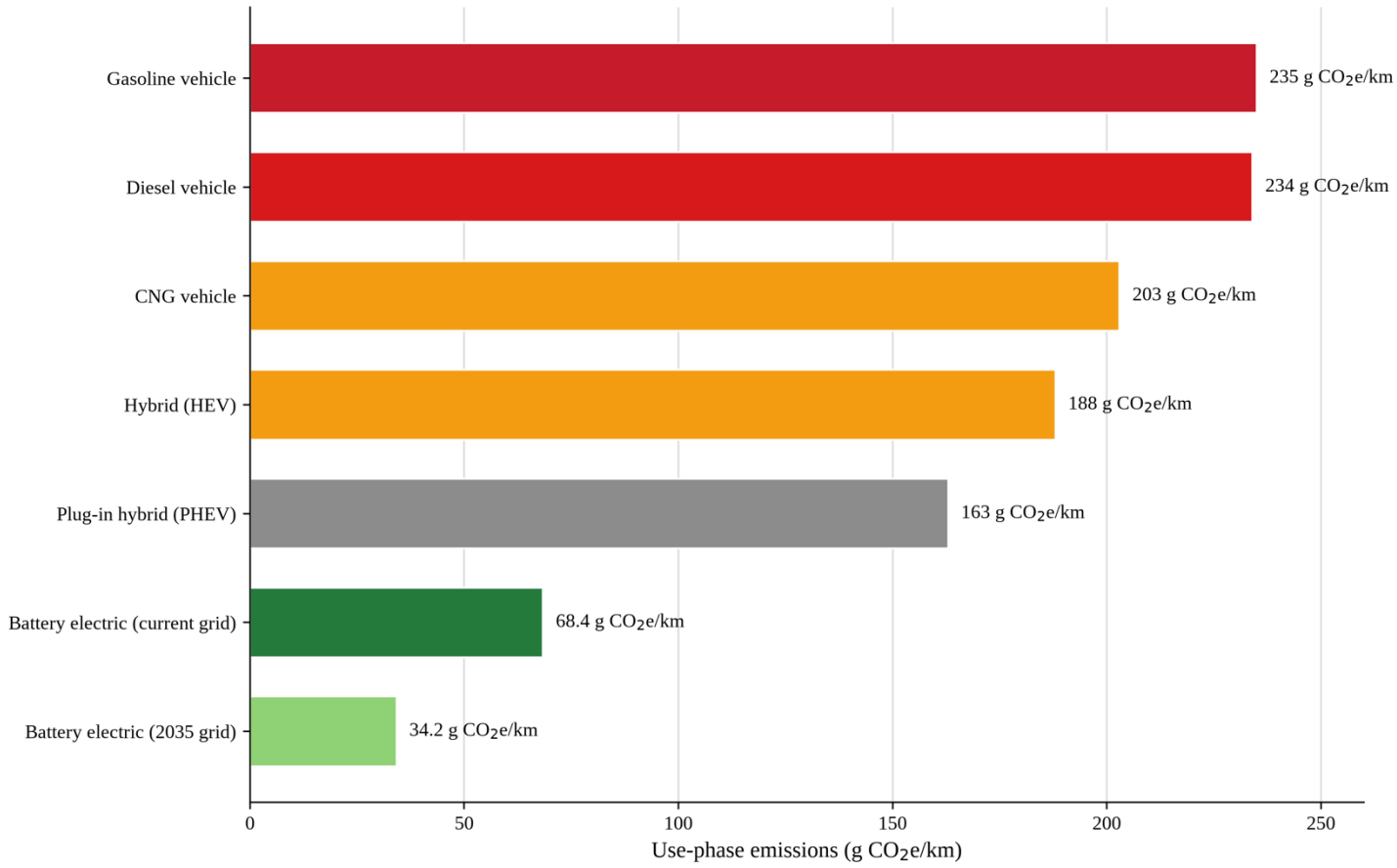
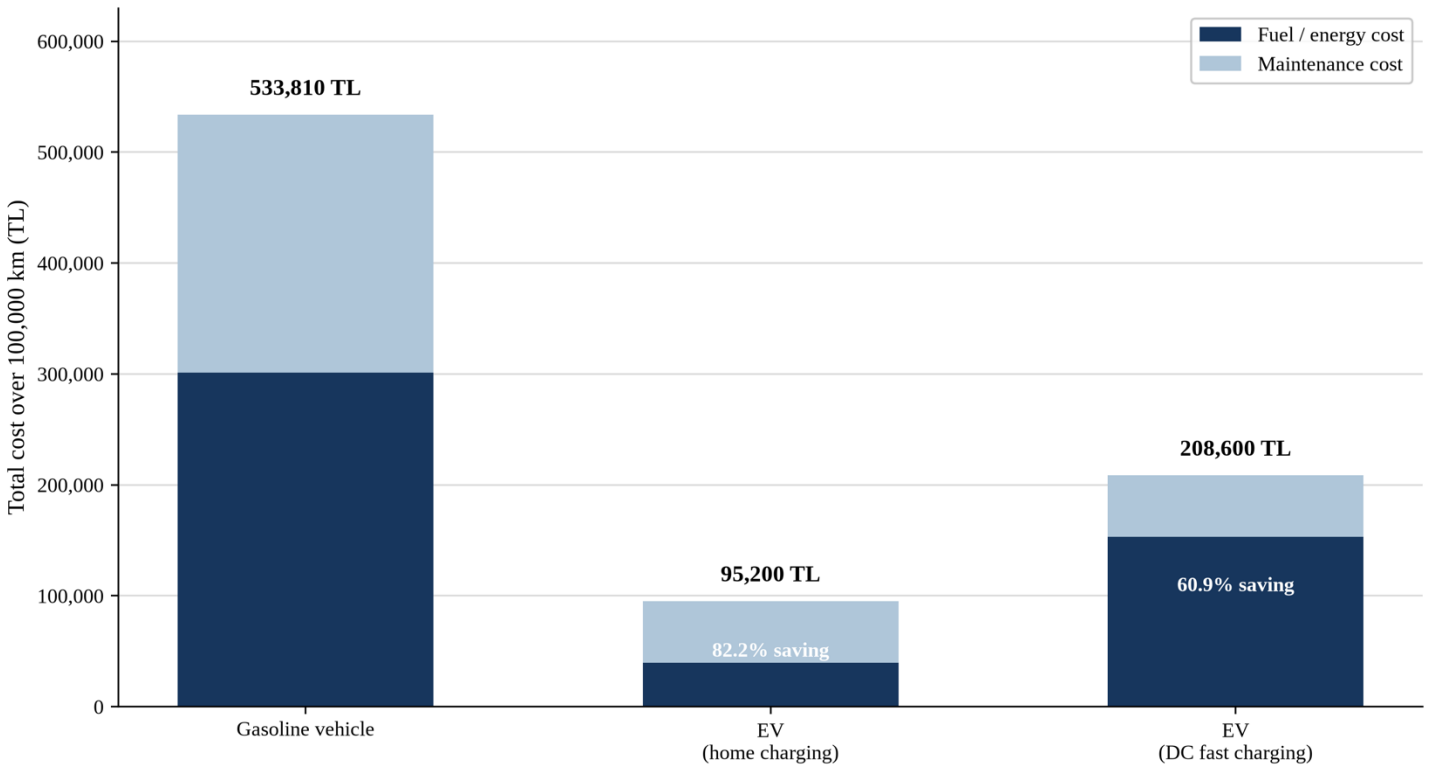


Figure 4. Use-phase greenhouse gas emissions by vehicle type.

3.2.Microeconomic impacts: consumer costs

The total fuel and maintenance cost of the gasoline vehicle was calculated as 533,810 TL for the operating scenario of 100,000 km. The total for the home-charged BEV was 95,200 TL, and the total for the BEV with DC fast charging was 208,600 TL. These numbers translate to 82.2% and 60.9% savings in operating costs for home and DC fast charging, respectively, as compared to the gasoline vehicle. Figure 5 shows the fuel or electricity component and the maintenance component separately for each charging scenario.



Energy assumptions: gasoline 7 L/100 km at 43 TL/L; EV 18 kWh/100 km at 2.2 TL/kWh (home) or 8.5 TL/kWh (DC).

Maintenance: 232,810 TL (gasoline) and 55,600 TL (EV), inferred from the manuscript's stated gasoline and home-charging totals.

Figure 5. Operating cost comparison over a 100,000 km usage scenario.

Table 2 shows the operational cost structure that supports the economic advantage of electric vehicles. For electric vehicles 18 kWh energy consumption per 100 km is very different from to 7.0 liter fuel consumption of internal combustion engine vehicles. So the cost dynamics are fundamentally different. The maintenance profile of electric vehicles is defined by the lack of internal combustion engine parts, which means only periodic replacement of cabin filters and brake fluid is needed. In addition, the implementation of regenerative braking technology is an improvement in terms of energy efficiency and a major reduction of wear of the mechanical parts of friction braking, thus increasing service intervals and decreasing lifetime maintenance costs. For international comparability, costs were also converted to USD using the TCMB exchange rate of 48.0732 TL/USD on 28 August 2026, the last business day preceding 29-30 August 2026.

Table 2. Energy and maintenance cost analysis per 100 km (2024-2025 prices)

Cost Item	Gasoline Vehicle (ICE)	Electric Vehicle (Home Charging)	Electric Vehicle (DC Fast Charging)
Consumption (Per 100 km)	7.0 Liters	18 kWh	18 kWh
Unit Price	43 TL/Liter	2.2 TL/kWh	8.5 TL/kWh
Energy Cost (Per 100 km)	301 TL	40 TL	153 TL
Fuel/energy cost over 100,000km	301,000 TL	39,600 TL	153,000 TL
Maintenance cost over 100,000 km	232,810 TL	55,600 TL	55,600 TL
Total operating cost	533,810 TL	95,200 TL	208,600 TL
Saving relative to gasoline veh.	Reference	82.2%	60.9%

These results translate into savings of 82.2% in operating costs for home charging, and 60.9% for DC fast charging compared to the gasoline vehicle. The BEV has lower maintenance costs due to its simpler powertrain and the use of regenerative braking, which reduces the use of friction brakes.

3.3.Macroeconomic impacts: energy security and employment

Türkiye meets a substantial portion of its petroleum demand through imports. The replacement of internal combustion engine vehicles with electric vehicles positively contributes to narrowing the country's foreign trade deficit by reducing the petroleum import bill. Furthermore, the automotive industry accounts for 5.5% of Türkiye's GDP and represents 3.4% of total industrial employment. The development of the electric vehicle ecosystem creates new high value added and skilled employment opportunities in the automotive sector. These areas include:

- Battery cell production and R&D activities
- Electric motor and power electronics systems design
- Installation and operation of charging station infrastructure
- In-vehicle software autonomous driving and connected vehicle technology

4.DISCUSSION

The findings suggest that BEVs have the potential to deliver important environmental benefits in Türkiye even with the existing electricity grid. The BEV has higher emissions from vehicle production than the gasoline vehicle, but its lower use-phase emissions offset the additional 2,000 kg CO_2e production burder after about 12,005 km using the current grid. In the 2035 scenario in Figure 2, the share of renewable electricity increases from 41% to 71% while the combined share of coal and natural gas decreases from 59% to 20%. For BEV use

phase emissions, with grid carbon intensity decrease is from 68.4 to 34.2 CO_2e/km. The corresponding carbon payback distance drops to about 9,960 km. Combined production-plus use emissions fall from 103.4 to 69.2 CO_2e/km between the current and 2035 BEV scenarios over a lifetime of 200,000 km.

(Negri&Bieker, 2025; LowCarbonPower, 2026).

Nevertheless, certain challenges must be overcome to ensure the success of the EV transition:

Charging Infrastructure: Rapid deployment of charging stations along intercity highways and in residential areas.

Smart Grid Integration: Integration of smart charging and vehicle to grid (V2G) Technologies to manage the additional load imposed by charging stations. V2G technology enables EV batteries to function as grid balancing assets, thereby supporting the intermittent nature of renewable energy sources.

Circular Economy: Promotion of the battery recycling industry. End of life batteries have the potential to provide an additional 8.3% reduction in climate impact.

5.CONCLUSION

To summarize, the environmental and economic benefits of BEVs in Türkiye are highly dependent on the decarbonization of the grid and the charging conditions. BEV use-phase emissions are 68.4 g CO_2e/km with the current grid, and the additional production load is recovered after approximately 12,005 km. In the 2035 scenario, the emissions in the use phase are reduced to 34.2 g CO_2e/km and the break-even distance is reduced to about 9,960 km. The savings in operating costs over 100,000 km compared to the gasoline vehicle are about 82.2% for home charging and 60.9% for DC fast charging. To reap the maximum benefits, therefore, we will need to accelerate renewable-energy investments, expand charging infrastructure, strengthen domestic battery technology and develop battery-recycling capacity.

Declaration of generative AI and AI-assisted technologies

Artificial intelligence (AI) tools were used solely for proofreading the manuscript and enhancing the resolution of the figures.

REFERENCES

A. Akbulut Uludağ, "Life cycle assessment and future scenario analysis of internal combustion and electric road vehicles in the context of Türkiye," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 29, no. 4, pp. 471–481, 2025.

Y. Aryan, A. C. K., A. K. Dikshit, and A. M. Shinde, "Comparative life cycle assessment of battery electric vehicles in developing countries under current and future electricity mix scenarios," *Discover Sustainability*, vol. 6, Art. no. 675, 2025.

O. Dönmezçelik, E. Koçak, and H. H. Örkcü, "Towards net zero emissions target: Energy modelling of the transport sector in Türkiye," *Energy*, vol. 279, Art. no. 128064, 2023.

Ember, *Türkiye Electricity Review 2025*, Apr. 2025. [Online]. Available: https://ember-energy.org

EY, *Türkiye Elektrikli Araç Ekosistemi ve Dönüşümü*, May 2025. [Online]. Available: https://www.ey.com

M. A. J. Huijbregts et al., "ReCiPe2016: A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 22, no. 2, pp. 138–147, 2017.

International Energy Agency, "Transport sector CO_2 emissions," 2020. [Online]. Available: https://www.iea.org

International Energy Agency, "Türkiye: Countries & regions," 2024. [Online]. Available: https://www.iea.org/countries/turkiye

International Organization for Standardization, *Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework*, ISO 14040:2006, Geneva, Switzerland, 2006.

M. S. Koroma et al., "Life cycle assessment of battery electric vehicles: Implications of future electricity mix and different battery end-of-life management," *Science of the Total Environment*, vol. 831, Art. no. 154859, 2022.

LowCarbonPower, "Electricity in Turkey in 2025/2026," 2026. [Online]. Available: https://lowcarbonpower.org

Ministry of Energy and Natural Resources, *Türkiye National Energy Plan 2022–2035*. Ankara, Türkiye: Republic of Türkiye, 2022. [Online]. Available: https://enerji.gov.tr/

M. Negri and G. Bieker, *Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions from Passenger Cars in the European Union: A 2025 Update*. International Council on Clean Transportation, Jul. 2025. [Online]. Available: https://theicct.org/publication/electric-cars-life-cycle-analysis-emissions-europe-jul25/

Republic of Türkiye, *Updated First Nationally Determined Contribution*. Ankara, Türkiye, 2023. [Online]. Available: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-04/T%C3%9CRK%C4%B0YE_UPDATED%201st%20NDC_EN.pdf

M. S. Saraç and M. A. Ertürk, "Forecasting the number of electric vehicles in Turkey towards 2030: SARIMA approach," *Energies*, vol. 18, no. 18, Art. no. 4808, 2025.

Turkish Statistical Institute, *Road Motor Vehicle Statistics*. Ankara, Türkiye, 2024. [Online]. Available: https://www.tuik.gov.tr/

G. Wernet et al., "The ecoinvent database version 3 (part I): Overview and methodology," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, no. 9, pp. 1218–1230, 2016.

PHENOLIC BIOACTIVE ALTERATIONS OF SPIRULINA MICROALGAE BASED NUTRACETICALS AND FUNCTIONAL FOODS BY NON-THERMAL PULSED ELECTRICAL FIELD (PEF) PROCESSING

Özlem TOKUŞOĞLU[1,2] / Prof.Dr.

[1]Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Dept of Food Engineering, YunusEmre, Manisa. Turkey

[2]Dokuz Eylul University, Depark Technopark, Spil Innova R &D, Balcova, Izmir, Turkey

proftokusogluozlem@gmail.com , ORCID No: 0000-0002-8960-5641

Abstract

Pulsed electric field (PEF) technology is a cutting-edge technique that uses electrical pulses to process food. By using a brief electric current to modify the charge distribution within cells and macromolecules, this technology modifies the microstructure of food. These changes guaranty the microbiological safety and kinetic stability of beverages by inactivating bacteria and enzymes. Additionally, the extraction of bioactive chemicals from food, agriculture, and food waste; molecular complexation; biopolymer modification; and as an auxiliary technology in freeze-thaw and drying processes are just a few of the many uses for pulsed electric field (PEF) technology. The product's functional and nutritional qualities can be maintained by the electric field without compromising its sensory qualities.

The study reports the first combined use of pulsed electric field (PEF) and pressurized liquid extraction (PLE) in a multistep process for extracting biomolecules from Spirulina. Analysis by triple-time-of-flight liquid chromatography–tandem mass spectrometry (Triple-TOF LC-MS/MS) showed that PEF plus pressurized liquid extraction (PLE) increased both the variety and content of phenolic compounds. It also significantly improved the extraction rate and biomolecule recovery compared with pulsed electric field (PEF) or pulsed laser extraction (PLE) used alone and also PEF+PLE significantly reduced extraction time ($p < 0.05$) by 144 min. Protein, polyphenol, chlorophyll a, and antioxidant capacity in the *Spirulina* extract increased by 1455%, 996%, 13%, and 52%, respectively. The potential economic worth of microalgal polyphenols in industrial food applications as well as nutraceutical and pharmaceutical applications is demonstrated by PEF+PLE extraction, which not only raises the concentration of polyphenols in the extract but also improves their diversity.

Key words: Spirulina, microalgae, Pulsed Electrical Field, PEF, bioactives, phenolics

1. INTRODUCTION

A major task for nowadays food research is identifying methods that satisfy consumers' expectations for processed foods that are both safe and high in quality. In response, the food industry and regulatory bodies are looking for new technologies that can deliver safe, stable food products. Heat pasteurization and industrial sterilization can produce foods that are both safe and nutritious, but they may also involve excessive heating beyond safe limits, which can reduce food quality and cause nutrient loss. Non-thermal processing technologies therefore offer the food industry new opportunities, along with challenges, in marketing foods that are safe, high-quality, and healthy (Tokuşoğlu and Swanson,2015 ; Bermudez-Aguirre and Barbosa-Canovas,2011).

Non-thermal processing technologies can decontaminate, pasteurize, and, in some cases, sterilize particular foods without compromising their freshness or nutritional content. Research on emerging non-thermal and thermal technologies should consider several relevant factors: (1) targeting microorganisms to ensure food safety; (2) targeting enzymes to extend shelf life; (3) maximizing potential synergistic effects; (4) altering food quality characteristics; (5) technical aspects; (6) energy and water conservation; (7) the potential for easy scale-up to the pilot scale; (8) the technology's reliability and economic feasibility; and (9) consumer awareness of the technology. It is stated that, exploring new food processing methods should primarily focus on maximizing the safety, quality, convenience, cost-effectiveness, and consumer well-being of food (Tokuşoğlu and Swanson,2015; Zhang et al., 2011).

Pulsed Electric Field (PEF) technology is a non-thermal food-processing method that uses brief, high-voltage electrical bursts to change cellular structures. Based on electroporation, it applies intense electric fields typically 1 to 80 kV/cm for microseconds or milliseconds to form microscopic pores in cell membranes. At lower intensities, the effect is reversible and can support structural modification or gentle extraction; at higher intensities, it becomes irreversible and is used for microbial inactivation. Since the process avoids degradation caused by high heat, PEF preserves the food's natural vitamins, freshness, color, and flavor far better than conventional pasteurization (Tokuşoğlu et.al.,2026).

Spirulina platensis (scientifically known as *Arthrospira platensis*) is a multicellular, filamentous cyanobacterium (blue-green algae) that has gained global recognition as a premier superfood and dietary supplement (Tokuşoğlu & Ünal, 2003) The previous study reported by Zhou et.al.(2022) that the combined use of pulsed electric field (PEF) and pressurized liquid extraction (PLE) in a multistep process for extracting biomolecules from *Spirulina*. It was showed that PEF+PLE increased both the range and concentration of

phenolic compounds. It also produced a significantly higher extraction rate than either pulsed electric field (PEF) or pulsed laser extraction (PLE) used alone. In the *Spirulina* extract, protein, polyphenol, chlorophyll a, and antioxidant capacity increased by 1328%, 979%, 11%, and 47%, respectively (Zhou et.al.,2022).

The aim of this study, to utilize of both PEF and pressurized liquid extraction (PLE) for extracting bioactives from special cultivated *Spirulina Platensis*, to analyze by triple-time-of-flight liquid chromatography–tandem mass spectrometry (Triple-TOF LC-MS/MS) and to detect of preliminary PEF treated Spirulina bioactives in Turkey.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Research Material

Three starter cultures of *Spirulina platensis* were obtained from Oleya Spirulina platensis (100 ml), Ízmir, Turkey. The microalgae cultures were developed using the semicontinuous culture system in duplicate runs (Richmond 1986), then mas- sive productions were done in duplicate flasks. Inoculation density of cultures in production were (1.5 to 1.8) × 106 cell/mL. These cultures were continuously aerated by using an air pump without additional carbon dioxide. The laboratory temperature was kept at 20 ± 2 °C, and 16 fluorescent lamps of 36 W each were provided for continual light.

ABTS (2,2′-Azino-Bis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid) ($C_{18}H_{24}N_6O_6S_4$), AAPH (2,2′-Azobis (2-methyl propionamidine) dihydrochloride) ($C_8H_{18}N_6 \cdot 2HCl$) , Folin-Ciocalteu, gallic acid ($C_7H_6O_5$), Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) ($C_{14}H_{18}O_4$), D-glucose ($C_6H_{12}O_6$), fluorescein sodium salt ($C_{20}H_{10}Na_2O_5$) and potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) were purchased from Sigma-Aldrich (Steinheim, Baden-Württemberg, Germany).

2.2. PEF Extraction / PLE Extraction Method / Multistep Extraction Method

For PEF extraction; *Spirulina platensis* was mixed with distilled water at a concentration of 2.5 g/250 mL in the treatment chamber, where the conductivity ranged from 1200–1500 µS/cm. An electric field strength as. 1 kV/cm was applied to produce alterations in the cells; with millisecond-long pulses, an electric field of 3–4 kV/cm can produce electroporation. After PEF treatment, the samples were transferred to a beaker, and 200 mL of H_2O or Cyrene™ (dihidrolevoglukosenon) were added , resulting in a sample–solvent ratio of 2.5 g of algae powder per 500 mL of solvent (cyrene is a solvent characterized by "green chemistry" principles; it is produced from waste biomass, exhibits extremely low toxicity and high solvency parameters, and displays polar

aprotic characteristics). Continuous stirring was maintained with a magnetic stirrer at room temperature and data were collected at 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, and 180 min.

For PLE extraction; *Spirulina* microalgae samples (2.5 g) and diatomaceous earth (1.2 g) were mixed thoroughly in a mortar before being transferred to the PLE extraction tank. Based on the PLE extract volume, the control experiment used 2.5 g of algae powder with 20 mL of solvent (H_2O / 50% Cyrene), stirred at 36 °C for 12 min. The samples were then centrifuged in icebath at 2000 rpm/15 min., the supernatants were stored at −20 °C until required for analysis.

The PEF and PLE multistep extraction process were then combined in a multistep extraction process to further obtain a higher yield of bioactives from our *Spirulina* samples.

2.3. Analysis Procedures

Protein level was analyzed via BCA (bicinchoninic acid) method (Smith et.al.,1985),whereas the Folin-Ciocalteu method was used to analyze the total polyphenol content in the extracts (Singleton & Rossi,1965). Spectrophotometric method was used for chlorophyll a/b analyses (Ritchie R.J.,2006), for antioxidant activity of the extract; ABTS/ Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) method (Re et.al., 1999) were used. LC-MS System (Agilent) was used at Dokuz Eylül Technology Develeopment Zone, Balçova, Izmir, Turkey.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The protein, polyphenol, chlorophyll a and b, and carotenoid results for *Spirulina* extracts obtained at different times (0–180 min), following PEF pretreatment and extraction with different solvents including green chemicals (H_2O and Cyrene™ -dihidrolevoglukosenon) were very effective. The extraction rate was significantly improved and biomolecule recovery compared with pulsed electric field (PEF) or pulsed laser extraction (PLE) used alone and also PEF+PLE significantly reduced extraction time ($p < 0.05$) by 144 min. Protein, polyphenol, chlorophyll a, and antioxidant capacity in the *Spirulina* extract increased by 1455%, 996%, 13%, and 52%, respectively.

This study is the preliminary data for the combined utilizing of pulsed electric fields (PEF) and pressurized liquid extraction (PLE) in a multistep process for recovering bioactives from *Spirulina*, with promising results in terms of the high biomolecule yield obtained. PEF's main effect during *Spirulina* extraction is attributed to its ability to break apart the microalgae's intact filaments and damage the cell. wall structure, thereby making PLE extraction more efficient.

4. CONCLUSION

The combined PEF + PLE process increases not only the extract's total polyphenol content but also the range of polyphenols it contains, giving the extract potential economic value for the industrial application of microalgae polyphenols. The potential economic worth of microalgal bioactives and further polyphenol compounds in industrial food applications as well as nutraceutical and pharmaceutical applications is demonstrated by PEF+PLE multi stepped extraction, which not only raises the concentration of polyphenols in the extract but also improves their diversity.

REFERENCES

Bermudez-Aguirre, D. & Barbosa-Canovas, G.V. (2011). BOOK. Introduction to: Nonthermal Processing Technologies for Food, Zhang, HQ, Barbosa-Canovas, GV, Balasubramaniam, VM, Dunne, CP, Farkas, DF and Yuan, JTC, Eds. John Wiley and Sons, Inc. Ames, IA.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biology and Medicine*. Vol 26(9-10), 1231-1237.

Ritchie, Raymond J. (2006). Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. *Photosynthesis Research. 89(1),* p:27–41

Singleton, Vernon L & Rossi Joseph A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. Vol16(3) p:144-158.

Smith, P. K., Krohn, R. I., Hermanson, G. T., Mallia, A. K., Gartner, F. H., Provenzano, M. D., Fujimoto, E. K., Goeke, N. M., Olson, B. J., & Klenk, D. C. (1985). Measurement of Protein Using Bicinchoninic Acid *Analytical Biochemistry*. Vol 150 (1), 76–85.

Tokuşoğlu, Ö. & Ünal, M.K. (2003). "Biomass Nutrient Profiles of three microalgae: Spirulina Platensis,Chlorella Vulgaris and Isochrisis Galbana". Journal of Food Science, WILEY. May 2003,68(4):1144-1148. doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09615.x

Tokuşoğlu, Ö. & Swanson, B.G. (2015). "Introduction to Improving Food Quality by Novel Food Processing" (Chapter 1 - Part I). p.3-7. In BOOK "Improving Food Quality with Novel Food Processing Technologies". Book Ed. Özlem Tokuşoğlu & Barry G. Swanson. CRC Press Taylor and Francis Publisher, Florida,USA.

Tokuşoğlu, Ö., Phimolsiripol, Y., Gok I., Irmak, Ş. (2026). Plant-Based Functional Beverages and Juices by Non-Thermal Pulsed Electrical Field (PEF) Processing: Comprehensive Review on Improving Quality, Food Chemistry and Phytochemical Alterations. In Preparation for Publication.

Zhang, H.Q., Barbosa-Cánovas, G.V., Balasubramaniam, V.M., Dunne, C.P., Farkas, D.F., Yuan, J.T.C. (2011). Nonthermal Processing Technologies for Food. BOOK. ISBN:9780813816685, DOI:10.1002/ 9780470958360. Blackwell Publishing Ltd.

Zhou J., Wang M., Berrada H., Zhu Z., Grimi N. (2022). Pulsed electric fields (PEF), pressurized liquid extraction (PLE) and combined PEF + PLE process evaluation: Effects on Spirulina microstructure. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2022, 77, pp.102989.

BIOMASS LIPID PROFILES OF SUPERFOOD SPIRULINA MICROALGAE AS FUNCTIONAL DRINK AND FOOD SUPPLEMENT

Özlem TOKUŞOĞLU[1,2] / Prof.Dr.

[1]Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Dept of Food Engineering, YunusEmre, Manisa. Turkey

[2]Dokuz Eylul University, Depark Technopark, Spil Innova R &D, Balcova, Izmir, Turkey

proftokusogluozlem@gmail.com , ORCID No: 0000-0002-8960-5641

Abstract

Spirulina, a species of cyanobacteria and a blue-green microalga rich in food composition, is considered a "superfood" because it contains relatively high concentrations of protein, vitamins, minerals, and antioxidants compared to its low-calorie content. This cultivated microalga is particularly an important food additive and is used in the food industry in salads, soups, and sauces; furthermore, its potential use in baby food, popcorn, spice mixes, fruit juice blends, chips, apple-and-blueberry smoothies, dill beans, pasta, and avocado sauce, as well as its widespread commercialization as a dietary supplement in powder, tablet, and capsule forms, will accelerate research efforts.

In this study, the food composition of specially cultivated *Spirulina platensis* was determined and the results were reported as total fat percentage. Three strains of these microalgae were examined. Total polyunsaturated fatty acid (PUFA) and saturated fatty acid (SFA) contents, n-3/n-6 ratios, and eicosapentaenoic acid (EPA)/docosahexaenoic acid (DHA) ratios were also measured. Spirulina samples contain on average 7.53% total lipids ($p < 0.01$). The specially cultivated Spirulina is a rich source of alpha-linolenic acid (C18:2n-6) (ALA) and gamma-linolenic acid (C18:3n-6) (GLA), at 15.03% and 0.74% respectively. Arachidonic acid (C20:4n-6) accounts for 0.45% of the fatty acids, and the level of docosapentaenoic acid (DHA) (C22:5n-3) is relatively high at 3.56%.

Keywords: Spirulina, microalgae, biomass, lipid, PUFA, SFA, EPA, DHA, ALA, GLA

BIOMASS LIPID PROFILES OF SUPERFOOD SPIRULINA MICROALGAE AS FUNCTIONAL DRINK AND FOOD SUPPLEMENT

Özlem TOKUŞOĞLU[1,2] / Prof.Dr.

[1] Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Böl., Yunus Emre, Manisa,Türkiye

[2]Dokuz Eylül Üniversitesi, Depark Teknopark, Spil Innova Ltd.Şti., Balçova, İzmir, Türkiye

proftokusogluozlem@gmail.com , ORCID No: 0000-0002-8960-5641

Özet

Bir siyanobakteri türü olan ve gıda bileşimi açısından zengin olan mavi-yeşil mikroalg *Spirulina*, düşük kalori içeriğine kıyasla oldukça yüksek konsantrasyonda protein, vitamin, mineral ve antioksidan içermesi nedeniyle "süper gıda"'dır. Özellikle yetiştirilen bu mikroalg önemli bir gıda katkı maddesi olup gıda sektöründe salatalarda, çorbalarda ve soslarda kullanılmakta olup; ayrıca bebek maması, patlamış mısır, baharat karışımları, meyve suyu karışımları, cips, elma-ve-yaban mersinli smoothie'ler, dereotlu fasulye, makarna ve avokado sosunda da yer alabilmesi; toz, tablet ve kapsül formlarında yaygın olarak diyet takviyesi şeklinde ticarileştirilebilmesi çalışmalarına ivme kazandırılacaktır.

Bu çalışmada, özel olarak yetiştirilen *Spirulina platensis*'in gıda bileşimi belirlenmiş ve sonuçlar toplam yağ yüzdesi olarak raporlanmıştır. Bu mikroalglerden üç suş incelenmiştir. Toplam çoklu doymamış yağ asidi (PUFA) ve doymuş yağ asidi (SFA) içerikleri, n-3/n-6 oranları ve eikosapentaenoik asit (EPA)/dokosaheksaenoik asit (DHA) oranları da ölçülmüştür. Spirulina örnekleri ortalama %7,53 toplam lipid içermektedir ($p < 0,01$). Özel olarak yetiştirilen *Spirulina*, sırasıyla %15,03 ve %0,74 oranlarında alfa-linolenik asit (C18:2n-6) (ALA) ve gamma-linolenik asit (C18:3n-6) (GLA) yönünden zengin bir kaynaktır. Araşidonik asit (C20:4n-6) içeriği yağ asitlerinin %0,45 ve dokosapentaenoik asit (DHA) (C22:5n-3) seviyesi yüksek olup %3,56'ya düzeyindedir.

Anahtar kelimeler: Spirulina, mikroalg, biyokütle, lipid, PUFA, SFA, EPA, DHA, ALA, GLA

1. INTRODUCTION

The biochemistry and profiles of microalgae have been studied extensively, while microalgal cultures have also been developed as food supplements (Tokuşoğlu & Ünal 2003, Nitzan et.al., 1999; Schwartz et.al., 1991). Some nutrients are particularly abundant in microalgal biomass, including n-3 and n-6 fatty acids, proteins, minerals, and other essential nutrients (Becker 1994; Tokuşoğlu & and Ünal, 2003,2001). Epidemiological and clinical investigations have found a strong association between coronery heart diseases (CHD) and the consumption of foods high in omega-3 fatty acids (Ricardo & Valenzula 2000). The introduction of n-3 fatty acids from microalgae into the food supply has led to w-3 FAs-enriched foods in the agrifood industry (Simopoulos,2000). The aim of current study is determination the proximate composition, fatty acid profiles (FAs) of superfood *Spirulina* microalgae as functional drink and food supplement.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Cultivation and Preparation of *Spirulina* Microalgae Samples

Three starter cultures of *Spirulina platensis*, were obtained from the Culture Collection of Algae and Protozoa, Dunstaffnage Marine Laboratory, OBAN, Argyll, Scotland, U.K. The microalgae were isolated from the cultures in the solid state using the agar method (Tokuşoğlu &Ünal,2003). The microalgae cultures were grown in duplicate runs using a semicontinuous culture system. Large-scale production was then carried out in duplicate flasks. The inoculation density in the production cultures was (1.5 to 1.8) × 106 cell/mL.

Continuous aeration was provided with an air pump, without additional carbon dioxide. The laboratory temperature was maintained at 20 ± 2 °C, and 16 fluorescent lamps, each rated at 36 W, supplied continuous illumination. Light reaching the culture surfaces was measured in E m–2 s–1. Conwey culture medium (Pınar Deniz A.S., Izmir, Turkey) was used for all microalgal cultivations, while culture pH and salinity were measured routinely.

Biomass from *Spirulina platensis* was collected directly from the bioreactor in a Pyrex glass container and centrifuged at 4000 rpm for 4 min. The harvested biomass contained a high amount of moisture. Biomass from *Spirulina* was centrifuged using the same procedure. The resulting biomass cakes were washed with 0.5 M NaCl and bidistilled water in order to eliminate nonbiological material, including mineral salt precipitates. The biomass was then freeze-dried and stored in Eppendorf vials at –28 °C for nutrient-profile analysis. Samples of these biomasses were collected in triplicate. (n = 3).

2.2. Total Lipid Analysis & FAME Analysis

Proximate analysis and total lipid content were performed by Tokuşoğlu & Ünal (2003). For lipid analysis procedure, 0.16 mg of dry microalgae, equivalent to 2 g of the wet sample, was placed in a 15 mL test tube, followed by 1.6 mL water, 4 mL of chloroform, and 2 mL of methanol were added. The solution was vortexed for 5 min. The reaction mixture was then placed in an ultrasonic bath with an additional 2 mL of chloroform and 1 mL of methanol. At 25 °C for 10 min, the contents of the test tube were mixed on a vortex for 30 s. The tubes were then centrifuged at 3500 rpm for 15 min. The upper (water + methanol) phase was withdrawn with a Pasteur pipette. The lower chloroform phase, which contained the extracted lipids, was transferred to a 20 mL test tube. The solid residue remaining at the bottom of the extraction tube underwent the same extraction procedure three more times before being filtered through chloroform-wetted filter paper. The filtrate was concentrated at 50 °C in a rotary evaporator under reduced pressure, then evaporated to dryness with nitrogen.

The fatty acid methyl esters (FAMEs) were prepared from lipids extracted from each species through esterification with a 14% boron trifluoride (BF_3)–methanol complex.

2.3. Gas chromatography (GC) Analysis

FAMEs were prepared from microalgal lipids, and the resulting FA profiles were obtained by gas-liquid chromatography (GC). The fatty acid methyl esters were analyzed using a 100-m column with a 0.20 m film thickness and a 0.25-mm-inside-diameter WCOT fused-silica SP-2560 capillary column installed on a Hewlett-Packard 5890 gas-liquid chromatograph (Albertville, Minn., U.S.A.) equipped with a flame ionization detector (FID). The gas chromatograph was programmed to begin at 170 °C and rise at 1 °C/min to 205 °C. Injector and detector temperatures were set at 250 °C and 270 °C, respectively. Hydrogen served as the carrier gas at a flow rate of 1.5 mL/min, with a split ratio of 33:1. Samples were injected at 2 L.

Fatty acid determinations were based on three separate lipid extractions and esterification operations. Each extract was injected in triplicate (n = 3). Retention times were compared with those of FAMEs from known standards. The FA standards produced linear calibration curves through the origin (R^2 = 0.9999). The GC method was validated for determining fatty acids in 3 microalgae within the 95% confidence limits. Mean analytical recoveries, calculated for individual fatty acids in the microalgae samples, ranged from 99.8%

3. RESULTS AND DISCUSSION

Nutrient profiles of three Spirulina types was determined. The proximate results of three microalgae analyses are provided in Table 1. Protein content was very high in Spirulina samples 1, 2, and 3 with a mean of 63.0% ($p < 0.01$). Spirulina samples contained 7.53% of average total lipid ($p < 0.01$). Values obtained for recorded fatty acids (Fas) were obtained in percentages of total fat in Table 2. The major fatty acids were oleic acids (18:1n-9) for Spirulina with a mean of 34.44% ($p < 0.01$). *Spirulina* is a rich source of g-linolenic acid (C18:3n-6) (GLA) (the 1st 18:3 in Figure 1) with a mean of 4.59% ($p < 0.01$). Alpha-linolenic acid (C18:3n-3)(ALA) content (the 2nd 18:3 in Figure 1) for Spirulina samples 1, 2, and 3 were 0.62%, 0.68%, and 0.71%, respectively.

N-3 polyunsaturated fatty acids (PUFAs), particularly linolenic acid which is a precursor for prostaglandin, eicosapentaenoic acid (EPA), and docosahexaenoic acid (DHA), exert beneficial effects on human health. Spirulina 1, 2, and 3 contained 3.33%, 2.30%, and 3.51% of DHA whereas EPA in Spirulina samples 1, 2, and 3 with 2.33%, 2.21%, and 2.91%, respectively.

Table 1. Proximate Composition of Three Microalgae

Parameters	Spirulina 1	Spirulina 2	Spirulina 3
Moisture(%)	3.11 ± 0.05	4.08 ± 0.02	3.76 ± 0.04
Total ash(%)	7.43 ± 0.06	7.51 ± 0.05	10.38 ± 0.05
Crude protein(%)	63.26 ± 0.04	64.43 ± 0.03	61.32 ± 0.02
Crude lipid(%)	7.09 ± 0.03	7.14 ± 0.03	8.03 ± 0.06
Available carbohydrate(%)	15.17 ± 0.02	15.09 ± 0.04	15.81 ± 0.07
Energy (kJ)	1562.22 ± 2.11	1582.41 ± 2.26	1575.18 ± 3.68

†Data are based on dry wt(%), mean ± SD (n = 3)

Table 2. Fatty Acid Methyl Esters (FAME) of Three Microalgae and Gas Chromatogram of Fatty Acid Methyl Esters of *Spirulina Platensis* Microalgae

Fatty Acid	Spirulina Plantensis 1	Spirulina Plantensis 2	Spirulina Plantensis 3
C14:0	0.43	0.46	0.41
C14:1	0.53	0.48	0.30
C16:0	27.86	26.61	27.19
C16:1*n*-7	1.84	2.27	1.92
C18:0	5.80	8.82	6.66
C18:1*n*-9	32.86	34.71	35.74
C18:1*n*-7	1.17	1.64	1.33
C18:2*n*-6	10.37	14.45	11.25
C18:3*n*-6	4.60	3.64	5.52
C18:3*n*-3	0.62	0.68	0.71
C18:4*n*-3	0.71	0.57	0.81
C20:0	-	-	-
C20:4*n*-6	0.34	0.35	0.41
C20:5*n*-3	2.33	2.21	2.91
C22:5*n*-3	-	-	-
C22:6*n*-3	3.33	2.30	3.51

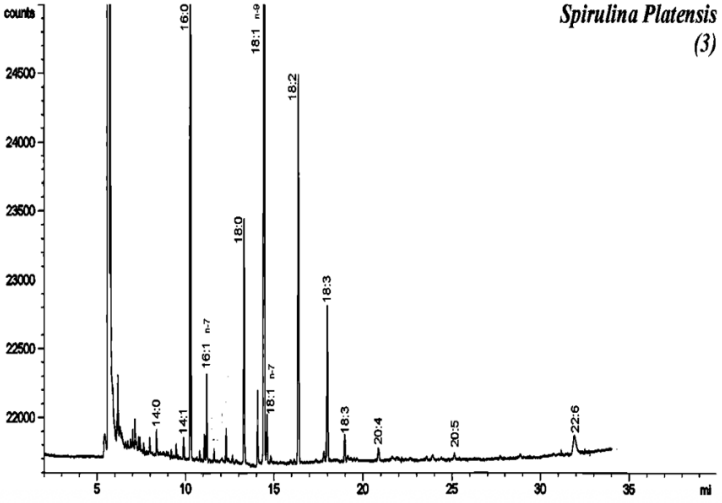


Table 3. SFA, MUFA, PUFA , Total ω-3, total ω-6 and Calculated Results As Percent of Total Lipid

	Spirulina 1	Spirulina 2	Spirulina 3
Σ SFA	34.09	35.89	34.26
Σ MUFA	36.40	39.10	39.29
Σ PUFA	22.30	24.20	25.12
Σ ω-3	6.99	5.76	7.94
Σ ω-6	15.31	18.44	17.18
Σ *n*-3/*n*-6	0.46	0.31	0.46
DHA/EPA	3.33	2.30	3.51

This study reported the nutrient profiles of three *Spirulina* microalgae and it was determined that above-mentioned microalgae was good potentials to human nutrition due to their high protein content, the presence of polyunsaturated fatty acids (PUFA). As a results; these microalgae types could be an important food additive agents. This study is a step towards objective determination for Spirulina microalgae utilization in the food and beverage industry.

REFERENCES

Becker, EW. (1994). Microalgae biotechnology and microbiology. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press. 293 p.

Nitzan, Z., Mokady, S., & Sukenik, A. (1999). Bioavailability of β-carotene from the microalga *Dunaliella bardawil* in rats is affected by the physical state of the carotene. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *47*(12), 5127–5132. doi.org

Tokuşoğlu, Ö. & Ünal, M.K. (2003). Biomass Nutrient Profiles of three microalgae: *Spirulina Platensis,Chlorella Vulgaris and Isochrisis Galbana*. *Journal of Food Science*, WILEY. May 2003,68(4):1144-1148. doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09615.x

Tokuşoğlu, Ö. & Ünal, M.K. (2001). Proceedings of the I.Algae Technology Symposium. October 24-26. Ege Science and Technology Research and Application Center (EBÍLTEM), Bornova, Ízmir, Turkey

Schwartz, A., Jiménez, G., Markovits, R., Conejeros, R., López, L., & Lutz, M. (1991). Formulación y evaluación organoléptica de alimentos formulados en base a la microalga marina *Nannochloropsis* sp. como fuente dietaria del ácido graso ω3 eicosapentaenoico. *Alimentaria: Equipos y Tecnología*, 92, 149-152

Simopoulos, A.P. (2000). Symposium: Role of Poultry Products in Enriching the Human Diet with N-3 PUFA. *Poultry Sci* 79:961-70.

Uauy, R., & Valenzuela, A. (2000). Marine Oils: The Health Benefits of n-3 Fatty Acids. *Nutrition*, *16*(7-8), 680-684.

ORGANİK TARIM UYGULAMALARININ ARBUSKÜLER MİKORİZAL FUNGUS (AMF) SPORLARININ SAYI VE ÇEŞİTLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi, Emel ATMACA[1]

[1]Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

ekaraarslan@selcuk.edu.tr, 0000-0002-2049-2423

Özet

Organik tarım; münavebe uygulamaları, sıfıra yakın toprak sürümü, kimyasal gübre ve pestisit kullanımından kaçınma gibi ilkeleriyle toprak ekosistemini destekleyen sürdürülebilir bir üretim sistemidir. Bu uygulamalar, toprak canlılarının sayı ve aktivitesini artırmasının yanı sıra bitki-toprak ilişkisinde kilit rol oynayan arbüsküler mikorizal fungusların (AMF) da gelişimini teşvik etmektedir. Literatür verileri, organik sistemlerde AMF spor yoğunluğu ve tür çeşitliliğinin konvansiyonel sistemlere kıyasla genellikle daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, Kore'de mısır, biber ve patates yetiştirilen topraklarda organik ve konvansiyonel tarım sistemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, organik uygulanan alanlarda AMF bolluğunun ve toprak karbon dinamiklerinin konvansiyonel sisteme göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sıfıra yakın toprak işlemenin etkisini inceleyen altı yıllık bir tarla denemesinde ise, sürümsüz (no-till) sistemde AMF spor yoğunluğunun, yoğun azotlu gübreleme uygulansa dahi konvansiyonel pullukla işlenen sisteme göre en az iki kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. Fransa'da 75 bağ alanında yürütülen geniş kapsamlı bir çalışmada da organik tarımın AMF spor yoğunluğunu ve kök mikorizasyon oranını artırdığı, dönüşüm sürecindeki ve organik bağlarda AMF çeşitliliğinin konvansiyonele göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Ayrıca birçok çalışmada, fungisit ve diğer pestisitlerin kök kolonizasyonunu ve spor çimlenmesini olumsuz etkilediği, münavebe uygulamalarının ise tekli ekim (monokültür) sistemlerine kıyasla AMF tür bolluğunu artırdığı rapor edilmiştir. Bu bulgular, kimyasal girdilerin azaltılması ve toprağı koruyucu uygulamaların, AMF popülasyonlarının doğal döngüsünü sürdürmesine olanak tanıyarak toprak biyolojik verimliliğini ve dolayısıyla bitki besin elementi alımını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Sonuç olarak, organik tarım uygulamalarının; toprak mikrobiyal çeşitliliğinin korunması, sürdürülebilir toprak verimliliği ve çevre dostu tarımsal üretim açısından AMF popülasyonları üzerinde belirgin bir teşvik edici etkiye sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Organik tarım, Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF), Spor yoğunluğu, Toprak mikrobiyal çeşitliliği, Sürdürülebilir tarım.

EFFECTS OF ORGANIC FARMING PRACTICES ON THE NUMBER AND DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGUS (AMF) SPORES

Abstract

Organic farming is a sustainable production system that supports the soil ecosystem through principles such as crop rotation, near-zero tillage, and avoidance of chemical fertilizers and pesticides. In addition to increasing the number and activity of soil organisms, these practices also promote the development of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), which play a key role in the plant-soil relationship. Literature data reveal that AMF spore density and species diversity in organic systems are generally higher compared to conventional systems. For instance, a study comparing organic and conventional farming systems in maize, pepper, and potato fields in Korea found that AMF abundance and soil carbon dynamics were higher in organically managed fields than in conventional ones. In a six-year field experiment examining the effect of near-zero tillage, AMF spore density under a no-till system was found to be at least twofold higher than under conventional ploughing, even with intensive nitrogen fertilization. A large-scale study of 75 vineyards in France also showed that organic farming increased AMF spore density and root mycorrhization rate, and that AMF diversity was higher in vineyards under conversion and organic management than in conventional ones. Furthermore, many studies report that fungicides and other pesticides negatively affect root colonization and spore germination, while crop rotation increases AMF species abundance compared to monoculture systems. These findings indicate that reducing chemical inputs and adopting soil-protective practices allow AMF populations to maintain their natural cycles, positively affecting soil biological fertility and, consequently, plant nutrient uptake. In conclusion, organic farming practices are considered to have a clear promoting effect on AMF populations in terms of preserving soil microbial diversity, sustainable soil fertility, and environmentally friendly agricultural production.

Keywords: Organic farming, Arbuscular Mycorrhizal Fungus (AMF), Spore density, Soil microbial diversity, Sustainable agriculture.

1. GİRİŞ

Topraktaki canlı gruplarının her biri toprak sağlığı için farklı görevler üstlenmiştir. Faydalı organizmalar gibi zararlı olan gruplar da vardır. Toprakta sayı ve aktivite olarak en yaygın olan canlı grupları bakteri ve funguslardır. Bu çalışmada ön plana çıkan arbüsküler mikorizal funguslar (AMF), Glomeromycota bölümüne ait, kara bitkilerinin köklerinin büyük çoğunluğu ile karşılıklı yarar esasına dayalı simbiyoz bir ortaklık kuran obligat toprak mikroorganizmalarıdır (Oehl ve ark., 2003). AMF sporları bitki köklerine infekte olduktan sonra bitkiye başta fosfor olmak üzere özellikle bazı immobil (hareketsiz) besin elementleri ve suyun alımında önemli katkı sağlarlar. Bunun karşılığında ise bitkinin fotosentezle ürettiği karbonun bir kısmını kullanmaktadırlar. Bu simbiyotik ilişki sayesinde AMF; bitki beslenmesini iyileştirmekte, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslere karşı toleransını artırmakta, toprak agregat stabilitesini güçlendirmekte ve toprak kaynaklı patojenlere karşı bitkiye biyolojik koruma sağlamaktadır (Mathimaran ve ark., 2007).

Tarımsal uygulamalar, toprakta yaşayan AMF popülasyonlarının sayısını, spor yoğunluğunu ve tür çeşitliliğini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Yoğun kimyasal girdi kullanımına, derin toprak işlemeye ve tekli ekim sistemlerine dayanan konvansiyonel tarım uygulamalarının, AMF popülasyonlarını olumsuz yönde etkilediğine dair literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Chen ve ark., 2022). Buna karşılık; münavebe, sıfıra yakın toprak sürümü, kimyasal gübre ve pestisit kullanılmaması, anız yakılmaması gibi organik tarımın temel ilkeleri, toprak canlılarının sayı ve aktivitesini artırdığı gibi AMF sporlarının sayı ve çeşitliliğini de artırıcı yönde etki göstermektedir (Gosling ve ark., 2010; Park ve ark., 2024).

Bu derlemenin amacı, organik tarımda uygulanan başlıca yöntemlerin (münavebe, kimyasal gübre kullanılmaması, pestisit kullanılmaması, sıfıra yakın toprak sürümü ve anız yakılmaması) AMF spor sayısı ve çeşitliliği üzerindeki etkilerini, konvansiyonel tarım uygulamaları (münavebesiz tekli ekim, kimyasal gübreleme, pestisit uygulaması, derin toprak sürümü ve anız yakma) ile rakamsal olarak karşılaştırmalı biçimde, güncel ve referanslı literatür örnekleri üzerinden ortaya koymaktır.

1.1. Kuramsal Çerçeve: Arbüsküler Mikorizal Funguslar (AMF) ve Tarımsal Önemi

AMF, spor, hif ve kök içi yapılar (arbüskül ve vesikül) aracılığıyla yaşam döngüsünü sürdürmektedir. Toprakta oluşturdukları spor sayısı ve tür çeşitliliği; toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinden, iklimden ve en önemlisi uygulanan tarımsal yönetim şeklinden etkilenmektedir. Spor yoğunluğu ve kök kolonizasyon oranı, toprağın mikorizal potansiyelinin ve dolayısıyla biyolojik verimliliğinin göstergesi olarak kabul edilmektedir (Verzeaux ve ark., 2017). Bu nedenle, farklı tarımsal uygulamaların AMF popülasyonları üzerindeki etkisinin

sayısal verilerle ortaya konması, sürdürülebilir toprak yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, organik tarım uygulamalarının arbüsküler mikorizal fungus (AMF) spor sayısı ve çeşitliliği üzerine etkilerini konu alan bir derleme (review) niteliğindedir. Tarama sonucunda, 2000 yılı ve sonrasında yayımlanmış, konuyla doğrudan ilişkili, hakemli dergilerde yer alan ve rakamsal (sayısal) karşılaştırma içeren güncel araştırma makaleleri değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen bulgular; münavebe, kimyasal gübre kullanımı, pestisit kullanımı, toprak işleme yoğunluğu ve anız yakma başlıkları altında, organik uygulamalar ile bunların konvansiyonel karşılıkları (sırasıyla; münavebesiz tekli ekim, kimyasal gübreleme, pestisit uygulaması, derin/konvansiyonel sürüm ve anız yakma) kıyas yapılarak sentezlenmiştir.

3. BULGULAR

Yapılan literatür taraması sonucunda, organik tarımda kullanılan uygulamaların, konvansiyonel karşılıklarına kıyasla AMF spor sayısı, kolonizasyon oranı ve tür çeşitliliği üzerinde genel olarak olumlu bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Bulgular aşağıda beş ana başlık altında karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

3.1. Münavebe (Ekim Nöbeti) Uygulamalarının Münavebesiz (Monokültür) Sistemlerle Karşılaştırılması

Kenya'da yürütülen bir çalışmada, mısır-*Crotalaria grahamiana* (Krotolarya veya Çıngıraklı bitki) münavebesi uygulanan parseller ile sürekli mısır (monokültür) sistemi karşılaştırılmış; münavebe uygulanan alanlarda *Acaulospora scrobiculata* ve *Scutellospora verrucosa* türlerine ait spor yoğunluğunun, sürekli mısır ekilen alanlara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu, alan genelinde toplam 18 AMF spor türünün tespit edildiği bildirilmiştir (Mathimaran ve ark., 2007). Macaristan'da Martonvásár'da 50 yıllık uzun süreli bir tarla denemesinde ise mısır monokültürü; mısır-yonca, mısır-buğday ve mısır-arpa-bezelye-buğday münavebe sistemleriyle karşılaştırılmış, çeşitlendirilmiş münavebe sistemlerinin, monokültüre kıyasla farklı ve zaman içinde değişen AMF tür kompozisyonlarını olumlu olarak desteklediğini ortaya konmuştur (Magurno ve ark., 2015). Fransa, Almanya ve İsviçre sınır bölgesinde sekiz farklı arazide yürütülen bir çalışmada da yedi yıllık düşük-orta girdili münavebe sistemleri ile yüksek girdili sürekli mısır monokültürü karşılaştırılmış; artan arazi kullanım yoğunluğunun (monokültür) AMF tür zenginliğinde azalma ve kökte yavaş kolonize olan ancak hızlı sporlanan türlerin baskın hale gelmesiyle sonuçlandığı belirlenmiştir (Oehl ve ark., 2003).

3.2. Kimyasal Gübre Kullanımının Kimyasal Gübre Kullanılmayan Sistemlerle Karşılaştırılması

İngiltere'de 11 farklı çiftlikte, birbirine bitişik organik ve konvansiyonel (kimyasal gübre kullanılan) parseller karşılaştırılmış; organik yönetime geçişin, AMF spor sayısını ve kolonizasyon potansiyelini kısa sürede önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir (Gosling ve ark., 2010). Kore'de mısır, biber ve patates yetiştirilen topraklarda organik ve konvansiyonel (kimyasal gübreli) tarım sistemleri karşılaştırılmış; qPCR yöntemiyle ölçülen AMF bolluğunun ve toprak karbon dinamiklerinin organik sistemlerde konvansiyonel sisteme göre çok daha yüksek olduğu saptanmıştır (Park ve ark., 2024). Çin'in Jilin eyaletinde düşük-orta verimli mısır tarlalarında yürütülen bir çalışmada ise, uzun süreli kimyasal gübre kullanımının AMF spor yoğunluğu ve tür zenginliğini azalttığı; ancak düşük verimli topraklarda ise bu etkinin her zaman tek yönlü olmayabildiğini, yerel toprak koşullarına bağlı olarak spor sayısı ve tür zenginliğinin değişebildiği vurgulanmıştır (Chen ve ark., 2022). Fransa'da altı bağcılık bölgesinde 75 bağ alanını kapsayan geniş ölçekli bir çalışmada, organik tarımın spor yoğunluğunu önemli bir şekilde, kök mikorizal infeksiyon oranını ise kısmen artırdığı; kimyasal uygulamalardan organik gübre uygulamalarına dönüşüm sürecindeki bağlarda ise AMF çeşitliliğinin parsel başına 9 ile 35 arasında arttığı bildirilmiştir (Battie-Laclau ve ark., 2025).

3.3. Pestisit Kullanımının Pestisit Kullanılmayan Sistemlerle Karşılaştırılması

Almanya'da domates bitkileri üzerinde yürütülen bir çalışmada, bitkilere püskürtülen Signum® ve Topas® fungisitlerinin toplam kök kolonizasyon oranını, pestisit uygulanmayan kontrol bitkilerine kıyasla önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir; Signum®'un arbüskül oluşumunu, Topas®'ın ise hif oluşumunu baskıladığı, Cuprozin® uygulamasının ise toplam kolonizasyonu etkilemese de vesikül oluşumunu azalttığı, bu etkilerin uygulamadan 35 gün sonra değil ancak 90 gün sonra belirgin hale geldiği rapor edilmiştir (Okiobe ve ark., 2022). Yine pestisitlerin AMF üzerine etkilerini derleyen kapsamlı bir çalışmada, fungisit grubuna giren birçok etkin maddenin spor çimlenmesini, kök kolonizasyonunu ve dış radikal hif gelişimini pestisit uygulanmayan sistemlere kıyasla olumsuz etkilediği, ancak etkinin pestisit türüne ve AMF türüne göre değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Hage-Ahmed ve ark., 2019).

3.4. Sıfıra Yakın Toprak Sürümünün Derin/Konvansiyonel Sürüm ile Karşılaştırılması

Fransa'da altı yıl süren bir tarla denemesinde, konvansiyonel pullukla sürüm (CT) ile sıfıra yakın toprak işleme (no-till, NT) sistemleri karşılaştırılmış; yoğun azotlu gübreleme uygulansa dahi, sıfıra yakın sürüm sisteminde topraktaki AMF spor yoğunluğunun, konvansiyonel sürüm uygulanan sisteme göre en az iki kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Verzeaux ve ark., 2017). Polonya'da üç yıllık spelt buğdayı (*Triticum aestivum* ssp.

spelta) monokültüründe konvansiyonel sürüm ve sıfır sürüm sistemleri karşılaştırılmış; toprakta ortalama olarak 100 g kuru toprakta 1325 adet AMF sporu tespit edilmiş, spor sayısının ve kök kolonizasyon oranının (%3,0-%31 arasında) uygulanan sürüm sistemine ve bitki gelişme dönemine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Bohacz ve ark., 2022).

3.5. Anız Yakılmayan Sistemlerin Anız Yakılan Sistemlerle Karşılaştırılması

Madagaskar'da kurak tropikal ormanlık alanda yürütülen bir çalışmada, kesme-yakma (slash-and-burn) uygulanan parseller ile yakma uygulanmayan kontrol parselleri karşılaştırılmış; toprak ve kök örneklerinde yağ asidi belirteçleri (PLFA/NLFA) ve spor ekstraksiyonu ile ölçülen AMF yoğunluğunun, yakma uygulanan alanlarda yakılmayan kontrol alanlarına göre belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir (Barraclough ve Olsson, 2018). Bu bulgu, anız/bitki artığı yakma uygulamasının, toprak yüzeyinde bulunan AMF spor ve hif propagüllerini doğrudan tahrip ederek popülasyon yoğunluğunu düşürdüğünü desteklemektedir; buna karşın anız yakılmayan yani bitki artıklarının toprağa geri döndüğü organik uygulamalarda bu tahribatın yaşanmadığı ve organik madde döngüsünün desteklenmesiyle birlikte AMF gelişimi için çok daha uygun bir ortam oluştuğu değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Organik tarım uygulamalarının AMF spor sayısı ve çeşitliliği üzerine etkisine ilişkin literatür özeti

Organik Uygulama	**Konvansiyonel Karşılaştırma**	**Temel Bulgu**	**Kaynak**
Münavebe	Sürekli mısır monokültürü	Rotasyonda iki AMF türünün spor yoğunluğu anlamlı derecede daha yüksek	Mathimaran ve ark., (2007)
Münavebe (7 yıllık, düşük-orta girdi)	Yüksek girdili sürekli mısır monokültürü	Monokültürde tür zenginliği azalmış	Oehl ve ark., (2003)
Kimyasal gübre kullanılmaması (organik)	Konvansiyonel kimyasal gübreleme	Organik alanlarda spor sayısı ve kolonizasyon potansiyeli hızla artmış	Gosling ve ark., (2010)
Kimyasal gübre kullanılmaması (organik)	Konvansiyonel kimyasal gübreleme	Organik sistemde AMF bolluğu ve toprak C dinamiği daha yüksek	Park ve ark., (2024)
Organik bağcılık	Konvansiyonel bağcılık	Spor yoğunluğu, kolonizasyon ve OTU çeşitliliği (9-35) daha yüksek	Battie-Laclau ve ark., (2025)
Pestisit kullanılmaması	Fungisit uygulaması (Signum®, Topas®)	Kök kolonizasyonu ve spesifik AMF yapıları azalmış	Okiobe ve ark., (2022)
Sıfıra yakın toprak sürümü	Konvansiyonel pullukla sürüm	Spor yoğunluğu en az 2 kat daha yüksek	Verzeaux ve ark., (2017)
Anız yakılmaması	Anız/bitki artığı yakılması (slash-and-burn)	Yakılan alanlarda AMF bolluğu belirgin şekilde azalmış	Barraclough ve Olsson (2018)

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu derlemede incelenen güncel literatür sonuçları irdelendiğinde, organik tarımın temel bileşenlerini oluşturan münavebe, kimyasal gübre ve pestisit kullanılmaması, sıfıra yakın toprak sürümü ve anız yakılmaması gibi uygulamaların, konvansiyonel tarım uygulamalarına (münavebesiz tekli ekim, kimyasal gübreleme, pestisit kullanımı, derin sürüm ve anız yakma) kıyasla topraktaki arbüsküler mikorizal fungus (AMF) spor sayısı ve tür çeşitliliği üzerinde genel olarak olumlu ve teşvik edici bir etkiye sahip olduğu ortaya konulmaktadır.

Özellikle sıfıra yakın toprak sürümünün spor yoğunluğunu en az iki kat artırdığı (Verzeaux ve ark., 2017), organik yönetime geçişin spor sayısını hızla yükselttiği (Gosling ve ark., 2010) ve kesme-yakma

uygulamalarının AMF bolluğunu belirgin biçimde azalttığı (Barraclough ve Olsson, 2018) yönündeki sayısal bulgular, bu ilişkinin güçlü kanıtlarını oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, bazı çalışmalarda (Chen ve ark., 2022) etkinin toprak verimlilik düzeyine, iklime ve bölgesel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği de bildirilmiştir. Bu durum, AMF spor popülasyonlarının yalnızca tek bir tarımsal uygulamadan değil, birden fazla faktörün bir arada etkileşimi sonucunda şekillendiğine işaret etmektedir. Dolayısıyla organik tarımın AMF spor popülasyonları üzerindeki olumlu etkisinin, uygulamaların bütüncül ve uzun süreli olarak sürdürülmesiyle daha belirgin hale geldiği söylenebilir.

Sonuç olarak; AMF-bitki ortak yaşamının başlaması ve bunu teşvik eden organik tarım uygulamalarının olumlu etkisiyle, bitki besin elementi ve su alımı iyileşmekte, toprak agregat stabilitesi artmakta, bitkiler abiyotik ve biyotik streslere karşı daha dayanıklı hale gelmektedir. Bu önemli dayanım mekanizmaları göz önüne alındığında, organik tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması hem toprak mikrobiyal biyoçeşitliliğinin korunması hem de sürdürülebilir ve çevre dostu tarımsal üretimin desteklenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu konuda yapılacak çalışmalarda, farklı toprak tipleri, iklim kuşakları ve bitki türleri kullanılarak AMF spor yoğunluğu ve çeşitliliğine ilişkin daha fazla sayısal veri üretilmesi sağlanmalıdır. Konvansiyonel tarım uygulamalarının ve bu kapsamda kullanılan kimyasalların çevreye verdiği tahribat göz önüne alındığında, mikroorganizmalar ve özellikle AMF sporları gibi toprak sağlığının indikatörü olan canlılarla yapılacak çalışmalarda organik tarım uygulamalarının daha fazla ön plana çıkarılması gerektiği düşünülmektedir. Bu yaklaşımın, toprak biyolojisine, biyolojik çeşitliliğe ve toprağın sürdürülebilirliğine olan yapıcı etkisinin daha net biçimde ortaya konmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Barraclough, A. D., & Olsson, P. A. (2018). Slash-and-burn practices decrease arbuscular mycorrhizal fungi abundance in soil and the roots of Didierea madagascariensis in the dry tropical forest of Madagascar. Fire, 1(3), 37.

Battie-Laclau, P., Taudière, A., Bernard, M., Bodénan, L., Duchemin, M., de Roman, Y., Yol, A., & Barry-Etienne, D. (2025). Terroir and farming practices drive arbuscular mycorrhizal fungal communities in French vineyards. Frontiers in Microbiology, 15, 1463326.

Bohacz, J., Korniłłowicz-Kowalska, T., Rybczyńska-Tkaczyk, K., & Andruszczak, S. (2022). Impact of the cultivation system and plant cultivar on arbuscular mycorrhizal fungi of spelt (Triticum aestivum ssp. spelta L.) in a short-term monoculture. Pathogens, 11(8), 844.

Chen, J., Li, J., Yang, Y., Wang, Y., Zhang, Y., & Wang, P. (2022). Effects of conventional and organic agriculture on soil arbuscular mycorrhizal fungal community in low-quality farmland. Frontiers in Microbiology, 13, 914627.

Gosling, P., Ozaki, A., Jones, J., Turner, M., Rayns, F., & Bending, G. D. (2010). Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonisation potential and spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi. Agriculture, Ecosystems & Environment, 139(1-2), 273-279.

Hage-Ahmed, K., Rosner, K., & Steinkellner, S. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and their response to pesticides. Pest Management Science, 75(3), 583-590.

Magurno, F., Sasvári, Z., & Posta, K. (2015). From monoculture to the Norfolk system: Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi communities associated with different crop rotation systems. Symbiosis, 65(2), 87-97.

Mathimaran, N., Ruh, R., Jama, B., Verchot, L., Frossard, E., & Jansa, J. (2007). Impact of agricultural management on arbuscular mycorrhizal fungal communities in Kenyan ferralsol. Agriculture, Ecosystems & Environment, 119(1-2), 22-32.

Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T., & Wiemken, A. (2003). Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. Applied and Environmental Microbiology, 69(5), 2816-2824.

Okiobe, S. T., Meidl, P., Koths, T., Olschewsky, D., Rillig, M. C., & Lammel, D. R. (2022). Root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi is reduced in tomato plants sprayed with fungicides. Frontiers in Agronomy, 4, 1028195.

Park, S. H., Kang, B. R., Kim, J., Lee, Y., Nam, H. S., & Lee, T. K. (2024). Enhanced soil fertility and carbon dynamics in organic farming systems: The role of arbuscular mycorrhizal fungal abundance. Journal of Fungi, 10(9), 598.

Verzeaux, J., Nivelle, E., Roger, D., Hirel, B., Dubois, F., & Tetu, T. (2017). Spore density of arbuscular mycorrhizal fungi is fostered by six years of a no-till system and is correlated with environmental parameters in a silty loam soil. Agronomy, 7(2), 38.

PROPOLİSİN ANTİOKSİDAN KAPASİTESİNİ ARTIRMAK İÇİN ENZİM DESTEKLİ EKSTRAKSİYON

Dr. Öğretim Üyesi Hülya ŞEN ARSLAN[1,2]

[1]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü,

hsenarslan@kmu.edu.tr 0000-0003-0116-9062,

[2]Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Özet

Propolis, bal arıları tarafından bitkisel kaynaklardan toplanan reçinemsi bir üründür ve içerdiği zengin fenolik bileşikler sayesinde güçlü antioksidan, antimikrobiyal ve antienflamatuvar aktiviteler göstermektedir. Ancak propoliste bulunan fenolik bileşiklerin önemli bir kısmı hücre duvarı polisakkaritleri ve reçine-balmumu matrisine bağlı halde bulunmakta, bu durum klasik ekstraksiyon yöntemlerinde biyoaktif bileşiklerin geri kazanımını sınırlandırmaktadır. Enzim-destekli ekstraksiyonun (EAE) propolisten fenolik bileşiklerin serbestleştirilmesi ve antioksidan potansiyelinin artırılması üzerindeki etkisi henüz yeterince incelenmemiştir. Bu bağlamda enzim-destekli ekstraksiyonun, propolis ekstraktlarında daha yüksek fenolik içerik ve antioksidan kapasitenin elde edilmesine olanak sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada, Ekim 2025'de Kayseri ili Hisarcık bölgesinden temin edilen propolis örneklerine klasik etanolik ekstraksiyon (EEP) ile üç farklı konsantrasyonda (%1, %2 ve %3, v/w) Viscozyme® L enzimi uygulanarak yapılan enzim-destekli ekstraksiyon (EAE-1, EAE-2, EAE-3) karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Propolis ekstraktlarının toplam fenolik madde içeriği (TFMM) ve antioksidan kapasitesi sırasıyla Folin–Ciocalteu, DPPH, FRAP, CUPRAC ve ABTS yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, enzim uygulamasının propolisin fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu ($p<0,05$) ve söz konusu etkinin enzim konsantrasyonu ile doza bağımlı biçimde arttığını ortaya koymuştur. Bu yöntemin propolisin fonksiyonel gıda, nutrasötik ve farmasötik uygulamalardaki potansiyel sağlık faydalarını iyileştirmede etkin bir "yeşil" alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: propolis, enzim-destekli ekstraksiyon, Viscozyme® L, fenolik bileşikler, antioksidan aktivite

ENZYME-ASSİSTED EXTRACTİON FOR IMPROVED ANTİOXİDANT CAPACİTY OF PROPOLİS

Abstract

Propolis is a resinous product collected by honey bees from plant sources and exhibits strong antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activities thanks to its rich phenolic compounds. However, a significant portion of the phenolic compounds in propolis are bound to cell wall polysaccharides and the resin-wax matrix, which limits the recovery of bioactive compounds in classical extraction methods. The effect of enzyme-assisted extraction (EAE) on the release of phenolic compounds from propolis and the enhancement of its antioxidant potential has not yet been sufficiently studied. In this context, it is thought that enzyme-assisted extraction may allow for the achievement of higher phenolic content and antioxidant capacity in propolis extracts. In this study, classical ethanolic extraction (EEP) and enzyme-assisted extraction (EAE-1, EAE-2, EAE-3) using three different concentrations (1%, 2%, and 3%, v/w) of Viscozyme® L enzyme were comparatively evaluated on propolis samples obtained from the Hisarcık region of Kayseri province in October 2025. The total phenolic content (TFMM) and antioxidant capacity of the propolis extracts were determined using Folin–Ciocalteu, DPPH, FRAP, CUPRAC, and ABTS methods, respectively. The findings revealed that enzyme application had statistically significant effects ($p<0.05$) on the phenolic content and antioxidant capacity of propolis, and that this effect increased in a dose-dependent manner with enzyme concentration. This method demonstrates that propolis is an effective "green" alternative in improving the potential health benefits of functional foods, nutraceuticals, and pharmaceuticals.

Keywords: propolis, enzyme-assisted extraction, Viscozyme® L, phenolic compounds, antioxidant activity.

1. GİRİŞ

Propolis, bal arılarının bitkilerden topladıkları reçineli salgıları kendi enzimleri ve balmumuyla harmanlayarak elde ettikleri, yapışkan kıvamda bir kovan ürünüdür. Arıların bu maddeyi hazırlarken tercih ettikleri bitki kaynağı bulundukları coğrafyaya göre değişir; ılıman iklimlerde başlıca kavak tomurcukları ve huş ağaçları öne çıkarken, tropik bölgelerde *Baccharis* türleri ana kaynak konumundadır (Bankova ve ark., 2000). Arılar propolisi çoğunlukla kovan içindeki çatlakları kapatmak, yapıyı sağlamlaştırmak ve dışarıdan gelebilecek mikroorganizmalara karşı bir savunma hattı oluşturmak için kullanır. Bileşimi büyük oranda reçine ve bitkisel balsamdan (~%50) oluşur; geri kalanı ise balmumu (~%30), uçucu yağlar (~%10), polen (~%5) ve çeşitli organik bileşiklerden (~%5) meydana gelir (Burdock, 1998). Antimikrobiyal, antiviral, antienflamatuvar ve antioksidan etkileri sayesinde yalnızca geleneksel tıpta değil, farmasötik ve fonksiyonel gıda endüstrisinde de önemli bir yer edinmiştir (Pasupuleti ve ark., 2017). Propolisin kimyasal profili sabit değildir; coğrafya, botanik köken, mevsim ve hatta arı türü, bileşimi doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu değişkenlik, propolisin standart bir ürün olarak tanımlanmasını ve biyolojik etkilerinin öngörülmesini oldukça güçleştirmektedir (Salatino ve ark., 2011).

Propolisin sağlık üzerindeki etkilerinin arasında zengin polifenol içeriği yatmaktadır. Bu bileşiklerin başında flavonoidler ve fenolik asitler gelir (Kumazawa ve ark., 2004). Propoliste 300'ü aşkın farklı bileşik tanımlanmıştır. Bunlar arasında pinosembrin, krisin, galangin, apigenin, kuersetin ve kaempferol gibi flavonoidler; kafeik asit, p-kumarik asit ve ferulik asit gibi fenolik asitler ve bu asitlerin ester türevleri özellikle dikkat çekmektedir. Bu bileşiklerin antioksidan gücü büyük ölçüde yapılarındaki hidroksil gruplarından kaynaklanır; hidrojen atomu transferi (HAT) ve tek elektron transferi (SET) gibi mekanizmalarla serbest radikalleri etkisiz hale getirirler (Gülçin ve ark., 2010). Ancak bu noktada önemli bir kısıt devreye girer: propoliste fenoliklerin önemli bir bölümü serbest halde bulunmaz. Bir kısmı şeker molekülleriyle glikozitlenmiş, bir kısmı ester bağlarıyla türevlenmiş, önemli bir bölümü ise balmumu ve reçinenin oluşturduğu hidrofobik ağın içine sıkışıp kalmıştır. Bu durum hem ekstraksiyon verimini düşürmekte hem de tüketildiğinde bileşiklerin vücutta ne ölçüde emileceğini, yani biyoerişilebilirliğini ciddi biçimde sınırlandırmaktadır (Cottica ve ark., 2015).

Propolisten fenolik bileşiklerin geri kazanılmasında uzun yıllardır etanol başta olmak üzere organik çözücüler kullanılmaktadır. Ancak bu klasik yöntemin bilinen sınırlılıkları vardır: çözücü tüketimi yüksektir, işlem uzun sürer, elde edilen ekstraktta çoğu zaman balmumu kaynaklı istenmeyen safsızlıklar bulunur ve belki de en

önemlisi, matrise sıkıca bağlanmış fenolikler ortama yeterince salınamaz (Trusheva ve ark., 2007). Bu noktada enzim-destekli ekstraksiyon (EAE), son yılların en dikkat çekici alternatiflerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Selülaz, hemiselülaz ve pektinaz gibi karbohidrazlar hücre duvarını gevşeterek çözücünün iç kısımlara ulaşmasını kolaylaştırırken; β-glukozidaz ve tanaz gibi enzimler glikozit ve ester bağlarını hidrolize ederek fenolik aglikonların ortaya çıkmasını sağlar. Serbest kalan aglikonların antioksidan aktivitesi ise çoğu zaman bağlı formlarından belirgin biçimde daha yüksektir (Landbo ve Meyer, 2001). Propolis üzerinde yürütülen çalışmalar bu teorik beklentiyi büyük ölçüde doğrulamıştır: selülaz veya pektinaz ile yapılan ön muamele sonrasında toplam fenolik içerikte %30–65 arasında bir artış, DPPH ve ABTS radikal süpürme aktivitelerinde ise %25–50 düzeyinde bir iyileşme rapor edilmiş (Cottica ve ark., 2015; Mello ve Hubinger, 2012). Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, enzim-destekli ekstraksiyonun propolisin taşıdığı antioksidan potansiyeli fonksiyonel gıda ve nutrasötik uygulamalar için daha erişilebilir hale getirebilecek, çevre dostu ve umut vaat eden bir yöntem olduğu söylenebilir.

2. YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada materyal olarak kullanılan ham propolis, Ekim 2025'de Kayseri ili Hisarcık bölgesinden, yerel bir arıcılık işletmesinden temin edilmiştir. Örnekler, analiz aşamasına kadar ışıktan korunarak vakumlu ambalajlarda –18 °C'de muhafaza edilmiş; kullanım öncesinde dondurulmuş halde öğütülerek 40 mesh elekten geçirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasal reaktifler, Folin-Ciocalteu reaktifi, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), 2,2′-azino-bis(3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu (ABTS), 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ), bakır(II) klorür ($CuCl_2$), neoküproin ve demir(III) klorür ($FeCl_3$) dahil olmak üzere, Sigma-Aldrich (Almanya) ve Merck'ten (Darmstadt, Almanya) satın alınmıştır. Ayrıca, enzim preparatı olarak Viscozyme® L (Novozymes, Danimarka) kullanılmıştır.

2.2. Ekstraksiyon Yöntemi

2.2.1. Klasik Etanolik Ekstraksiyon (EEP)

Kontrol grubu olarak klasik etanolik ekstraksiyon yöntemi uygulanmıştır. Öğütülmüş propolis örneğinden 1 g tartılarak 50 mL %70 (v/v) etanol çözeltisi içerisine aktarılmış (1:50, w/v) ve karışım çalkalayıcıda karanlık ortamda 25 °C'de 200 rpm'de 24 saat boyunca ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Ekstraksiyon sonunda karışım Whatman No. 1 filtre kağıdından süzülerek balmumu ve çözünmeyen kalıntılar uzaklaştırılmış; elde edilen berrak ekstrakt amber renkli cam şişelere alınarak analize kadar +4 °C'de karanlıkta muhafaza edilmiştir.

2.2.2. Enzim-Destekli Ekstraksiyon (EAE)

Enzimatik işlem, propoliste bulunan hücre duvarı heteropolisakkaritlerinin (arabinogalaktan, ksilan, β-glukan, pektik polisakkaritler vb.) hidrolizi yoluyla matrise bağlı fenolik bileşiklerin serbestleştirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu amaçla arabanaz, β-glukanaz, selülaz, hemiselülaz, ksilanaz ve pektinaz aktivitelerini bir arada içeren Viscozyme® L (Novozymes, Danimarka) çok-enzimli preparatı kullanılmıştır (Nadar ve ark., 2018).

Enzimatik ekstraksiyon için 0,1 g sitrik asit 15 mL damıtılmış suda çözülerek sitrat tamponu hazırlanmış ve pH'ı 1 N NaOH ile enzimin optimum aralığı olan 4,5'e ayarlanmıştır. Hazırlanan tampon çözeltisine 1 g öğütülmüş propolis örneği eklenmiş ve homojen bir süspansiyon oluşturulmuştur. Süspansiyona substrat kütlesi üzerinden %1, %2 ve %3 (v/w) oranlarında (sırasıyla 10, 20 ve 30 µL) Viscozyme® L ilave edilerek üç farklı enzim yükleme düzeyi test edilmiştir. Enzimatik hidroliz, çalkalamalı su banyosunda 45 °C'de 120 dakika boyunca 150 rpm'de gerçekleştirilmiştir.

Enzimatik ön muamele sonrasında, matriste hâlâ mevcut fenolik bileşiklerin geri kazanımı ve enzimin denatürasyon yoluyla inaktivasyonu amacıyla karışıma 35 mL %96 mutlak etanol eklenerek son hacim 50 mL'ye ve etanol konsantrasyonu yaklaşık %70 (v/v) düzeyine getirilmiştir. Karışım oda sıcaklığında karanlık ortamda 200 rpm'de 24 saat inkübe edildikten sonra Whatman No. 1 filtre kağıdından süzülmüş; elde edilen berrak ekstraktlar amber renkli cam şişelerde analize kadar +4 °C'de karanlıkta muhafaza edilmiştir.

Böylece çalışmada dört farklı ekstrakt elde edilmiştir:

- EEP: Klasik etanolik ekstrakt (enzimsiz kontrol)
- EAE-1: %1 (v/w) Viscozyme® L + etanolik ekstraksiyon
- EAE-2: %2 (v/w) Viscozyme® L + etanolik ekstraksiyon
- EAE-3: %3 (v/w) Viscozyme® L + etanolik ekstraksiyon

Tüm gruplarda propolis:çözücü oranı (1:50, w/v), son etanol konsantrasyonu (%70) ve toplam ekstraksiyon süresi eşit tutulmuş; böylece tek bağımsız değişken enzim yükleme düzeyi olarak korunmuştur. Tüm ekstraksiyon işlemleri üç paralel olarak yürütülmüş ve sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

2.3. Toplam Fenolik Madde İçeriğinin (TFM) Belirlenmesi

Toplam fenolik madde içeriği, Folin–Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Singleton, 1999). Kısaca, 0,5 mL propolis ekstraktı, 2,5 mL %10 Folin–Ciocalteu reaktifi ve 2 mL %7,5 sodyum karbonat çözeltisi ile

karıştırılmıştır. Karışım karanlıkta 30 dakika inkübe edilmiş ve absorbans, spektrofotometre kullanılarak 760 nm dalga boyunda okunmuştur. Sonuçlar, gallik asit eşdeğeri olarak (mg GAE/g) ifade edilmiştir.

2.4. DPPH Serbest Radikal Süpürme Aktivitesi

DPPH radikal süpürme aktivitesi, Tontul ve Topuz (2017) tarafından tanımlanan yönteme göre belirlenmiştir. Propolis ekstraktları 0,1 mM DPPH çözeltisi ile karıştırılarak karanlıkta 30 dakika inkübe edilmiştir. Absorbans 517 nm dalga boyunda ölçülmüş ve sonuçlar troloks eşdeğeri olarak (mg TE/g) ifade edilmiştir.

2.5. FRAP (Demir İndirgeme Antioksidan Gücü) Tayini

FRAP analizi, Benzie ve Strain (1996) tarafından tanımlanan yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Asetat tamponu, TPTZ ve $FeCl_3$ içeren FRAP reaktifi taze olarak hazırlanmış ve örneklerle karıştırılmıştır. Karışım 37 °C'de 30 dakika inkübe edildikten sonra absorbans 593 nm dalga boyunda okunmuştur. Sonuçlar (mg TE/g) olarak ifade edilmiştir.

2.6. CUPRAC (Bakır İndirgeme Kapasitesi) Tayini

Antioksidan kapasite, Apak ve ark. (2004) tarafından tanımlanan CUPRAC yöntemi ile belirlenmiştir. $CuCl_2$, neokuproin ve NH_4Ac çözeltilerini içeren reaksiyon karışımı hazırlanmış ve örneklerle karıştırılmıştır. Absorbans 450 nm dalga boyunda ölçülmüş ve sonuçlar (mg TE/g) olarak ifade edilmiştir.

2.7. ABTS Radikal Süpürme Aktivitesi

ABTS radikal katyon süpürme aktivitesi, Re ve ark. (1999) tarafından tanımlanan yönteme göre belirlenmiştir. ABTS radikal katyonu ($ABTS^{\bullet+}$), 7 mM ABTS çözeltisi ile 2,45 mM potasyum persülfat çözeltisi ile karıştırılıp karanlıkta oda sıcaklığında 12–16 saat bekletilmesiyle oluşturulmuştur. Elde edilen $ABTS^{\bullet+}$ stok çözeltisi, absorbansı 734 nm'de 0,700 ± 0,020 olacak şekilde etanol ile seyreltilmiştir. Analiz için 0,1 mL propolis ekstraktı 3,9 mL seyreltilmiş $ABTS^{\bullet+}$ çözeltisi ile karıştırılmış ve karanlıkta 6 dakika inkübe edilmiştir. Absorbans, spektrofotometre kullanılarak 734 nm dalga boyunda okunmuştur. Sonuçlar troloks eşdeğeri olarak (mg TE/g) ifade edilmiştir.

2.7. İstatistiksel Analiz

Tüm analizler üç paralel olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Veriler, SPSS istatistik programı kullanılarak analiz edilmiştir. Gruplar arasındaki farklılıkların değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış; ortalama farklılıklarının çoklu karşılaştırmasında Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Toplam Fenolik Madde İçeriği ve Antioksidan Aktivite Üzerine Enzimatik İşlemin Etkisi

Viscozyme® L enzim ön muamelesinin propolisin toplam fenolik madde (TFMM) içeriği ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkileri Tablo 1'de sunulmuştur. Enzim-destekli ekstraksiyon (EAE), klasik etanolik ekstraksiyona (EEP) kıyasla hem TFMM içeriğinde hem de tüm antioksidan aktivite parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı artışlar sağlamış ($p<0,05$); ayrıca artışın enzim yükleme düzeyine bağlı olarak doza bağımlı bir şekilde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Toplam fenolik madde içeriği açısından, kontrol grubunda (EEP) 167,15 ± 1,19 mg GAE/g olan değer, %1 enzim uygulaması ile 289,85 ± 2,58 mg GAE/g' a yükselmiş; enzim konsantrasyonu %2' ye çıkarıldığında 425,78 ± 4,15 mg GAE/g, en yüksek doz olan %3'te ise 565,45 ± 5,81 mg GAE/g düzeyine ulaşmıştır. Bu bulgu, EAE-3 grubunda TFMM içeriğinin kontrole göre arttığını göstermektedir. Söz konusu artış, Viscozyme® L kompleksinin içerdiği selülaz, hemiselülaz, ksilanaz, β-glukanaz ve pektinaz aktivitelerinin propolis matrisindeki heteropolisakkarit yapıları hidrolize ederek, matrise glikozitler veya ester bağları aracılığıyla bağlı fenolik bileşiklerin aglikon formda serbest bırakılmasıyla açıklanabilir (Puri ve ark., 2012; Nadar ve ark.., 2018).

Tablo 1. Propolis ekstraktların fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasitesi

Örnekler	TFMM mg GAE/g	DPPH mg TE/g	FRAP mg TE/g	CUPRAC mg TE/g	ABTS mg TE/g
EEP	167,15±1,19^{d}	110,25±2,32^{d}	160,12±1,19^{d}	95,28±2,5^{d}	135,88±3,39^{d}
EAE 1	289,85±2,58^{c}	180,45±2,21^{c}	175,56±4,57^{c}	114,25±3,33^{c}	198,56±2,45^{c}
EAE 2	425,78±4,15^{b}	298,14±3,19^{b}	205,23±7,74^{b}	143,36±2,08^{b}	302,25±3,65^{b}
EAE 3	565,45±5.81^{a}	325,12±2,31^{a}	252,15±3,33^{a}	235,48±1,09^{a}	355,36±7,21^{a}

*Ortalama ± standart sapma. Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen değerler $p < 0,05$ düzeyinde birbirinden farklıdır (Tukey HSD).

DPPH radikal süpürme aktivitesi de benzer bir eğilim göstermiş; EEP'de 110,25 ± 2,32 mg TE/g olan değer EAE-1, EAE-2 ve EAE-3 gruplarında sırasıyla 180,45 ± 2,21; 298,14 ± 3,19 ve 325,12 ± 2,31 mg TE/g düzeyine yükselmiştir. En yüksek enzim dozunda kontrole kıyasla yaklaşık 3 katlık bir artış gözlenmiştir. Bu

bulgu, enzimatik hidroliz sonucu serbestleşen fenolik aglikonların, glikozitli formlarına göre daha güçlü hidrojen atomu ve elektron verme kapasitesine sahip olmasıyla açıklanabilmektedir.

FRAP analizinde EEP grubunda 160,12 ± 1,19 mg TE/g olarak ölçülen demir indirgeme kapasitesi, artan enzim konsantrasyonuyla birlikte sırasıyla 175,56 ± 4,57 (EAE-1); 205,23 ± 7,74 (EAE-2) ve 252,15 ± 3,33 mg TE/g (EAE-3) değerlerine ulaşmıştır. Diğer testlere kıyasla FRAP değerlerindeki artışın nispeten daha ılımlı olması (yaklaşık 1,6 kat), FRAP yönteminin özellikle düşük redoks potansiyelli fenolik bileşiklere karşı görece daha sınırlı bir yanıt vermesiyle ilişkilendirilebilir (Benzie ve Strain, 1996).

CUPRAC yöntemi ile belirlenen bakır indirgeme kapasitesi de enzim dozuna bağlı artış eğilimi sergilemiştir. EEP grubunda 95,28 ± 2,5 mg TE/g olan değer, EAE-1'de 114,25 ± 3,33; EAE-2'de 143,36 ± 2,08 ve EAE-3'te 235,48 ± 1,09 mg TE/g düzeyine yükselmiş; en yüksek dozda kontrole göre yaklaşık 2,5 katlık bir artış kaydedilmiştir. Özellikle EAE-2'den EAE-3'e geçişte gözlenen belirgin artış, yüksek enzim yüklemesinde matrisin daha kapsamlı biçimde parçalandığını ve bakır iyonlarını indirgeyebilen ekstra fenolik bileşiklerin ortama salındığını düşündürmektedir.

ABTS radikal süpürme aktivitesi ise en belirgin doza bağımlı artışın gözlendiği testlerden biri olmuştur. EEP grubunda 135,88 ± 3,39 mg TE/g olan değer, EAE-1'de 198,56 ± 2,45; EAE-2'de 302,25 ± 3,65 ve EAE-3'te 355,36 ± 7,21 mg TE/g düzeyine yükselerek kontrole kıyasla yaklaşık 2,6 katlık bir artış göstermiştir. ABTS yönteminin hem hidrofilik hem de lipofilik antioksidanları ölçebilme özelliği göz önünde bulundurulduğunda, bu bulgu enzimatik işlemin propoliste yalnızca suda çözünen fenoliklerin değil, aynı zamanda daha apolar karakterdeki flavonoid aglikonlarının da geri kazanımını artırdığını işaret etmektedir (Re ve ark.., 1999).

Tüm test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, Viscozyme® L uygulamasının propolisten fenolik bileşiklerin geri kazanımını ve buna bağlı olarak antioksidan kapasiteyi belirgin ölçüde artırdığı; en yüksek etkinliğin %3 (v/w) enzim yükleme düzeyinde elde edildiği görülmektedir. Bu bulgular, enzim-destekli ekstraksiyonun propolisin biyoaktif potansiyelini fonksiyonel gıda ve nutrasötik uygulamalar için değerlendirilebilir düzeye taşımada etkili bir "yeşil" alternatif olduğu yönündeki literatür bulgularıyla uyumludur (Cottica ve ark.., 2015; Mello ve Hubinger, 2012).

Tablo 2. Propolis ekstraktlarının TFMM, DPPH, FRAP, CUPRAC ve ABTS analizleri arasındaki Pearson korelasyon katsayısı

Örnekler	TFMM	DPPH	FRAP	CUPRAC	ABTS
TFMM	1,000	0,974*	0,980*	0,943	0,992**
DPPH		1,000	0,922	0,851	0,994**
FRAP			1,000	0,988*	0,960*
CUPRAC				1,000	0,904
ABTS					1,000

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

TFMM ile antioksidan test parametreleri arasında güçlü pozitif korelasyonlar tespit edilmiş olup, TFM içeriği DPPH (r = 0,974; *p<0,05*), FRAP (r = 0,980; *p<0,05*), CUPRAC (r = 0,943) ve ABTS (r = 0,992; *p<0,01*) değerleri ile yüksek düzeyde ilişkili bulunmuştur. Özellikle TFM ile ABTS arasındaki neredeyse mükemmel korelasyon (r = 0,992; *p<0,01*), propolisteki fenolik bileşiklerin ABTS radikal katyonuna karşı gösterilen süpürme aktivitesinin temel belirleyicisi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Viscozyme® L uygulaması ile ortama salınan fenolik aglikonların, propolisin antioksidan kapasitesinin ana katkı sağlayıcıları olduğunu güçlü biçimde desteklemektedir.

Antioksidan testler arasındaki ilişkiler incelendiğinde, en yüksek korelasyonun DPPH ile ABTS arasında (r = 0,994; *p<0,01*) elde edildiği görülmektedir. Her iki yöntemin de temel olarak serbest radikal süpürme mekanizmasına dayanması ve benzer türde hidrojen atomu/tek elektron transfer süreçlerini ölçmesi, bu güçlü ilişkinin mekanistik açıklamasını sunmaktadır. Benzer şekilde, FRAP ve CUPRAC yöntemleri arasında da yüksek bir korelasyon belirlenmiştir (r = 0,988; *p<0,05*); bu durum, her iki testin metal iyonu indirgeme prensibine dayanan benzer kimyasal mekanizmalar üzerinden antioksidan kapasiteyi ölçmesinin doğal bir sonucudur. Ayrıca FRAP ile ABTS arasındaki güçlü korelasyon (r = 0,960; *p<0,05*), radikal süpürme ve indirgeme mekanizmalarının propolis ekstraktlarında birbirini tamamlayıcı biçimde işlediğine işaret etmektedir.

DPPH ile FRAP (r = 0,922) ve DPPH ile CUPRAC (r = 0,851) arasındaki korelasyonlar da yüksek düzeyde pozitif olmakla birlikte, diğer eşleşmelere kıyasla nispeten daha düşük anlamlılık düzeyinde bulunmuştur. Bu bulgu, DPPH yönteminin ağırlıklı olarak radikal süpürme yeteneğini ölçerken FRAP ve CUPRAC yöntemlerinin metal indirgeme kapasitesini değerlendirmesinden kaynaklanan mekanistik farklılıklarla

açıklanabilir. Benzer şekilde, CUPRAC ile ABTS arasındaki korelasyon (r = 0,904) da yüksek olmakla birlikte istatistiksel anlamlılık sınırının altında kalmıştır. Bu bulgular bir bütün olarak değerlendirildiğinde, kullanılan beş farklı analitik parametrenin (TFM, DPPH, FRAP, CUPRAC ve ABTS) propolisin antioksidan potansiyelini birbirini tamamlayıcı biçimde karakterize ettiği ve enzim-destekli ekstraksiyonun etkinliğinin çok yönlü bir biçimde ortaya konmasına olanak sağladığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52(26), 7970–7981.

Bankova, V.S., De Castro S.L., Marcucci M.C. 2000. Propolis: recent advances in chemistry and plant origin. Apidologie, 31: 3-15.

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Analytical Biochemistry, 239(1), 70–76.

Burdock, G. A. (1998). Review of the biological properties and toxicity of bee propolis (propolis). *Food and Chemical toxicology*, *36*(4), 347-363.

Cottica, S.M., Sabik, H., Bélanger, D., Giroux, H.J., Visentainer, J.V., Britten, M., 2015. Use of propolis extracts as antioxidant in dairy beverages enriched with conjugated linoleic acid. European Food Research and Technology, 241(4): 543-551.

Gülçin I, Bursal E, Şehitoğlu MH, Bilsel M, Gören AC (2010). Polyphenol contents and antioxidant activity of lyophilized aqueous extract of propolis from Erzurum, Turkey. Food Chem Toxicol, 48 (8–9), 2227– 2238.

Kumazawa S, Hamasaka T, Nakayama T (2004). Antioxidant activity of propolis of various geographic origins. Food Chem, 84 (3), 329–339.

Landbo, A. K., & Meyer, A. S. (2001). Enzyme-assisted extraction of antioxidative phenols from black currant juice press residues (Ribes nigrum). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(7), 3169-3177.

Mello, B. C., & Hubinger, M. D. (2012). Antioxidant activity and polyphenol contents in Brazilian green propolis extracts prepared with the use of ethanol and water as solvents in different pH values. *International Journal of Food Science and Technology*, *47*(12), 2510-2518.

Mello, B. C., & Hubinger, M. D. (2012). Antioxidant activity and polyphenol contents in Brazilian green propolis extracts prepared with the use of ethanol and water as solvents in different pH values. *International Journal of Food Science and Technology*, *47*(12), 2510-2518.

Nadar, S. S., Rao, P., & Rathod, V. K. (2018). Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review. *Food Research International*, *108*, 309-330.

Pasupuleti VR, Sammugam L, Ramesh N, Gan SH. 2017. Honey, Propolis, and Royal Jelly: A Comprehensive Review of Their Biological Actions and Health Benefits. Oxidative Medi Cellular Longevity, 2017(2): 1-21.

Puri, M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in biotechnology*, *30*(1), 37-44.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, Free Radic. Biol. Med., 26, 1231–1237, 1999.

Salatino, A., & Salatino, M. L. F. (2021). Scientific note: Often quoted, but not factual data about propolis composition. Apidologie, 52, 312-314.

Singleton, V. L. (1999). Lamuela-Raventos: Analysis of total phenoles and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, 299, 152.

Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). LWT, 80, 294–303.

Trusheva, B., Trunkova, D., Bankova, V. 2007. Different extraction methods of biologically active components from propolis: a preliminary study.Chem. Cen. J. 7: 1-13.

BAY LEAVE SULU ÖZÜTÜ KULLANILARAK ÜRETİLEN BİYOJENİK SELENYUM NANOPARÇACIKLARININ SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU

Yüksek Lisans Öğrencisi Duygu Rana GÜRAN[1]/ Prof. Dr. Bilsen TURAL[2]/ Prof. Dr. Servet TURAL[2]/ Dr. Öğr. Üyesi Erdal ERTAŞ[3]

[1]Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Nanoteknoloji Anabilim Dalı, 248270001@ogr.dicle.edu.tr, ORCID ID: 0009-0000-2370-763X

[2]Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Nanoteknoloji Anabilim Dalı, btural@dicle.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-2481; stural@dicle.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2479-9438

[3]Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, erdalertas21@gmail.com, ORCID:0000-0002-0325-1257

Özet

Bu çalışmada, *Bay leave* (BL) yaprak ekstraktı kullanılarak selenyum nanopartiküllerinin (SeNPs) çevre dostu ve sürdürülebilir bir yaklaşımla biyojenik sentezi gerçekleştirilmiş ve elde edilen nanopartiküllerin fizikokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Sentezde selenyum öncülü olarak sodyum selenit kullanılmış, BL (defne) yaprak ekstraktında bulunan fitokimyasalların biyolojik indirgeme ve stabilizasyon kapasitelerinden yararlanılmıştır. Reaksiyon sırasında meydana gelen renk değişimi, selenyum iyonlarının indirgenmesi sonucunda BL-SeNPs oluşumunun makroskobik göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Sentezlenen BL-SeNPs nanopartiküller Ultraviyole-Görünür (UV-Vis) spektroskopisi, Fourier-transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Dinamik Işık Saçılımı (DLS) ve zeta potansiyel kullanılarak karakterize edilmiştir. BL-SeNPs nanopartiküllerin sentezi, UV-Vis spektrumunda 270-280 nm aralığında gözlenen geniş bir tepe noktasının gözlemlenmesiyle doğrulanmış olup, bu da SeNPs'nin yüzey plazmon rezonansını (SPR) göstermektedir. DLS analizinde BL-SeNPs nanopartiküllerin ortalama hidrodinamik partikül boyutu yaklaşık 230 nm, zeta potansiyel değeri ise −22,51 mV olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, BL-SeNPs nanopartiküllerin nanoölçekli yapıya sahip olduğunu ve kolloidal ortamda kümelenme göstermeyen orta düzeyde stabilite sergilediğini göstermektedir. FTIR bulguları ise BL ekstraktındaki hidroksil, karbonil ve benzeri fonksiyonel grupları içeren biyomoleküllerin selenyum iyonlarının indirgenmesinde ve oluşan nanopartiküllerin yüzeylerinin stabilize edilmesinde rol oynadığını düşündürmektedir. Genel olarak elde edilen bulgular, BL yaprak ekstraktının SeNP sentezinde hem biyolojik indirgeyici hem de doğal stabilizasyon ajanı olarak işlev görebildiğini ortaya koymaktadır. Bitki aracılı bu biyojenik sentez yaklaşımı, toksik kimyasal indirgeme ve kaplama ajanlarının

kullanımını azaltması, düşük maliyetli olması ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi bakımından geleneksel sentez yöntemlerine alternatif oluşturmaktadır. Sentez koşullarının pH, sıcaklık, reaksiyon süresi, öncül madde konsantrasyonu ve ekstrakt miktarı açısından optimize edilmesi, nanopartiküllerin boyut, morfoloji ve stabilite özelliklerinin kontrol edilmesi açısından önemlidir. Sonuç olarak, BL yaprağı temelli biyojenik sentez yöntemiyle elde edilen BL-SeNPs'lerin nanoteknoloji alanında önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Bay leave*, Biyojenik sentez, Selenyum nanopartiküller, Bitki ekstraktı

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOGENIC SELENIUM NANOPARTICLES PRODUCED USING *BAY LEAVE* AQUEOUS EXTRACT

Abstract

In this study, the biogenic synthesis of selenium nanoparticles (SeNPs) using *Bay leave* (BL) extract was carried out in an environmentally friendly and sustainable manner, and the physicochemical properties of the obtained nanoparticles were evaluated. Sodium selenite was used as a selenium precursor in the synthesis, and the biological reduction and stabilization capacities of the phytochemicals present in the BL (*Bay Leave*) extract were utilized. The color change occurring during the reaction was evaluated as a macroscopic indicator of the formation of BL-SeNPs as a result of the reduction of selenium ions. The synthesized BL-SeNPs nanoparticles were characterized using Ultraviolet-Visible (UV-Vis) spectroscopy, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Dynamic Light Scattering (DLS), and zeta potential. The synthesis of BL-SeNPs nanoparticles was confirmed by observing a broad peak in the UV-Vis spectrum in the 270-280 nm range, indicating surface plasmon resonance (SPR) of SeNPs. DLS analysis revealed an average hydrodynamic particle size of approximately 230 nm and a zeta potential of −22.51 mV for BL-SeNPs nanoparticles. These results demonstrate that BL-SeNPs nanoparticles possess a nanoscale structure and exhibit moderate stability without aggregation in a colloidal environment. FTIR findings suggest that biomolecules containing hydroxyl, carbonyl, and similar functional groups in the BL extract play a role in the reduction of selenium ions and the stabilization of the surfaces of the resulting nanoparticles. Overall, the findings indicate that BL leaf extract can function as both a biological reducing agent and a natural stabilizing agent in SeNP synthesis. This plant-mediated biogenic synthesis approach offers an alternative to traditional synthesis methods due to its reduced use of toxic chemical reducing and coating agents, low cost, and support for environmental sustainability. Optimizing the synthesis conditions in terms of pH, temperature, reaction time, precursor concentration, and extract amount is crucial for controlling the size, morphology, and stability of the nanoparticles. Consequently, this demonstrates that BL-SeNPs obtained through a BL leaf-based biogenic synthesis method can play a significant role in the field of nanotechnology.

Keywords: *Bay leave*, Biogenic synthesis, Selenium nanoparticles, Plant extract

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, biyomedikal, farmasötik, çevre, tarım, gelişmiş yapılar, kimya bilimleri, fizik, elektronik, pamuklu kumaşlar ve bilgi teknolojisi dahil olmak üzere çok çeşitli bilimsel ve teknolojik disiplinleri kapsayan disiplinlerarası bir alandır. Nanoteknoloji yöntemleri kullanılarak nanopartiküllerin boyutu, şekli ve dağılımı gibi özel özelliklerinin araştırılmasına dayalı yeni bir araştırma alanı son zamanlarda geliştirilmiştir. Nano ölçekli boyutları nedeniyle temel olarak yenilikçi ve geliştirilmiş mekanik, kimyasal ve biyolojik özellikler ve işlevler sergileyen inorganik nanopartiküller, son birkaç on yılda büyük ilgi uyandırmıştır (Tamanna ve ark., 2024).

Nanoparçacıklar, parçacık boyutları ve yüzey özellikleri hem pasif hem de aktif ilaç hedeflemesi elde etmek için kolayca manipüle edilebildiğinden, esas olarak ilaç dağıtım sisteminde kullanılır. Ayrıca, etki bölgesinde taşınma sırasında ilacın kontrollü ve sürekli salınımını sağlamak için kullanılabilirler. İlacın organ dağılımını ve ardından ilacın temizlenmesini değiştirerek, ilacın terapötik etkinliğinde artış ve yan etkilerde azalma sağlarlar. Özellikle benzersiz özellikleri ve büyük uygulama potansiyeli nedeniyle Selenyum'a odaklanılmıştır. Selenyum, vücuttaki temel eser elementlerden biridir hem antioksidatif hem de prooksidatif etkisi nedeniyle beslenme ve tıpta büyük öneme sahiptir. Se, diyet yetersizliği (40 µg/gün) ve toksik seviyeler (400 µg/gün) arasında en dar aralıklardan birine sahiptir. Se alanı hızla genişlemekte ve son yıllarda önemli ölçüde büyümüştür. Selenyum, hücresel metabolizmada kilit bir oyuncudur, vücudu serbest radikal türlerine karşı koruyan enzimlerin temel bir bileşenidir ve tiroid metabolizmasında, insan doğurganlığında ve diğer birçok hayati fonksiyonda önemli rollere sahiptir. Biyolojideki Se'nin tüm yönleri, genetik, biyokimyasal, moleküler ve sağlık alanları gibi çeşitli alanlarda ilerleme kaydetmiştir. Antioksidan, enzim inhibitörü, antitümör, enfeksiyon önleyici ajanlar, sitokin indükleyiciler ve immünomodülatörler olarak kullanılan birçok kararlı organik selenyum bileşiği başarıyla sentezlenmiştir (Kapur ve ark., 2017).

Gıda, ilaç ve kozmetik dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde değer verilen bir bitki olan *Bay Leave* (BL), uçucu yağ ekstraksiyonu için kullanılır. Araştırmalar, BL'nin antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri de dahil olmak üzere çok sayıda avantajını vurgulamıştır (Swamy ark., 2023; Fidan ark., 2019; Odeh ark., 2022; Yousefi ve ark., 2025).

Aromatik ve tıbbi bir bitki olan *Bay Leave*, yüksek düzeyde fenolik bileşikler ve uçucu yağlar içermesiyle karakterize edilir. Uçucu yağlar antimikrobiyal özelliklerle ilişkilendirilirken, fenolik içerikler *Bay Leave* yaprak özütünün antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelerinde önemli bir rol oynar. Ayrıca, fenolik bileşikler

nanopartiküllerin sentezinde indirgeyici ajanlar olarak da işlev görebilir (Muñiz-Márquez ark., 2013; Ishtiaque ark., 2015; Bolade ark., 2019; Haseki ve ark., 2025)

Bu çalışmanın temel amacı, bitkisel kaynaklı yeşil sentez yöntemleri kullanılarak selenyum nanoparçacıkların sentezlenmesi ve bu yapıların detaylı bir biçimde karakterize edilmesidir. Sentezde kullanılacak olan bitki türü *Bay Leave* olarak belirlenmiştir. BL yaprağı, fenolik bileşikler, flavonoidler ve terpenoidler açısından oldukça zengin bir bitkidir (Dobroslavić ark., 2022). Bu tür bileşiklerin, metal iyonlarının indirgenmesi ve nanoparçacıkların yüzeyinin stabilize edilmesinde önemli roller üstlenebildiği gösterilmiştir (Amini ve Akbari, 2019). Araştırma kapsamında üretilen nanoparçacıkların yapısal, morfolojik ve optik özellikleri, çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Bu teknikler arasında UV-Vis, FTIR, ZETA ve DLS gibi araçlar yer almaktadır. Bu analizlerin amacı, sentezlenen yapıların boyut, şekil, kristal yapı ve yüzey özellikleri hakkında bilgi edinmektir.

2. MATERYAL METOT

2.1. Materyal

$Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$ Sigma-Aldrich'ten (ABD) satın alındı. Bay Leave bitkisinin yaprakları Diyarbakır'da yerel bir aktardan satın alınmıştır

2.2. Metot

2.2.1. Bay Leave Özütünün Hazırlanması

Çalışmada kullanılan *Bay Leave* bitkisinin kurutulmuş yaprakları yerel bir aktardan temin edilmiştir. Bitkisel materyal, laboratuvar tipi öğütücü kullanılarak toz hâline getirilmiştir. Elde edilen bitki tozu, çevresel koşullara bağlı olarak meydana gelebilecek olası bozunmaların önlenmesi amacıyla ışık, nem ve sıcaklık etkilerinden korunarak ağzı kapalı kaplarda oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Bitki materyalinin sulu ekstraksiyonu 5 g bitki tozunun 100 ml distile su içerisine ilave edilmesiyle ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılarak 500 rpm karıştırma hızında ve 100 °C sıcaklıkta 30 dakika süreyle ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sonrasında elde edilen karışım, çözünmeyen bitkisel partiküllerin uzaklaştırılması amacıyla filtre kâğıdından geçirilerek süzülmüştür. Elde edilen üst faz (süpernatant), ince partiküllerin ve olası kolloidal yapıların uzaklaştırılması amacıyla 10.000 rpm'de 40 dakika süreyle santrifüjlenmiştir. Santrifüj işlemi sonucunda elde edilen süpernatant dikkatlice ayrılmış ve bitki su ekstraktı olarak kullanılmıştır. Hazırlanan bitki su ekstraktı, selenyum nanoparçacıklarının (SeNPs) biyolojik sentezinde ve çalışmanın takip eden deneysel aşamalarında kullanılmak

üzere ışık geçirmeyen, ağzı kapalı kaplarda +4 °C'de muhafaza edilmiş ve deneysel çalışmalar süresince bu koşullarda saklanmıştır.

2.2.2. Sodyum Selenit Çözeltisinin Hazırlanması

100 mM konsantrasyonda sodyum selenit çözeltisinin hazırlanması amacıyla, 1,315 g $Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$ analitik hassasiyete sahip hassas terazi kullanılarak tartıldı. Tartılan kimyasal madde, 50 ml'lik balon jojeye aktarılmış ve üzerine belirli miktarda saf su ilave edilerek tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Kimyasal maddenin tamamen çözünmesinin ardından çözelti hacmi, saf su ilave edilerek 50 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan 100 mM $Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$ çözeltisi, selenyum nanoparçacıklarının sentezinde kullanılmak üzere uygun koşullarda muhafaza edilmiştir.

2.2.3 Selenyum Nanopartiküllerinin Sentezi

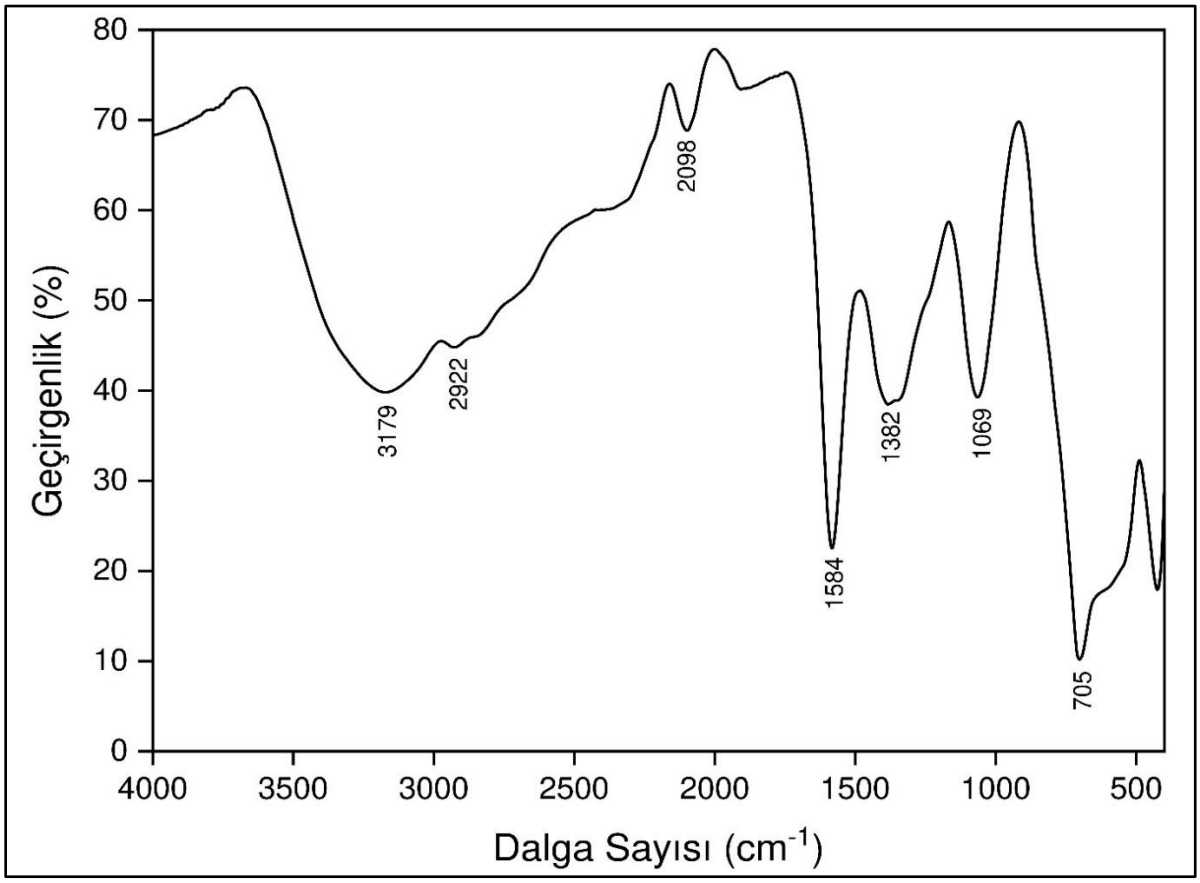
Selenyum nanoparçacıklarının (SeNPs) biyolojik sentezi, *Bay Leave* (defne) yapraklarından elde edilen sulu ekstrakt kullanılarak gerçekleştirildi. Bu amaçla, daha önce hazırlanan bitki su ekstraktından 20 ml alınarak bir erlene aktarıldı. Ekstrakt üzerine 20 ml 100 mM sodyum selenit çözeltisi ilave edilmiştir. Hazırlanan reaksiyon karışımı, 30 °C sıcaklıkta ve 200 rpm çalkalama hızında 20 saat süreyle çalkalayıcıda inkübe edildi. İnkübasyon süresinin tamamlanmasının ardından reaksiyon karışımı, oluşan selenyum nanoparçacıklarının ayrılması amacıyla 10.000 rpm'de 30 dakika süreyle santrifüjlenmiştir. Santrifüj işlemi sonucunda elde edilen çökelti, reaksiyona girmemiş bileşenlerin ve çözünür yan ürünlerin uzaklaştırılması amacıyla saf su kullanılarak iki kez yıkanmış ve her yıkama sonrasında santrifüjleme işlemi tekrarlanmıştır. Yıkama işlemlerinin tamamlanmasının ardından elde edilen nanopartikül çökeltileri petri kabına aktarılmış ve 30 °C sıcaklıktaki kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonucunda elde edilen kuru SeNPs, karakterizasyon ve takip eden deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere muhafaza edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. FTIR Analizi

FTIR analizleri 4000 ile 400 cm^{-1} arasında gerçekleştirildi. Şekil 1, sentezlenen BL-SeNP'lerin FTIR sonucunu göstermektedir. BL-SeNP'lerin FTIR spektrumları, 3179, 2922, 1584, 1382, 1069 ve 705 cm^{-1}'de güçlü absorpsiyon bantları gösterdi. 3179 cm^{-1}'teki karakteristik tepe noktası, ekstraktta bir fenol grubunun varlığını gösteren O–H gerilmesine karşılık gelir. 2925 cm−1'deki pik aromatik bileşiklerdeki H-C ve C–C gerilmesi ne atfedilmiştir. 1584 cm^{-1}'te görülen pik, N–H bükülmesine karşılık gelmektedir. 1384 cm^{-1}'teki pik, aromatik aminin C–N gerilmesini doğrulamaktadır. 1064 cm^{-1}'daki tepe noktası, CH_2 grubunun C–H gerilmesine ve

birincil alkolün C–O gerilmesine karşılık gelir ve selenitin SeNP'lere indirgenmesinden sorumlu olan BL yaprak özütündeki indirgeyici grupların varlığını gösterir. 705 cm^{-1}'deki tepe noktası ise Se-O molekülleri arasındaki etkileşimden kaynaklanır (Salem, 2022).

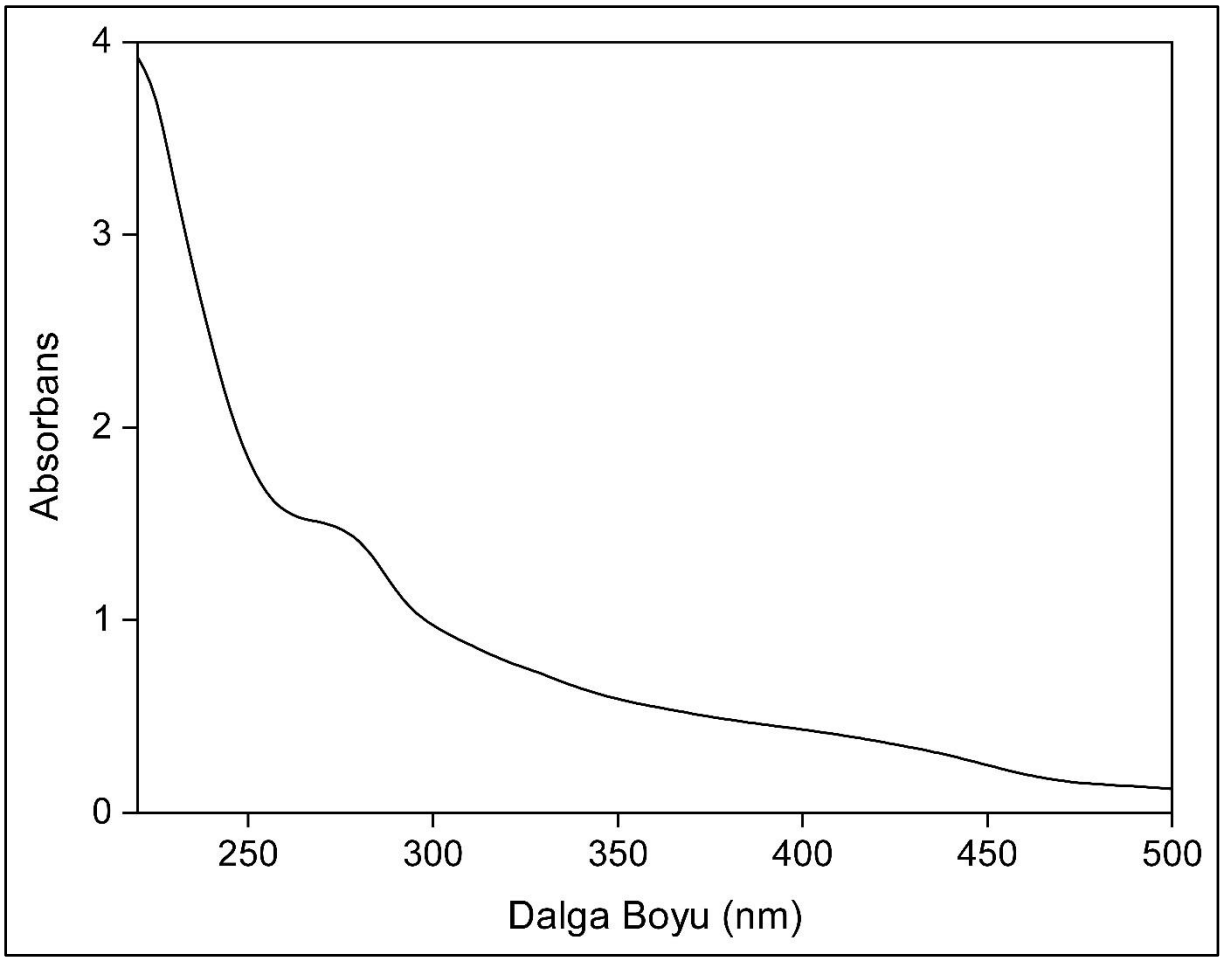


Şekil 1. BL-Se NPs nanopartikülün FTIR Spektrumu

3.2. UV -Vis Analizi

Yeşil sentez yöntemiyle elde edilen BL-SeNP'lerin oluşumu ve optik özellikleri UV-Vis spektroskopisi kullanılarak değerlendirilmiştir. İnkübasyon işlemi sonrasında reaksiyon ortamının açık turuncudan kiremit kırmızıya dönüşmesi, selenit iyonlarının indirgenerek elementel selenyuma (Se^0) dönüştüğünü ve nanopartikül oluşumunun gerçekleştiğini göstermiştir. UV-Vis analizlerinde, Şekil 2'de görüldüğü üzere, 270-280 nm aralığında belirgin bir absorbsiyon pikinin ortaya çıkması SeNP oluşumunu destekleyen önemli bir spektroskopik bulgu olarak değerlendirilmiştir. Gözlenen bu optik absorbsiyon, nanopartiküllerin yüzey özellikleri ve elektronik yapılarıyla ilişkili olup, yüzey elektronlarının elektromanyetik radyasyonla etkileşimi

ve yüzey plazmon rezonansı (SPR) bağlamında değerlendirilebilir. Bununla birlikte, SeNP'lerde gözlenen optik yanıtın; nanopartikül boyutu, morfolojisi, yüzey kimyası ve topaklanma durumu gibi fizikokimyasal parametrelerden etkilenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, renk değişimi ve UV-Vis spektrumunda gözlenen karakteristik absorbsiyon bandı birlikte değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçlar yeşil sentezlenmiş BL-SeNP'lerin başarılı bir şekilde oluştuğunu göstermektedir (Yassein ve ark., 2025; Fouda ve ark., 2022).

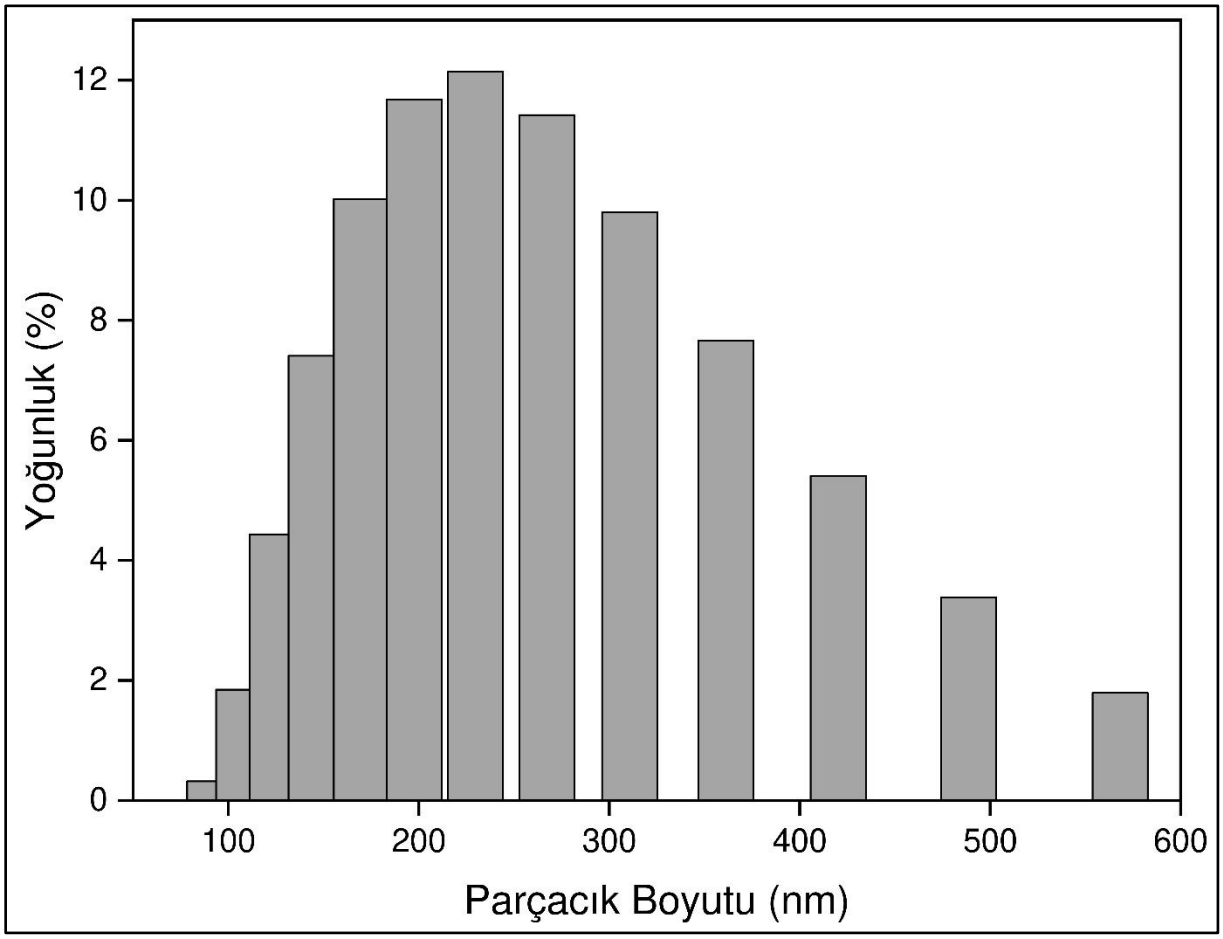


Şekil. BL-SeNPs nanopartikülün UV-Vis spektrumu

3.3. DLS Analizi

Parçacıkların boyut dağılımı ve hidrodinamik çapları Dinamik Işık Saçılımı (DLS) tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 6'da sunulan DLS analiz sonuçlarına göre, BL-SeNP'lerin parçacık boyutlarının yaklaşık olarak 230 nm olduğu belirlenmiştir. DLS tekniği için hazırlanan BL-SeNP süspansiyonun polidispersite indeksi (PDI) değeri 0,414 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, SeNP süspansiyonunun orta düzeyde

polidispersiteye sahip olduğunu ve parçacıkların belirli bir boyut dağılımı içerisinde bulunduğunu göstermektedir (Srivastava ve Mukhopadhyay, 2015).

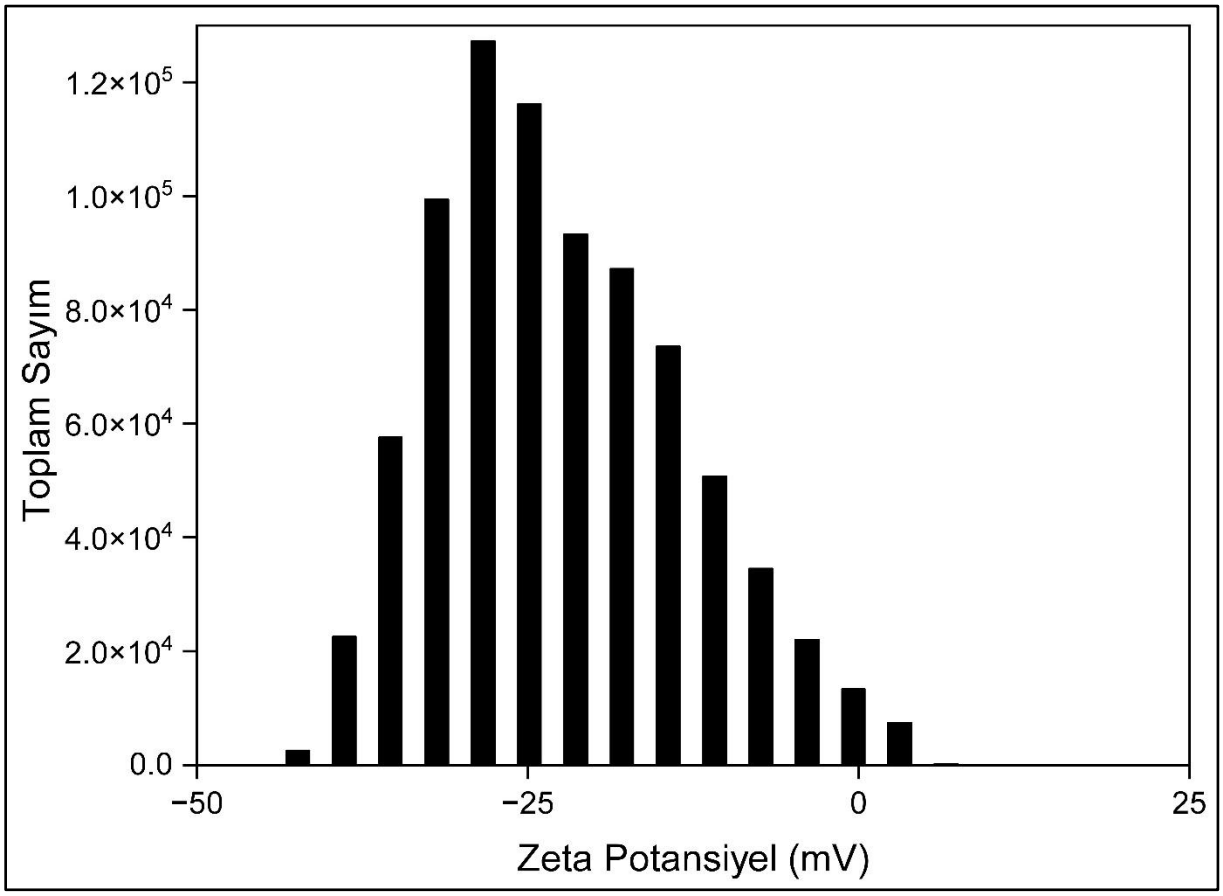


Şekil. BL-SeNP'lerin DLS boyut dağılım grafiği

3.4. Zeta Potansiyel Analizi

BL-SeNPs'nin kolloidal stabilitesi, nanoparçacıkların yüzey yük özelliklerini değerlendirmek amacıyla zeta potansiyeli ölçümü kullanılarak belirlenmiştir. BL özütü kullanılarak yeşil yöntemle sentezlenen SeNPs'nin zeta potansiyeli değeri −22,51 mV olarak ölçülmüş olup, bu değer nanoparçacıkların yüzeyinde negatif yüklerin bulunduğunu göstermektedir. Negatif yüzey yükü, nanoparçacıklar arasında elektrostatik itme kuvvetlerinin oluşmasını sağlayarak parçacıkların birbirine yaklaşmasını ve agregasyon eğilimini azaltmakta, böylece nanoçözeltinin kolloidal stabilitesine katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, zeta potansiyelinin mutlak değerinin tek başına nanoparçacık stabilitesini belirlemek için yeterli olmadığı ve stabilitenin parçacık boyutu, polidispersite, pH, iyonik güç ve dispersiyon ortamının özellikleri gibi çeşitli faktörlerden etkilendiği dikkate

alınâalıdır. Bu doğrultuda, −22,51 mV'lik zeta potansiyeli değeri, BL özütü aracılığıyla sentezlenen BL-SeNPs'nin dispersiyon ortamında belirli düzeyde kolloidal stabiliteye sahip olduğunu ve bitkisel kaynaklı biyomoleküllerin bu stabilizasyon sürecinde rol oynayabileceğini göstermektedir (Hashem ve Salem, 2022).



Şekil. BL-SeNPs nanopartiküllerinin zeta potansiyeli grafiği

4. SONUÇ

Bu çalışma, Defne (*Bay Leave*) yaprak ekstraktının selenyum nanopartiküllerinin (BL-SeNPs) biyojenik sentezinde etkin bir biyolojik indirgeme ve stabilizasyon ajanı olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Sentezlenen BL-SeNPs'lerin oluşumu UV-Vis, FTIR ve DLS analizleri ile doğrulanmış; yaklaşık 230 nm hidrodinamik partikül boyutu ve −22,51 mV zeta potansiyel değeri, nanopartiküllerin kolloidal ortamda orta düzeyde stabilite sergilediğini göstermiştir. FTIR bulguları ise ekstrakt içerisindeki hidroksil, karbonil ve diğer fonksiyonel grupları içeren fitokimyasalların selenyum iyonlarının indirgenmesi ve nanopartikül yüzeylerinin stabilizasyonunda rol oynadığını düşündürmüştür. Elde edilen sonuçlar, defne yaprak ekstraktı aracılı SeNP sentezinin düşük maliyetli, çevre dostu ve sürdürülebilir bir nanomateryal üretim yaklaşımı sunduğunu

göstermektedir. Bununla birlikte, nanopartiküllerin boyut, morfoloji ve kolloidal stabilitesinin daha etkin biçimde kontrol edilebilmesi için pH, sıcaklık, reaksiyon süresi, öncül madde konsantrasyonu ve ekstrakt miktarı gibi sentez parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, BL-SeNPs sentezinde kullanılan bu biyojenik yaklaşım, geleneksel kimyasal sentez yöntemlerine sürdürülebilir bir alternatif oluşturmakta ve farklı nanoteknolojik uygulamalarda değerlendirilebilecek potansiyel bir platform sunmaktadır.

KAYNAKLAR

Amini, S. M., & Akbari, A. (2019). Metal nanoparticles synthesis through natural phenolic acids. *IET nanobiotechnology*, *13*(8), 771-777.

Bolade, O. P., Akinsiku, A. A., Adeyemi, A. O., Jolayemi, G. E., Williams, A. B., & Benson, N. U. (2019). Qualitative analysis, total phenolic content, FT-IR and GC-MS characterisation of Canna indica: bioreducing agent for nanoparticles synthesis. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1299, No. 1, p. 012135). IOP Publishing.

Dobroslavić, E., Elez Garofulić, I., Šeparović, J., Zorić, Z., Pedisić, S., & Dragović-Uzelac, V. (2022). Pressurized liquid extraction as a novel technique for the isolation of Laurus nobilis L. leaf polyphenols. Molecules, 27(16), 5099.

Fidan, H., Stefanova, G., Kostova, I., Stankov, S., Damyanova, S., Stoyanova, A., & Zheljazkov, V. D. (2019). Chemical composition and antimicrobial activity of Laurus nobilis L. essential oils from Bulgaria. Molecules, 24(4), 804.

Fouda, A., Al-Otaibi, W. A., Saber, T., AlMotwaa, S. M., Alshallash, K. S., Elhady, M., Badr, N. F., & Abdel-Rahman, M. A. (2022). Antimicrobial, Antiviral, and In-Vitro Cytotoxicity and Mosquitocidal Activities of Portulaca oleracea-Based Green Synthesis of Selenium Nanoparticles. Journal of Functional Biomaterials, 13(3), 157.).

Haseki, S., Kucukcobanoglu, Y., Ayisigi, M., Oztekin, T., & Aktas, L. Y. (2025). Influence of synthesis method on physiochemical properties and antibacterial activity of green synthesized CuO nanoparticles from Laurus nobilis L. leaf extracts. *Plant Nano Biology*, *11*, 100128.

Hashem, A. H., & Salem, S. S. (2022). Green and ecofriendly biosynthesis of selenium nanoparticles using Urtica dioica (stinging nettle) leaf extract: Antimicrobial and anticancer activity. Biotechnology journal, 17(2), 210043

Ishtiaque, S., Naz, S., Soomro, N., Khan, K., & Siddiqui, R. (2015). Antioxidant activity and total phenolics

content of extracts from Murraya koenigii (curry leaves), Laurus nobilis (bay leaves), and Camellia sinensis (tea). Quaid-E-Awam University Research Journal of Engineering, Science & Technology, 14(2), 20-25.

Kapur, M., Soni, K., & Kohli, K. (2017). Green synthesis of selenium nanoparticles from broccoli, characterization, application and toxicity. Adv. Tech. Biol. Med, 5(1), 2379.

Muñiz-Márquez, D. B., Martínez-Ávila, G. C., Wong-Paz, J. E., Belmares-Cerda, R., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2013). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from Laurus nobilis L. and their antioxidant activity. Ultrasonics sonochemistry, 20(5), 1149-1154.

Odeh, D., Oršolić, N., Berendika, M., Đikić, D., Domjanić Drozdek, S., Balbino, S., ... & Jurčević, I. L. (2022). Antioxidant and anti-atherogenic activities of essential oils from Myrtus communis L. and Laurus nobilis L. in rat. Nutrients, 14(7), 1465.

Salem, S. S. (2022). Bio-fabrication of selenium nanoparticles using Baker's yeast extract and its antimicrobial efficacy on food borne pathogens. Applied Biochemistry and Biotechnology, 194(5), 1898-1910.).

Srivastava, N., & Mukhopadhyay, M. (2015). Biosynthesis and structural characterization of selenium nanoparticles using Gliocladium roseum. Journal of Cluster Science, 26(5), 1473-1482.).

Swamy, J. M., Naik, M. G., Rathore, S. S., Srinivasa, K. H., & Monica, K. S. (2024). Dietary supplementation of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) diets with bay laurel (Laurus nobilis): Alleviation of oxidative stress and amelioration of immune response, serum biochemistry, and resistance against Aeromonas hydrophila. Fish Physiology and Biochemistry, 50(1), 197-208.

Tamanna, I. S., Gayathri, R., Sankaran, K., Veeraraghavan, V. P., & Francis, A. P. (2024). Eco-friendly synthesis of selenium nanoparticles using Orthosiphon stamineus leaf extract and its biocompatibility studies. BioNanoScience, 14(1), 37-44..

Yassein, A. S., Elamary, R. B., & Alwaleed, E. A. (2025). Biogenesis, characterization, and applications of Spirulina selenium nanoparticles. Microbial Cell Factories, 24(1), 39.

Yousefi, M., Adineh, H., Hoseini, S. M., Hashemianfar, S. A. M., Kulikov, E. V., Petukhov, N. V., & Ryzhova, T. A. (2025). Effects of Laurus nobilis essential oil nano-particles on growth performance, antioxidant and immune responses to bacterial infection in Nile tilapia, Oreochromis niloticus. *Aquaculture*, *596*, 741821.

FARKLI ŞEKİLERDE UYGULANAN LİTYUMUN ISPANAKTA BİOFORTİFİKASYONU VE LİTYUM ALIM ETKİNLİĞİNE ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi, Fatma GÖKMEN YILMAZ[1]

[1]Selçuk Üniversitesi, Ziraat, fgokmen@selcuk.edu.tr, 0000-0001-8523-1825

Özet

Bu çalışma, farklı şekillerde artan dozlarda lityum uygulamalarının ıspanak bitkisinin kuru ve yaş ağırlığı, lityum (Li) içeriği, kaldırılan Li miktarı ve Li alım etkinliğinin belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Sera şartlarında hafif alkalin reaksiyonlu, kireçli, düşük organik madde içeriğine sahip bir toprakta tesadüf parselleri deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak deneme kurulmuştur. Denemede; kontrol (Li uygulaması yok), yapraktan 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 ve 3.2 mg Li kg^{-1}, topraktan 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ve 32.0 mg Li kg^{-1} olacak şekilde Li_2SO_4 (% 12.6 Li) kullanılarak uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, toprak ve yapraktan artan dozlarda uygulanan lityumun bitkinin yaş ve kuru ağırlığı, Li içeriği ve kaldırılan Li miktarlarına etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Bitkinin yaş ve kuru ağırlığı, Li içeriği ve kaldırılan Li miktarları gerek topraktan gerekse yapraktan Li uygulamalarına bağlı olarak değişmiştir. Bitki yaş ve kuru ağırlığı yapraktan ve topraktan Li uygulaması ile kontrole göre artmış en fazla sırasıyla 0.8 mg Li kg^{-1} ve 8.0 mg Li kg^{-1} uygulamaları ile belirlenmiştir. Daha yüksek Li uygulamalarında ise bitki yaş ve kuru ağırlığında azalmalar belirlenmiştir. Bitki Li içeriği topraktan Li uygulamaları ile kontrole göre 31 kat artarken yaprak uygulamaları ile 9 kat arttığı bulunmuştur. Bitkinin Li içeriğinin artırılmasında topraktan Li uygulamalarının yapraktan Li uygulamalarından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bitkinin Li alım etkinliği1.5 ile 6.1 arasında değişmekte olup en yüksek topraktan 8.0 mg Li kg^{-1} uygulaması ile belirlenmiştir. Bitki Li alım etkinliği üzerine toprak uygulamalarının etkileri yapraktan daha yüksek olmuştur. Li uygulamaları ile bitki Li içeriği, insanlar açısından günlük alım dozu olarak belirtilen Li seviyelerine (1 mg) ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlar, topraktan ve yapraktan Li uygulamalarının bitki Li içeriği üzerinde etkili olduğunu ve toprak uygulamasının, bitkiyi lityumca zenginleştirmek için umut verici bir uygulama şekli olabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Biyofortifikasyon, farklı Li uygulamaları, lityum, Li alım etkinliği

EFFECTS OF DIFFERENT APPLICATIONS OF LITHIUM ON BIOFORTIFICATION AND LITHIUM UPTAKE EFFICIENCY IN SPINACH

Abstract

This study was conducted to determine the effects of increasing doses of lithium applied in various ways on the dry and fresh weights, lithium (Li) content, amount of lithium removed, and Li uptake efficiency of spinach plants. Experiment was established in a greenhouse a randomized block design with four replicates on a soil characterized by a slightly alkaline reaction, calcareous texture, and low organic matter content. In the experiment, lithium sulfate (Li_2SO_4, 12.6% Li) was applied as follows: control (no Li application), foliar application of 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, and 3.2 mg Li kg^{-1}, and soil application of 2.0, 4.0, 8.0, 16.0, and 32.0 mg Li kg^{-1}. The results of the study showed that the effects of lithium applied at increasing doses via both soil and foliar application on fresh and dry weight of the plant, Li content, and Li uptake were statistically significant ($p<0.01$). The plant's fresh and dry weight, Li content, and Li uptake varied depending on both soil and foliar Li applications. Plant fresh and dry weights increased with both foliar and soil Li applications compared to the control, reaching their highest levels at application rates of 0.8 mg Li kg^{-1} and 8.0 mg Li kg^{-1}, respectively. At higher Li application rates, however, decreases in plant fresh and dry weights were observed. Plant Li content was found to increase 31-fold withsoil Li applications compared to the control, while it increased 9-fold with foliar applications. It was determined that soil Li applications are more effective than foliar Li applications in increasing plant Li content. The Li uptake efficiency of plant ranged from 1.5 to 6.1, with the highest value observed following a soil application of 8.0 mg Li kg^{-1}. The effects of soil applications on plant Li uptake efficiency were greater than those of foliar applications. With Li applications, Li content of plant reached levels corresponding to the daily intake dose specified for humans (1 mg). The results obtained indicate that both soil and foliar Li applications are effective in increasing plant Li content and that soil application may be a promising method for enriching plants with lithium.

Keywords: Biofortification, different Li applications, lithium, Li uptake efficiency

1. GİRİŞ

Lityum, bitkilerin beslenmesinde eksikliğinde bir sorun olmasa da hayvan özellikle de insanların yaşamsal faaliyetlerini daha kaliteli geçirmeleri için önemli bir elementtir. Lityum insanlarda duygu durum ilişkisinde beyin ile duyusal işlevler için gereklidir (Chevalier ve ark., 2024). Lityum eksikliği bipolar bozuklukların yanında intihar eyilimlerin artmasında hatta cinayetlere neden olabilmektedir. İnsan vücudunda uygun seviyede lityum, alzhemir hastalığının önlenmesinde ve gerilemesinde, şizofreni, anksiyete, panik atak hatta madde bağımlılığını azaltılmasında etkili olduğu bildirilmektedir (Gildengers ve ark., 2026). Bitkilerin beslenmesi ve besin zinciri ile insanların tüketiminde lityum, mutlak gerekli bir besin elementi olmamakla birlikte yapılan çalışmalarda düşük miktarlarda bile uygulanan lityumun bitki büyümesini ve gelişmesini teşvik ettiği bildirilmektedir (Bakhat ve ark., 2020,da Silva ve ark., 2018). Lityum bitki bünyesine topraktan alınmakta ve yaprak, meyve ve tanelere kadar taşınmakta bitkide birikmektedir. Bu zamana kadar lityumun bitki bünyesinde işlevleri, alım etkinliği, taşınımı, birikimi, biofortifikasyonu ile ilgili az sayıda çalışma yapılmış olup, literatürde bu konuda eksikliklerin giderilmesi gerekmektedir. İnsanların yaşamsal kalitesinin artırılmasında bu denli önemli olan bir elementin, bitkiler ve dolayısıyla da diğer canlıların lityum gereksinimlerinin karşılanabilmesi için bitkilerin lityum depolama kabiliyetleri ortaya konmalıdır. Toprakların lityum konsantrasyonları ve bu topraklarda yetiştirilen bitkisel ürünlerin lityum içeriği düşük olacağından, insanların tüketmiş oldukları gıdalarla bünyelerine aldığı lityum miktarı düşük seviyede kalmaktadır (Torshin ve ark., 2026). Bu nedenle topraktan yapılan gübre uygulamaları yanında yapraktan da uygulamalara yapılmaktadır. Yaprak gübrelemesi, toprak gübrelemesini dengeli bir şekilde tamamlamaya neden olmakta, az miktarlardaki element eksiklikleri giderilebilmekte ve lityumca biofortifikasyona olumlu etkilerde bulunduğu bildirilmiştir (Bhattacharya ve ark., 2026). Sebzeler ve tahıllar gibi bitki bazlı besinler insan beslenmesindeki en önemli lityum kaynakları olmasından dolayı lityumlu gübreleri kullanılarak ıspanak, lahana, marul, patates ve domates (Silva ve ark., 2019; Kalinowska ve ark.,2013) bitkilerinin lityum içerikleri belirleyerek lityumca zenginleştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Mevcut çalışmalar genellikle bitkilerin lityum içeriklerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Ispanak, tüm dünyada taze olarak tüketilen bir sebze olup, insan beslenmesinde iyi bir mikro element taşıyıcısı olabilir. Ayrıca kurutulmuş ıspanak yaprakları da lityumca zenginleştirilerek ilaçlara hammadde veya katkı maddesi olarak değerlendirilebilmektedir. Bunun dışında bitkilerin lityumca zenginleştirilmesi için farklı bitkilerde farklı lityum dozları ile marul (da Silva ve ark., 2019), ıspanak (Bakhat ve ark, 2020) bitkilerinde etkileri araştırılmıştır. Çalışmamızda ülkemizde taze tüketimi fazla olan ıspanak bitkisine farklı uygulama

şekillerinde (yapraktan ve topraktan) artan dozlarda lityum uygulamalarının lityumca zenginleştirmeye etkisi yanında lityum alım etkinliği belirlenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada bitki materyali olarak olarak "PARYS f1" ıspanak çeşidi kullanılmıştır. Deneme toprağı kumlu tın tekstür özelliğine sahip, hafif alkalin reaksiyonlu (Manual, 1951), çok fazla kireçli (Schroo, 1963), organik maddece fakir (Ünal ve Başkaya, 1981) olup tuzluluk problemi (Ergene, 1982) bulunmamaktadır. Toprağın lityum içeriği 0.51 mg kg^{-1}'dir. Deneme, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Bilgisayar Kontrollü Araştırma Serasında yürütülmüştür. Deneme süresince sera içi sıcaklığının 25 ± 3 ºC, solar radyasyonun 1750 ± 50 kcal m-2 ve nispi nemin % 60 ± 10 olması sağlanmıştır. Tesadüf parselleri deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülen denemede saksılara fırın kuru ağırlık esasına göre 3 kg toprak konulmuştur. Bitkinin normal gelişimini sağlamak için toprakta eksik olan besin elementi uygun gübreler ile verilmiştir. Bunun için tüm saksılara temel gübreleme olarak çözelti halinde 200 mg N kg-1 {$Ca(NO_3)_2$, % 15 N}, 100 mg P kg^{-1} (TSP ,% 45 P_2O_5), 180 mg K kg^{-1} (K_2SO_4, % 50 K_2O), 8 mg Fe kg^{-1} (Sequestrene, % 6 Fe), 2.5 mg Zn kg^{-1} ($ZnSO_4.7H_2O$, % 23 Zn) uygulanmıştır. Denemede uygulama konuları aşağıda verilen Li (lityum) dozları lityum sülfat (Li_2SO_4, % 12.6 Li) ile kontrol (Li uygulaması yok), 5 adet topraktan (2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ve 32.0 mg Li kg^{-1}) ve yapraktan (0.2, 0.4, 0.8, 1.6 ve 3.2 mg Li kg^{-1}) uygulama yapılmıştır. Topraktan Li uygulamaları ekim öncesi yapılmıştır. Yapraktan Li uygulamalarında ise bitki 35 günlük iken tüm yapraklar ıslanana kadar yapraktan yapılmıştır. Denemede her saksıya 6 adet tohum ekilmiş ve çimlenme sonrası her saksıda 4 bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitki çıkışından 60 gün sonra toprak üstü kısımları kesilerek hasat işlemi yapılmış ve laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen bitki örnekleri tartılarak yaş ağırlık belirlenmiştir. Daha sonra örnekler çeşme suyu ile yıkandıktan sonra sırasıyla saf su 0.2 N HCl çözeltisi, saf su ve deiyonize su ile yıkanarak kaba filtre kağıtları ile ıslaklıkları alınmış ve ayrı ayrı kese kağıtlarına konulmuştur. Hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 70 ºC'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, kuru ağırlıkları belirlendikten sonra agat değirmeninde öğütülmüştür. Analize hazır hale getirilen ve kurutulan bitkiler 0.01 g duyarlı terazide tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra mikrodalga cihazında çözündürülen örneklerde ICP-OES cihazında lityum okumaları yapılmıştır. Lityum geri alım etkinliği=Bitki tarafından alınan Li miktarı/ toprak+gübre Li miktarı ile hesaplanmıştır.

Deneme kapsamında elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirmeleri JMP 7 istatistik paket programı ile yapılmıştır. Çalışmada her uygulama grubuna ait örneklerin arasındaki farklılıkları belirlemek için varyans

analizi yapılmış ve farklılık belirlenen uygulamaların ortalama değerleri "Student's t" önem testine göre gruplandırılmıştır.

3. BULGULAR

Topraktan ve yapraktan lityum uygulamaların ıspanak bitkisinin yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları Tablo 1'de ve ortalama değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre lityum uygulamalarının bitki yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkileri istatistiki bakımdan %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Lityum uygulamalara bağlı olarak değişmekle birlikte bitki yaş ve kuru ağırlığı kontrol uygulamasında en düşük belirlenirken lityum uygulamasına bağlı olarak artmıştır.

Tablo 1. Farklı uygulamaların ıspanak bitkisinin yaş ve kuru ağırlığı üzerine etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	
		Yaş Ağırlık	Kuru Ağırlık
Genel	43	1905	981
Uygulama	10	1775**	921**
Hata	33	129	60

**,$p<0.01$

Bitkinin yaş ağırlığı kontrole göre (0) sırasıyla en yüksek topraktan 8 mg Li kg^{-1} uygulaması ile 1.5 kat, yapraktan 0.8 mg Li kg^{-1} uygulaması ile 1.3 kat artmıştır. Bitkinin kuru ağırlığı kontrole göre (0) sırasıyla en yüksek topraktan 8 mg Li kg^{-1} uygulaması ile 1.6 kat, yapraktan 0.8 mg Li kg^{-1} uygulaması ile 1.4 kat artmıştır. Gerek yapraktan gerekse topraktan daha yüksek dozlarda Li uygulaması ile bitki yaş ve kuru ağırlığında azalmalar belirlenmiştir (Tablo 2). Bitki yaş ve kuru ağırlığı üzerine lityum uygulamalarının ortalaması dikkate alındığında, topraktan Li uygulamalarının yapraktan Li uygulamalarına göre daha fazla artırdığı belirlenmiştir.

Tablo 2. Farklı uygulamaların ıspanak bitkisinin yaş ve kuru ağırlığı üzerine etkileri

Uygulamalar		Yaş ağırlık (g/saksı)	Kuru ağırlık (g/saksı)
--	Kontrol	40.7 G	28.7 F
Topraktan uygulama	**2.0**	48.0 EF	33.4 E
	4.0	60.4 AB	43.2 B
	8.0	**63.1 A**	45.2 A
	16	57.8 B	41.1 C
	32	50.8 D	36.5 D
	---	**53.5**	**38.0**
Yapraktan uygulama	**0.2**	45.6 F	36.8 E
	0.4	51.4 CD	39.2 D
	0.8	53.8 C	35.0 C
	1.6	49.0 DE	34.2 DE
	3.2	47.6 EF	28.7 E
	---	**48.5**	**34.7**

Lityum uygulamaların ıspanak bitkisi lityum içeriği üzerine etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları ve ortalama değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre lityum uygulamalarının bitki lityum içeriği üzerine etkileri istatistiki bakımdan %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bitki lityum içeriği kontrolde 3.8 mg kg^{-1} olarak belirlenmiş olup Li uygulamalarına bağlı olarak artış belirlenmiştir. Topraktan 32.0 mg Li kg^{-1} uygulaması ile en yüksek Li içeriği ve kontrole göre 31 kat, yapraktan 3.2 mg Li kg^{-1} uygulaması ile 7 ka arttığı bulunmuştur. Gerek yapraktan gerekse topraktan Li uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde, topraktan Li uygulamasının bitki Li içeriği üzerine daha etkili olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı uygulamaların ıspanak bitkisinin Li içeriği üzerine etkileri

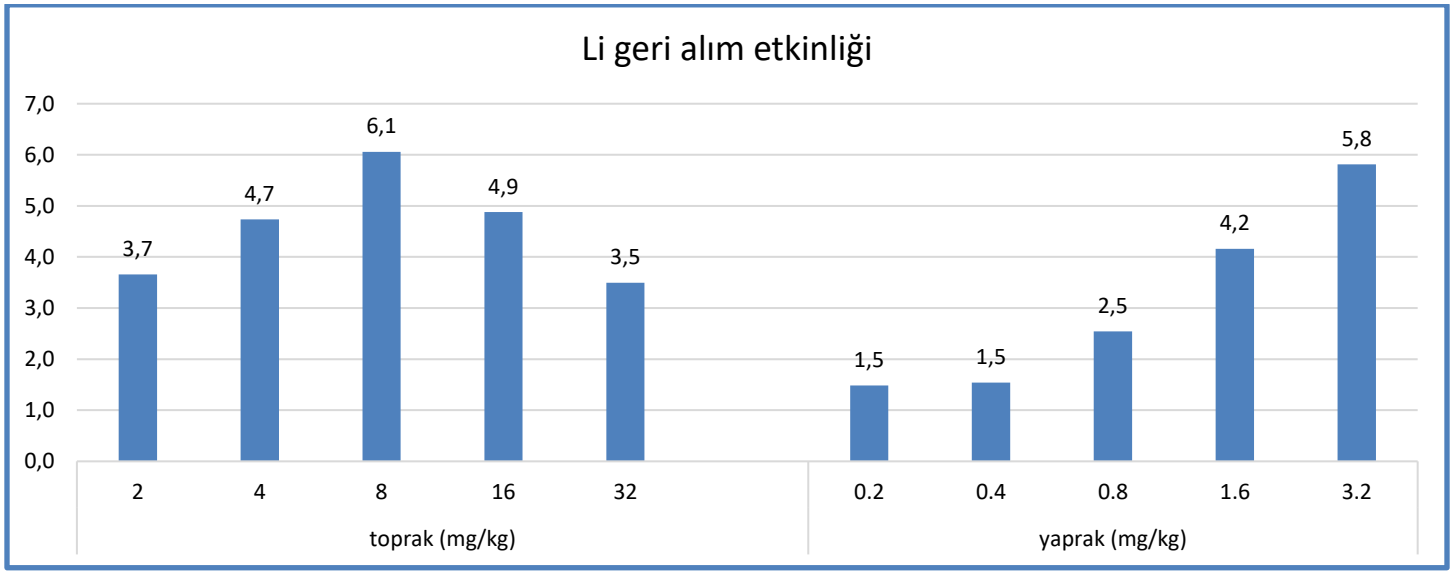
Uygulamalar		Li içeriği(mg kg^{-1})
--	Kontrol	3.8 G
Topraktan uygulama	**2.0**	13.0 E
	4.0	25.2 D
	8.0	55.4 C
	16	94.1 B
	32	**117.5 A -31 KAT**
	---	**51.5**
Yapraktan uygulama	**0.2**	4.9 FG
	0.4	5.2 FG
	0.8	7.1 F
	1.6	12.5 E
	3.2	25.4 D **-7 KAT**
	---	**9.8**

Lityum uygulamaların ıspanak bitkisi tarafından kaldırılan lityum miktarı üzerine etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları ve ortalama değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre lityum uygulamalarının bitki tarafından kaldırılan lityum miktarı üzerine etkileri istatistiki bakımdan %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bitki kuru örneği tarafından kaldırılan lityum miktarı kontrolde 109 µg saksı$^{-1}$ olarak belirlenmiş olup Li uygulamalarına bağlı olarak artış belirlenmiştir. Topraktan 32.0 mg Li kg^{-1} uygulaması ile en yüksek Li kadırdığı ve kontrole göre 39 kat daha fazla olduğu bulunurken en düşük yapraktan 0.2 mg Li kg^{-1} uygulaması ile kontrole göre 1.5 kat arttığı bulunmuştur. Gerek yapraktan gerekse topraktan Li uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde, topraktan Li uygulamasının bitki tarafından kaldırılan Li miktarı üzerine daha etkili olduğu belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Farklı uygulamaların ıspanak bitkisi tarafından kaldırılan lityum miktarı üzerine etkileri

Uygulamalar		**Li miktarı (µg saksı$^{-1}$)**
--	Kontrol	109
Topraktan uygulama	**2.0**	434
	4.0	1086
	8.0	2505
	16	3866 **(35 kat)**
	32	4289 **(39 kat)**
Ortalama	**---**	**2048**
Yapraktan uygulama	**0.2**	165 **(1.5 kat)**
	0.4	192 **(1.8 kat)**
	0.8	280
	1.6	439
	3.2	868
Ortalama	--	**342**

Lityum uygulamaların ıspanak bitkisinin lityum geri alım etkinliği üzerine etkileri Şekil 1'de verilmiştir. Bitki lityum geri alım etkinliği Li uygulamalarına bağlı olarak değişmiştir. Topraktan yüksek dozlarda Li uygulamaları ile bitki Li geri alım tekinliği azalırken, yapraktan yüksek dozda Li uygulamalarında artışlar belirlenmiştir Topraktan 8.0 mg Li kg^{-1} uygulaması ile en yüksek Li geri alım etkinliği bulunurken en düşük yapraktan 0.2 ve 0.4 mg Li kg^{-1} uygulaması ile 1.5 olduğu bulunmuştur. Gerek yapraktan gerekse topraktan Li uygulamalarının ortalamaları incelendiğinde, topraktan Li uygulamasının bitki Li geri alım etkinliği üzerine daha etkili olduğu belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı uygulamaların ıspanak bitkisinin **Li geri alım etkinliği** üzerine etkileri

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Lityumun bitkiler için mutlak gerekli olup olmadığı tam olarak bilinmemekle birlikte insan ve hayvanlar için gerekli ve önemli bir elementidir (Schrauzer, 2001) ve bitkilerde verim artışı beklenen bir durumdur (Kavanagh ve ark., 2018). Lityum uygulamalarının ortalaması olarak bitkinin en yüksek yaş ve kuru ağırlığı sırasıyla 63.1 vr 45.2 g saksı$^{-1}$ topraktan 8.0 mg Li kg^{-1} uygulaması ile elde edilmiştir. Daha yüksek Li dozlarında azlamalar belirlenmiştir. Kalinowska ve ark., (2013) tarafından artan dozda ve farklı Li kaynakları (LiCl ve LiOH) ile lityum uygulamalarının (0, 2.5, 20, 50 ve 100 mg Li L^{-1}) marul bitkisinin kuru ağırlığının Li uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini yüksek dozlarda Li uygulaması ile azaldığını bildirmişlerdir. Bitki Li içeriğinin en yüksek (117.5 mg kg^{-1}) topraktan 32.0 mg Li kg^{-1} uygulaması ile bulunmuştur ve topraktan Li uygulamalarının yapraktan Li uygulamalarından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Da Silva ve ark., (2019) yapraktan 0, 10, 20 ve 40 mg Li L^{-1} dozlarını farklı kaynaklarla (LİOH ve Li_2SO_4) uygulamalarının marul bitkisinin kuru ağırlığı ve Li içeriğine etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, bitki Li, içeriğinin kontrole göre LiOH uygulaması ile 15 kat, Li_2SO_4 uygulaması ile 9 kat arttığını bildirmişlerdir. Bitki tarafından kaldırılan lityum miktarı Li uygulamaları ile artmış en yüksek topraktan 32.0 mg Li kg^{-1} uygulaması ile bulunmuştur. Aral ve ark., (2008), tarafından bildirildiği gibi 70 kg olan bir insanın günlük alması gereken Li miktarının 1 mg olduğu düşünüldüğünde; kaldırılan Li miktarı dikkate aldığımda topraktan 4.0 mg kg^{-1}'dan daha az Li, yapraktan ise 3.2 mg kg^{-1}'dan biraz daha fazla Li uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Li alım etkinliği 1.5 ile 6.1 arasında değişmektedir. En yüksek topraktan 8.0 mg Li kg^{-1} uygulaması ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, bitkilerin

Li ile zenginleştirilebileceği, topraktan ve yapraktan Li uygulamalarının bitki Li içeriği üzerinde etkili olduğunu ve toprak uygulamasının, bitkiyi lityumca zenginleştirmek için umut verici bir uygulama şekli olabileceği belirlenmiştir. Bu nedenle ilaç sektöründe Li içerikli hap/şurupların üretiminde ham madde olarak lityumca zengin bitkilerin kullanılabileceği önerilebilir.

KAYNAKLAR

Aral, H., & Vecchio-Sadus, A. (2008). Toxicity of lithium to humans and the environment—a literature review. Ecotoxicology and environmental safety, 70(3), 349-356.

Bakhat, H. F., Rasul, K., Farooq, A. B. U., Zia, Z., Natasha, Fahad, S., ... & Hammad, H. M. (2020). Growth and physiological response of spinach to various lithium concentrations in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(32), 39717-39725.

Bhattacharya, P., Koley, B., Santra, R., & Deb, N. (2026). Synthesis of zinc and boron nano particles and evaluating their effects on the physiological, biochemical and agronomical aspects of cauliflower. *Journal of Plant Nutrition*, 1-19.

Chevalier, N., Guillou, P., Viguié, C., Fini, J. B., Sachs, L. M., Michel-Caillet, C., & Mhaouty-Kodja, S. (2024). Lithium and endocrine disruption: A concern for human health?. *Environment International*, *190*, 108861.

da Silva, R. R., de Faria, A. J. G., Alexandrino, G. D. C., Ribeiro, E. A., dos Santos, A. C. M., Deusdara, T. T., ... & Nascimento, V. L. (2019). Enrichment of lithium in lettuce plants through agronomic biofortification. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(17), 2102-2113.

Gildengers, A. G., & Mulsant, B. H. (2026). Cognitive Impairment and Lithium in Older Age Bipolar Disorder—A Narrative Review. *Psychiatric Annals*, *56*(7), e178-e183.

Kalinowska, M., Hawrylak-Nowak, B., & Szymańska, M. (2013). The influence of two lithium forms on the growth, L-ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. *Biological trace element research*, *152*(2), 251-257.

Kavanagh, L., Keohane, J., Cabellos, G. G., Lloyd, A., & Cleary, J. (2018). Induced plant accumulation of lithium. *Geosciences*, *8*(2), 56.

Schrauzer, G. N. (2001). Nutritional selenium supplements: product types, quality, and safety. Journal of the American College of Nutrition, 20(1), 1-4.

Torshin, I. Y., Maksimov, V. A., Gromov, A. N., Garanin, A. A., & Gromova, O. A. (2026). Lithium in the food chain “soil–plants–animals–humans”(literature review). *Hygiene and Sanitation*, *105*(3), 301-307.

YERLEŞİM SIKLIĞINA MARUZ BIRAKILAN ETLİK PİLİÇLERDE POSTBİYOTİK İLAVESİNİN AYAK TABAN DERMATİTİ ÜZERİNE ETKİSİ

Arş. Gör Benian YILMAZ[1], Prof. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU[2], Prof. Dr. Tarkan ŞAHİN[3], Doç. Dr. Mükremin ÖLMEZ[4]

[1]Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., benianbekinkayan@gmail.com, 0000-0003-2652-8412

[2]Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., drozlemkaya@hotmail.com, 0000-0002-5917-9565

[3]Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., tarkants7@hotmail.com, 0000-0003-0155-2707

[4]Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., mukremin.olmez@hotmail.com, 0000-0002-5003-3383

Özet

Bu çalışmada, yerleşim sıklığı stresine maruz bırakılan etlik piliçlerde postbiyotiklerin (PB) ayak taban dermatiti (ATD) oluşumu ve doku hasarı şiddeti üzerindeki koruyucu etkileri araştırılmıştır.

Deneme; Kontrol, Postbiyotik (PB), Yüksek Yerleşim Sıklığı (YS) ve Yüksek Yerleşim Sıklığı + Postbiyotik (YS+PB) olmak üzere dört ayrı gruptan oluşturulmuştur. Çalışma bitiminde hayvanların her iki ayak taban dokuları makroskobik olarak incelenmiştir. Lezyon şekillenmeyen durumlar Lezyon 0 (hasarsız), ≤0,8 cm boyutlu hafif hasarlar Lezyon 1 (orta) ve >0,8 cm üzerindeki hasarlar Lezyon 2 (ağır) biçiminde derecelendirildi. Genel lezyon oranını göstermek üzere Lezyon 1 ve Lezyon 2 değerleri birlikte ele alınarak Lezyon 1-2 verisi elde edilmiştir.

Bulgular incelendiğinde; ayak tabanında hiçbir lezyon gözlenmeyen (Lezyon 0) hayvanların oranı en yüksek PB (%80) ve Kontrol (%65) gruplarında tespit edilmiştir. Yoğun yerleşim sıklığı stresi nedeniyle YS grubunda %45'e gerilemiştir. Benzer şekilde YS+PB grubunda %60 seviyesine yükselmiştir (P=0,014). Hafif düzeyde lezyon görülme sıklığı (Lezyon 1), YS (%35) ve Kontrol (%30) gruplarında daha yüksek seyrederken, rasyona PB ilave edilmesi her iki koşulda da bu oranı %20 seviyesine düşürmüştür (P=0,014). İleri derece lezyonlar (Lezyon 2) Kontrol grubunda %5, YS ve YS+PB gruplarında %20 oranında tespit edilmiş, buna karşın PB tek başına uygulandığında ağır lezyon oluşumu engellenmiştir (%0) (P=0,148). Toplam lezyon varlığı (Lezyon 1-2) incelendiğinde ise en olumsuz tablo YS grubunda (%55) gözlenmiş; stres altındaki gruba

postbiyotik ilavesi (YS+PB) lezyon oranının %40'a gerilemesine katkı sağlamıştır. En düşük lezyon insidansı ise Kontrol (%35) ve PB (%20) gruplarında kaydedilmiştir (P<0,001).

Sonuç olarak, yerleşim sıklığı etlik piliçlerde ayak taban dermatiti riskini önemli ölçüde tetiklediği; rasyona postbiyotik ilavesinin ise gerek stres altında gerekse normal yetiştirme şartlarında lezyon gelişimini sınırlandırarak doku sağlığını desteklediği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Broyler, Ayak Taban Dermatiti, Postbiyotik, Yerleşim Sıklığı, Lezyon Skoru

EFFECT OF POSTBIOTIC SUPPLEMENTATION ON FOOTPAD DERMATITIS IN BROILERS SUBJECTED TO STOCKING DENSITY

Abstract

This study evaluated the protective effects of postbiotics (PB) against the incidence and severity of tissue damage in footpad dermatitis (ATD) in broiler chickens exposed to stocking density stress. The trial comprised four distinct groups: Control, Postbiotic (PB), High Stocking Density (YS), and High Stocking Density + Postbiotic (YS+PB). At the end of the trial, both footpad tissues of the animals were examined macroscopically. Conditions without lesion formation were graded as Lesion 0 (intact), mild lesions measuring ≤0.8 cm as Lesion 1 (moderate), and lesions >0.8 cm as Lesion 2 (severe). To indicate the overall lesion rate, Lesion 1 and Lesion 2 values were considered together to obtain Lesion 1-2 data.

Upon evaluating the findings, the proportion of animals with no footpad lesions (Lesion 0) was highest in the PB (80%) and Control (65%) groups. This rate declined to 45% in the YS group due to high stocking density stress. Similarly, it increased to the 60% level in the YS+PB group (P=0.014). The incidence of mild lesions (Lesion 1) was higher in the YS (35%) and Control (30%) groups, whereas dietary supplementation of PB reduced this rate to 20% under both conditions (P=0.014). Severe lesions (Lesion 2) were detected at 5% in the Control group, and at 20% in both the YS and YS+PB groups, whereas severe lesion formation was completely prevented when PB was applied alone (0%) (P=0.148). Regarding total lesion presence (Lesion 1-2), the most unfavorable picture was observed in the YS group (55%); adding postbiotics to the group under stress (YS+PB) contributed to reducing the lesion rate to 40%. The lowest lesion incidences were recorded in the Control (35%) and PB (20%) groups (P<0.001).

In conclusion, stocking density significantly triggers the risk of footpad dermatitis in broilers, while dietary postbiotic supplementation supports tissue health by limiting lesion development under both stressful and normal rearing conditions.

Keywords: Broiler, footpad dermatitis, lesion score, precision biotic, stocking density.

1. GİRİŞ

Etlik piliç yetiştiriciliğinde yüksek büyüme hızına sahip genotiplerin kullanılması ve yoğun üretim sistemlerinin yaygınlaşması, hayvanların çevresel koşullara ve yetiştirme uygulamalarına duyarlılığını önemli hale getirmiştir. Hızlı büyüme ile karakterize edilen modern broyler genotiplerinde lokomotor problemler, temas dermatitleri ve diğer refah sorunlarının görülme riskinin daha yüksek olduğu bildirilmektedir (EFSA AHAW Panel, 2023; van der Eijk et al., 2023). Özellikle yerleşim sıklığının artırılması, hayvan başına düşen kullanılabilir alanın azalmasına ve buna bağlı olarak hareket kısıtlaması, altlık kalitesinde bozulma ve çevresel koşulların olumsuz yönde değişmesine neden olabilmektedir (Buijs et al., 2009; Shynkaruk et al., 2023). Yüksek yerleşim sıklığı; hayvanların hareket alanının kısıtlanması, altlıkla temas süresinin artması ve altlık neminin yükselmesi gibi faktörler üzerinden özellikle ayak tabanı ve diğer vücut bölgelerinde temas kaynaklı deri lezyonlarının gelişme riskini artırabilmektedir (Buijs et al., 2009; EFSA AHAW Panel, 2023). Nitekim, farklı yerleşim sıklıklarının karşılaştırıldığı çalışmalarda, yüksek yerleşim sıklığının ayak tabanı dermatiti ve diğer refah göstergelerinde olumsuz sonuçlarla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Buijs et al., 2009; van der Eijk et al., 2023). Bu nedenle yerleşim sıklığı, yalnızca üretim performansı açısından değil, etlik piliçlerin sağlık ve refahının değerlendirilmesi bakımından da önemli bir yönetim faktörü olarak kabul edilmektedir.

Ayak tabanı dermatiti (ATD), etlik piliçlerde sık rastlanan ve ayak tabanının plantar yüzeyinde hiperkeratozis, inflamasyon, erozyon ve ilerleyen olgularda ülserasyon ve nekrotik lezyonlarla karakterize edilen önemli bir deri problemidir (Shepherd & Fairchild, 2010; Swiatkiewicz et al., 2017). Hastalığın gelişiminde altlık kalitesi ve nem düzeyi başta olmak üzere yerleşim sıklığı, besleme, çevresel koşullar, dışkı özellikleri ve hayvanların hareket düzeyi gibi çok sayıda faktör rol oynamaktadır (Shepherd & Fairchild, 2010; Swiatkiewicz et al., 2017). Özellikle nemli altlıkla uzun süreli temas, ayak tabanında irritasyona ve epidermal bütünlüğün bozulmasına neden olarak lezyon gelişimini kolaylaştırmaktadır. Deneysel çalışmalarda kuru altlık üzerinde yetiştirilen broylerlerde ATD'nin daha geç ortaya çıktığı ve lezyon şiddetinin daha düşük olduğu; buna karşılık nemli altlık koşullarında hastalığın daha erken geliştiği gösterilmiştir (Taira et al., 2014). Benzer şekilde, altlık neminin geçici olarak artırılmasının da ATD gelişimini artırabildiği bildirilmiştir (Cengiz et al., 2011). Başlangıçta yüzeysel epidermal hasar şeklinde ortaya çıkan lezyonlar, çevresel koşulların devam etmesi durumunda daha derin doku hasarı ve nekrotik değişikliklerle seyreden ağır lezyonlara dönüşebilmektedir (Shepherd & Fairchild, 2010). ATD, hayvan refahı açısından önemli bir gösterge olmasının yanı sıra, hareket

kabiliyetinin azalması ve üretim performansındaki olası düşüşler nedeniyle ekonomik açıdan da önem taşımaktadır (Swiatkiewicz et al., 2017; EFSA AHAW Panel, 2023).

Yüksek yerleşim sıklığının ATD oluşumundaki etkisi yalnızca fiziksel alanın kısıtlanması ve altlık koşullarındaki değişikliklerle sınırlı olmayıp, hayvanların fizyolojik stres yanıtlarıyla da ilişkili olabilmektedir. Yerleşim sıklığının azaltılmasıyla birlikte broylerlerde altlık nemi, ATD ve bazı stres göstergelerinde iyileşme sağlandığını bildiren çalışmalar bulunmaktadır (Shynkaruk et al., 2023). Benzer şekilde, yakın tarihli bir çalışmada yüksek yerleşim sıklığında yetiştirilen broylerlerde altlık nemi, ATD skoru ve kortikosteron düzeylerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Animal welfare indicators and stress response of broiler chickens raised at low and high stocking density, 2025). Bununla birlikte, ATD gelişiminde stresin doğrudan nedensel rolünü ortaya koymak yerine, yüksek yerleşim sıklığının hem çevresel koşulları hem de hayvanların fizyolojik durumunu etkileyebilen çok faktörlü bir stres kaynağı olduğu kabul edilmelidir. Kronik stresin bağırsak bariyer fonksiyonu, immün yanıt ve inflamatuvar süreçler üzerinde etkili olabileceğine ilişkin kanıtlar, bağırsak sağlığı ile sistemik fizyolojik yanıtlar arasındaki ilişkinin önemini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, ATD gibi multifaktöriyel kökenli refah sorunlarının önlenmesinde çevresel düzenlemelerin yanı sıra hayvanın bağırsak sağlığını ve immün homeostazını destekleyebilecek besleme stratejilerinin de araştırılması önem taşımaktadır.

Son yıllarda antibiyotik büyütme faktörlerinin kullanımının azaltılması ve hayvan sağlığının sürdürülebilir besleme stratejileriyle desteklenmesi amacıyla alternatif yem katkı maddelerine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. Bu kapsamda postbiyotikler (PB), canlı mikroorganizmaların kendisinden ziyade, etkisizleştirilmiş mikroorganizmaları ve/veya bunların bileşenlerini içeren ve konakçıya sağlık yararı sağlayan preparatlar olarak tanımlanmaktadır (Salminen et al., 2021). Uluslararası Bilimsel Probiyotik ve Prebiyotik Birliği (ISAPP) tarafından yapılan bu tanımlama, postbiyotiklerin yalnızca mikrobiyal metabolitlerden ibaret olmadığını ve inaktive edilmiş mikrobiyal hücrelerin veya hücresel bileşenlerin de preparatın biyolojik etkisine katkıda bulunabileceğini vurgulamaktadır (Salminen et al., 2021). Postbiyotiklerin bağırsak bariyer bütünlüğünün desteklenmesi, immün yanıtın düzenlenmesi ve inflamatuvar süreçlerin modülasyonu gibi çeşitli mekanizmalar üzerinden konakçı sağlığına katkıda bulunabileceği bildirilmektedir (Salminen et al., 2021; Żółkiewicz et al., 2020). Bununla birlikte, postbiyotiklerin biyolojik etkileri kullanılan mikroorganizma, inaktivasyon yöntemi, üretim koşulları, biyolojik olarak aktif bileşenlerin yapısı ve uygulama dozuna bağlı olarak değişebildiğinden, farklı ürünlerin etkilerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kanatlılarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, farklı kaynaklardan elde edilen postbiyotiklerin bağırsak sağlığı ve immün yanıt üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Örneğin, Lactiplantibacillus plantarum kaynaklı postbiyotiklerin broylerlerde bağırsak morfolojisini, müsin üretimini ve bazı bağışıklık göstergelerini iyileştirdiği; ayrıca intestinal sıkı bağlantı proteinleri ile ilişkili gen ekspresyonunu desteklediği bildirilmiştir (Khusro et al., 2022). Benzer şekilde, Bacillus subtilis kaynaklı bir postbiyotiğin broylerlerde büyüme performansı, immün yanıt ve bağırsak sağlığı ile ilişkili bazı göstergeler üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmiştir (2024). Ayrıca enterik stres koşullarında gerçekleştirilen çalışmalarda postbiyotik uygulamasının bağırsak morfolojisi ve bağışıklık yanıtı üzerinde olumlu etkiler gösterebildiği ve bağırsak bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunabileceği ortaya konulmuştur (2025). Daha geniş kapsamlı olarak, yakın tarihli bir meta-analizde postbiyotiklerin broylerlerde büyüme performansı ve bağırsak morfolojisi üzerinde genel olarak olumlu etkiler gösterebildiği, ancak etkinin postbiyotik türü, doz ve uygulama yöntemine göre değişebildiği bildirilmiştir (Riaz & Nouman, 2026).

Postbiyotiklerin bağırsak sağlığı ve immün sistem üzerindeki potansiyel olumlu etkileri göz önüne alındığında, çevresel stres koşullarında hayvanın fizyolojik dayanıklılığının desteklenmesinde de rol oynayabileceği düşünülmektedir. Özellikle yüksek yerleşim sıklığı gibi yoğun yetiştirme koşullarında bağırsak bariyer bütünlüğünün ve immün homeostazın korunması, stresin organizma üzerindeki olumsuz etkilerinin sınırlandırılmasına katkıda bulunabilir. Bununla birlikte, bu yaklaşım henüz doğrudan ATD üzerinde kanıtlanmış bir mekanizma olarak değerlendirilmemelidir. Mevcut literatürde postbiyotiklerin bağırsak sağlığı ve immün fonksiyonlar üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmalar bulunmasına rağmen, bu etkilerin yüksek yerleşim sıklığı altında ATD gelişimi ve lezyon şiddeti ile ilişkisini doğrudan değerlendiren çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle, yüksek yerleşim sıklığı ile oluşturulan çevresel stres koşullarında postbiyotik uygulamasının ayak tabanı lezyonlarının gelişimi ve şiddeti üzerindeki olası etkisinin araştırılması, hem hayvan refahı hem de sürdürülebilir kanatlı üretimi açısından önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda, bu çalışmada yüksek yerleşim sıklığına bağlı stres koşullarına maruz kalan etlik piliçlerde rasyona postbiyotik ilavesinin ayak tabanı dermatiti oluşumu ve lezyon şiddeti üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı yetiştirme koşullarında bulunan hayvanlarda ayak tabanı lezyonlarının makroskobik olarak değerlendirilmesi ve lezyonların şiddetine göre sınıflandırılması yoluyla postbiyotik uygulamasının olası koruyucu etkisinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu araştırma, Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Prof. Dr. Ali Rıza AKSOY Eğitim Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde bulunan kanatlı ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1 günlük yaşta 240 adet Ross-308 etlik civciv yerel bir kuluçkahaneden temin edilmiştir. Civcivler, bir kontrol grubu ve üç deneme grubu olmak üzere toplam dört gruba ayrılmıştır. Her bir deneme grubu ise kendi içinde 12 adet etlik civciv içeren 5 alt gruba ayrılmıştır. Deneme boyunca, civcivler 0-21 günlük periyotta civciv başlangıç yemi (%24 HP, 3000 kcal/kg ME) 22-42 günlük periyotta ise bitirme yemi (%20 HP, 3200 kcal/kg ME) ile beslenmiştir (Tablo 1). Hayvanlar, grup yemlemesi şeklinde beslenmiştir. Hayvanlara yem ve temiz içme suyu *ad libitum* olarak sunulmuştur. Kümes ısıtması deneme boyunca, elektrikli radyanlar kullanılarak sağlanmıştır. İlk hafta kümes sıcaklığı 32 °C (± 1)' de tutulmuş ve kademeli olarak 25°C'ye kadar düşürülmüştür. Denemede altlık olarak odun talaşı kullanılmıştır. Deneme 42 günde tamamlanmıştır.

Tablo 1. Başlangıç (1-21. gün) ve bitirme dönemi (22-42. gün) bazal rasyonlarında besin madde kompozisyonları

Yem Maddeleri (%)	0-21.gün	22-42. gün
Mısır	57,897	62,880
Soya Fasulyesi Küspesi %48	38,253	29,962
Soya Yağı	1,378	3,961
Kireç Taşı	0,825	1,010
MCP	0,371	0,601
Sodyum Bikarbonat	0,263	0,378
DL- Metiyonin	0,255	0,370
Lizin HCL	0,205	0,343
Treonin	0,202	0,163
Tuz	0,140	0,123
Vitamin-mineral premiks	0,100	0,100
Maxiban	0,060	0,060
Choline Chloride	0,050	0,050
Hesaplanmış kimyasal içerik, %		
Kuru madde	89,91	88,38
Ham Protein	23,48	20,00
Kül	5,69	4,76
ME, kcal/kg	3,000.00	3,200.00
Dig. Lizin	1,32	1,18
Dig. Metiyonin	0,69	0,64
Dig. Sistin	0,28	0,24
Dig. Met + Cyst	1,00	0,92
Dig. Treonin	0,88	0,79
Dig. İzolöysin	0,88	0,73
Kalsiyum	0,95	0,75
Sodyum	0,18	0,18
Nişasta	44,01	42,07
Şeker	4,27	3,57
NDF	9,64	9,49

Kilogram başına Vitamin ve mineral: Vit-A, 15.000.000 IU; Vit-D, 3.000.000 IU; Vit-E, 25.00 mg; Vit-B12, 0.03 mg; Folik asid, 1.00 mg; Ca, 10 mg; Fe, 50 mg; Zn, 52.50 mg; Cu, 10.50 mg; Mn, 55.25 mg; Co, 0.2 mg; I, 1 mg; and Se, 0.40 mg, Antioksidan, 100.00 mg; Toksin bağlayıcı, 3.000 mg

Kontrol grubu rasyonlarına herhangi bir katkı maddesi ilavesi yapılmamıştır ve stok yoğunluğu uygulanmamıştır. Deneme gruplarına ise sırasıyla 0,3 mg/ kg PB (stres yok), 0 mg /kg PB (stres var), 0,3 mg/kg PB (stres var) uygulanmıştır.

Alan normal şartlarda hayvan başına 11 m^2 iken stres oluşturulan gruplarda hayvan başına 0,06 m^2 dir.

Ayak tabanı dermatitisi (ATD), çalışmanın 42. gününde her alt gruptan rastgele seçilen 3 hayvanın her iki ayağının plantar yüzeylerinin görsel olarak incelenmesiyle değerlendirildi. Değerlendirme, tek bir gözlemci tarafından gerçekleştirildi. Ayak tabanı lezyonlarının değerlendirilmesinde İsveç sınıflandırma sistemi kullanıldı (de Jong et all.,2014). Buna göre, **0 skoru** ayak tabanında lezyon bulunmaması veya çok küçük düzeyde renk değişikliği olması; **1 skoru** renk değişikliği bulunmasına rağmen derin lezyon olmaması; **2 skoru** ise ülser veya kabuk oluşumu ile karakterize derin lezyonların varlığının bulunması şeklinde değerlendirildi. Her iki ayağa ait skorlar ayrı ayrı kaydedildi ve hayvanların ayak tabanı dermatiti değerlendirmelerinde kullanıldı.

3. BULGULAR

Tablo 2. Broyler rasyonlarına farklı dozlarda ilave edilen Postbiyotik kullanımının ayak taban dermatiti üzerine etkisi

	Kontrol	PB	YS	YS+PB	P
Lezyon 0	65±3,27^{ab}	80±5,00^{a}	45±7,79^{b}	60±10,86^{ab}	0,014
Lezyon 1	30±2,67	20±5,00	35±5,35	20±7,79	0,014
Lezyon 2	5±2,67^{b}	0±0,00^{b}	20±5,00^{a}	20±5,00^{a}	0,148
Lezyon 1+2	35±3,27^{ab}	20±5,00^{b}	55±7,79^{a}	40±10,86^{ab}	<0,001

PB: Postbiyotik, YS: Yüksek Yerleşim Sıklığı, YS+PB: Yüksek Yerleşim Sıklığı + Postbiyotik

Araştırmadan elde edilen bulgular incelendiğinde; Lezyon 0, Lezyon 1 ve toplam Lezyon 1-2 oranlarında gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edilirken ($p<0,05$), Lezyon 2 skoru bakımından gruplar arasındaki değişimin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir ($P=0,148$).

Gruplar düzeyinde yapılan değerlendirmede, lezyon gözlenmeyen (Lezyon 0 skoru) birey/örnek oranı en yüksek %80±5,00 ile PB uygulamasında saptanmış, en düşük oran ise %45±7,79 ile YS grubunda kaydedilmiştir. Lezyon 1 skoruna sahip olanların oranı en yüksek %35±5,35 ile YS grubunda öne çıkarken, PB ve YS+PB gruplarında bu oran %20 seviyesinde kalmıştır. Daha ileri derecede hasarı temsil eden Lezyon 2 skorundaki örneklerin varlığı en yüksek YS (%20±5,00) ve YS+PB (%20±5,00) gruplarında gözlenmiş, PB grubunda ise bu lezyon skoru derecesine hiç rastlanmamıştır (%0±0,00). Toplam lezyon varlığını yansıtan Lezyon 1-2 skoru

oranları dikkate alındığında ise en yüksek lezyon oranına %55±7,79 ile YS grubunda ulaşılmış, buna karşılık PB grubu %20±5,00'lik oranla en düşük lezyon skoru yaygınlığını sergilemiştir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yerleşim sıklığı stresine maruz bırakılan etlik piliçlerde postbiyotiklerin ayak taban dermatiti (ATD) oluşumu ve doku hasarı şiddeti üzerindeki koruyucu etkileri araştırılmıştır.

Deneme; Kontrol, Postbiyotik, Yüksek Yerleşim Sıklığı ve Yüksek Yerleşim Sıklığı + Postbiyotik olmak üzere dört ayrı gruptan oluşturulmuştur. Çalışma bitiminde hayvanların her iki ayak taban dokuları makroskobik olarak incelenmiştir. Lezyon şekillenmeyen durumlar Lezyon 0 (hasarsız), ≤0,8 cm boyutlu hafif hasarlar Lezyon 1 (orta) ve >0,8 cm üzerindeki hasarlar Lezyon 2 (ağır) biçiminde derecelendirildi. Genel lezyon oranını göstermek üzere Lezyon 1 ve Lezyon 2 değerleri birlikte ele alınarak Lezyon 1-2 verisi elde edilmiştir.

Bulgular incelendiğinde; ayak tabanında hiçbir lezyon gözlenmeyen (Lezyon 0) hayvanların oranı en yüksek PB (%80) ve Kontrol (%65) gruplarında tespit edilmiştir. Yoğun yerleşim sıklığı stresi nedeniyle YS grubunda %45'e gerilemiştir. Benzer şekilde YS+PB grubunda %60 seviyesine yükselmiştir (P=0,014). Hafif düzeyde lezyon görülme sıklığı (Lezyon 1), YS (%35) ve Kontrol (%30) gruplarında daha yüksek seyrederken, rasyona PB ilave edilmesi her iki koşulda da bu oranı %20 seviyesine düşürmüştür (P=0,014). İleri derece lezyonlar (Lezyon 2) Kontrol grubunda %5, YS ve YS+PB gruplarında %20 oranında tespit edilmiş, buna karşın PB tek başına uygulandığında ağır lezyon oluşumu engellenmiştir (%0) (P=0,148). Toplam lezyon varlığı (Lezyon 1-2) incelendiğinde ise en olumsuz tablo YS grubunda (%55) gözlenmiş; stres altındaki gruba postbiyotik ilavesi (YS+PB) lezyon oranının %40'a gerilemesine katkı sağlamıştır. En düşük lezyon insidansı ise Kontrol (%35) ve PB (%20) gruplarında kaydedilmiştir (P<0,001).

Sonuç olarak, yerleşim sıklığı etlik piliçlerde ayak taban dermatiti riskini önemli ölçüde tetiklediği; rasyona postbiyotik ilavesinin ise gerek stres altında gerekse normal yetiştirme şartlarında lezyon gelişimini sınırlandırarak doku sağlığını desteklediği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Buijs, S., Keeling, L. J., Rettenbacher, S., Van Poucke, E., & Tuyttens, F. A. M. (2009). Stocking density effects on broiler welfare: Identifying sensitive ranges for different indicators. *Poultry Science, 88*(8), 1536–1543. https://doi.org/10.3382/ps.2009-00007

de Jong, I. C., Gunnink, H., & Van Harn, J. (2014). Wet litter not only induces footpad dermatitis but also reduces overall welfare, technical performance, and carcass yield in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, *23*(1), 51-58.

EFSA AHAW Panel. (2023). Welfare of broilers on farm. *EFSA Journal, 21*(2), e07788. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7788

Khusro, A., et al. (2022). Lactiplantibacillus plantarum Postbiotics: Alternative of Antibiotic Growth Promoter to Ameliorate Gut Health in Broiler Chickens.

Riaz, R., & Nouman, H. M. (2026). A Meta-analysis on the Effects of Postbiotics on Growth Performance and Gut Morphology in Broiler Chickens. *Probiotics and Antimicrobial Proteins, 18*(4), 5565–5586. https://doi.org/10.1007/s12602-025-10816-8

Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., et al. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 18*(9), 649–667. https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6

Shepherd, E. M., & Fairchild, B. D. (2010). Footpad dermatitis in poultry. *Poultry Science, 89*(10), 2043–2051. https://doi.org/10.3382/ps.2010-00770

Shynkaruk, T., Long, K., LeBlanc, C., & Schwean-Lardner, K. (2023). Impact of stocking density on the welfare and productivity of broiler chickens reared to 34 d of age. *Journal of Applied Poultry Research, 32*(2), 100344. https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100344

Swiatkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., & Józefiak, D. (2017). The nutrition of poultry as a factor affecting litter quality and foot pad dermatitis – an updated review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 101*, e14–e30. https://doi.org/10.1111/jpn.12630.

Taira, K., Nagai, T., Obi, T., & Takase, K. (2014). Effect of litter moisture on the development of footpad dermatitis in broiler chickens. *Journal of Veterinary Medical Science, 76*(4), 583–586.

van der Eijk, J. A. J., van Harn, J., Gunnink, H., Melis, S., van Riel, J. W., & de Jong, I. C. (2023). Fast- and slower-growing broilers respond similarly to a reduction in stocking density with regard to gait, hock burn, skin lesions, cleanliness, and performance. *Poultry Science, 102*(5), 102603. https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102603

Żółkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczyński, M., & Feleszko, W. (2020). Postbiotics—A step beyond pre- and probiotics. *Nutrients, 12*(8), 2189. https://doi.org/10.3390/nu12082189

YERLEŞİM SIKLIĞINA MARUZ BIRAKILAN BROYLERLERDE PRECİSİON BİOTİC İLAVESİNİN AYAK TABAN DERMATİTİ ÜZERİNE ETKİSİ

Prof. Dr. Tarkan ŞAHİN[1], Prof. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU[2], Arş. Gör Benian YILMAZ[3], Doç. Dr. Mükremin ÖLMEZ [4]

[1]Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., tarkants7@hotmail.com, 0000-0003-0155-2707

[2]Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., drozlemkaya@hotmail.com, 0000-0002-5917-9565

[3]Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., benianbekinkayan@gmail.com, 0000-0003-2652-8412

[4]Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., mukremin.olmez@hotmail.com@hotmail.com, 0000-0002-5003-3383

Özet

Bu çalışma, yüksek yerleşim sıklığı stresi altında yetiştirilen broylerlerde yeme farklı seviyelerde ilave edilen Precision Biotic (SYM) katkısının ayak tabanı dermatiti (ATD) görülme sıklığı ve lezyon şiddeti üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yürütülmüştür.

Araştırmada deneme grupları; Kontrol, SYM %1, SYM %2, Yüksek Yerleşim Sıklığı (SY), SY + SYM %1 ve SY + SYM %2 olmak üzere oluşturuldu. Deneme sonunda tüm etlik piliçlerde sağ ve sol ayak tabanları makroskobik olarak değerlendirildi; lezyon olmaması Skor 0 (lezyon yok), ≤0,8 cm büyüklüğündeki lezyonlar Skor 1 (orta şiddette lezyon) ve >0,8 cm büyüklüğündeki lezyonlar Skor 2 (ağır şiddette lezyon) şeklinde üçlü skala üzerinden skorlandı. Ayrıca genel lezyon varlığını belirlemek amacıyla Skor 1 ve Skor 2 değerleri toplanarak toplam lezyon oranı [LS (1+2)] hesaplandı.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, lezyon bulunmayan hayvanların oranı (LS 0) en yüksek SYM %2 (%85) ve SYM %1 (%70) gruplarında tespit edilirken, yüksek yerleşim sıklığına maruz bırakılan gruplarda (SY, SY+SYM %1, SY+SYM %2) sırasıyla %35, %40 ve %30 seviyelerine gerilemiştir (P<0,001). Orta şiddette lezyon oranlarında (LS 1) gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (P=0,064). Ağır şiddette lezyon (LS 2) insidansı değerlendirildiğinde ise en yüksek değerler SY+SYM %1 (%55) ve SYM %2 (%40) gruplarında şekillenirken, SYM %1 grubunda lezyona rastlanmamıştır (%0) (P<0,001). Toplam lezyon varlığı [LS (1+2)] incelendiğinde; normal yerleşim sıklığında SYM %2 ilavesinin lezyon oranını %15'e kadar

düşürdüğü, ancak stres koşullarında (SY, SY+SYM %1 ve SY+SYM %2) bu oranın belirgin şekilde yükseldiği (%60–%70) saptanmıştır (P<0,001).

Sonuç olarak, yüksek yerleşim sıklığının broylerlerde ayak tabanı dermatiti şiddetini ve insidansını belirgin şekilde artırdığı, rasyona Precision Biotic ilavesinin ise normal yetiştirme koşullarında ayak tabanı sağlığını olumlu yönde desteklediği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ayak taban dermatiti, broyler, biyotik, lezyon skoru, refah, stres, yerleşim sıklığı

EFFECT OF PRECISION BIOTIC SUPPLEMENTATION ON FOOTPAD DERMATITIS IN BROILERS SUBJECTED TO STOCKING DENSITY

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of dietary Precision Biotic (SYM) supplementation at different levels on the incidence and severity of footpad dermatitis (FPD/ATD) in broilers reared under high stocking density stress.

The experimental groups were designed as Control, SYM 1%, SYM 2%, High Stocking Density (SD), SD + SYM 1%, and SD + SYM 2%. At the end of the trial, the right footpad of all birds was macroscopically evaluated using a 3-point scoring system: score 0 = no lesion, score 1 = mild lesions (≤ 0.8 cm), and score 2 = severe lesions (> 0.8 cm). Furthermore, to determine the overall lesion incidence, Scores 1 and 2 were combined to calculate the total lesion rate [LS (1+2)].

According to the findings, the proportion of birds without lesions (LS 0) was highest in the SYM 2% (85%) and SYM 1% (70%) groups, whereas it dropped significantly in groups subjected to high stocking density (SD, SD+SYM 1%, SD+SYM 2%) to 35%, 40%, and 30%, respectively ($P<0.001$). No statistically significant difference was observed among groups regarding mild lesion rates (LS 1) ($P=0.064$). When evaluating severe lesion incidence (LS 2), the highest values were recorded in the SD+SYM 1% (55%) and SYM 2% (40%) groups, whereas no severe lesions were detected in the SYM 1% group (0%) ($P<0.001$). Regarding total lesion presence [LS (1+2)], dietary SYM 2% supplementation reduced the lesion rate down to 15% under normal stocking conditions, whereas under stress conditions (SD, SD+SYM 1%, and SD+SYM 2%), this rate increased substantially (60%–70%) ($P<0.001$).

In conclusion, high stocking density significantly increased the severity and incidence of footpad dermatitis in broilers, while Precision Biotic supplementation positively supported footpad health under normal rearing conditions.

Keywords: Broiler, footpad dermatitis, lesion score, precision biotic, stocking density.

1. GİRİŞ

Broyler üretiminde kısa sürede yüksek canlı ağırlık ve verim elde edilmesi, üretim etkinliğinin ve ekonomik sürdürülebilirliğin temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, hızlı büyüme ve yüksek üretim kapasitesine yönelik genetik seleksiyonun, özellikle bacak ve lokomotor sistem bozuklukları ile diğer refah sorunlarının görülme riskini artırabildiği bildirilmektedir (EFSA AHAW Panel, 2023; van der Eijk et al., 2023). Bu doğrultuda, yüksek üretim kapasitesine yönelik yoğun yetiştirme sistemleri dünya genelinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Ancak üretim yoğunluğunun artması ve yetiştirme koşullarının optimal sınırların dışına çıkması, broylerlerin sağlık ve refahını olumsuz etkileyebilecek çeşitli çevresel ve yönetimsel sorunlara yol açabilmektedir. Özellikle yüksek yerleşim sıklığı; hayvanların hareket alanının kısıtlanması, altlık kalitesinin bozulması, altlık neminin artması ve hayvanların nemli altlıkla temasının uzaması gibi mekanizmalar üzerinden broylerlerin ayak sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Buijs et al., 2009; EFSA AHAW Panel, 2023; Shynkaruk et al., 2023). Nitekim farklı yerleşim sıklıklarının karşılaştırıldığı çalışmalarda, yerleşim sıklığının azaltılmasıyla altlık kalitesinin iyileştiği ve ayak tabanı dermatiti (ATD) görülme düzeyinin azaldığı bildirilmiştir (Shynkaruk et al., 2023; van der Eijk et al., 2023).

Broylerlerde ayak tabanı dermatiti (ATD), özellikle yoğun yetiştirme koşullarında önemli bir hayvan refahı göstergesi olarak kabul edilmektedir. ATD, ayak tabanının plantar yüzeyinde inflamasyon, epidermal kalınlaşma ve hiperkeratoz ile başlayan, ilerleyen olgularda erozyon, ülserasyon ve nekrotik lezyonlarla karakterize edilen bir kontakt dermatit formudur (Shepherd & Fairchild, 2010; Swiatkiewicz et al., 2017). ATD yalnızca ayak sağlığı açısından önemli bir sorun olmayıp, hayvan refahının değerlendirilmesinde de yaygın olarak kullanılan hayvan temelli göstergelerden biridir (EFSA AHAW Panel, 2023). Lezyonların şiddetinin artmasıyla birlikte broylerlerin hareket kabiliyetinde ve yürüme isteğinde azalma meydana gelebilmekte, bu durum yem ve suya erişim ile doğal davranışların gerçekleştirilmesini olumsuz etkileyebilmektedir (EFSA AHAW Panel, 2023; Dawkins et al., 2017). Ayrıca ATD, kesim sonrasında ayakların ekonomik değerinin azalmasına ve ürünlerin sınıflandırılması veya reddedilmesine neden olabildiğinden, üretim ekonomisi açısından da önem taşımaktadır (Shepherd & Fairchild, 2010; Dawkins et al., 2017).

Ayak tabanı dermatitinin ortaya çıkmasında genetik yapı, yaş, canlı ağırlık, büyüme hızı ve beslenme gibi hayvana bağlı faktörlerin yanı sıra, özellikle altlık materyalinin niteliği ve nem düzeyi, kümesin çevresel koşulları ve yerleşim sıklığı gibi yetiştirme faktörleri etkili olmaktadır (Shepherd & Fairchild, 2010; Swiatkiewicz et al., 2017). Bu faktörler içerisinde altlık nemi, ATD gelişiminde en önemli çevresel risk

faktörlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Islak altlık üzerinde yetiştirilen broylerlerde ATD'nin daha erken yaşlarda ortaya çıktığı ve lezyon şiddetinin kuru altlıkta yetiştirilen hayvanlara kıyasla daha yüksek olduğu deneysel olarak gösterilmiştir (Taira et al., 2014). Benzer şekilde, altlık neminin geçici olarak artırılmasının dahi ATD insidansını artırabildiği bildirilmiştir (Cengiz et al., 2011). Yerleşim sıklığının artmasıyla birlikte dışkı birikimi ve suluklardan kaynaklanan suyun altlığa geçişinin artması, altlığın nemlenmesine ve dolayısıyla ayak tabanı ile nemli materyal arasındaki temasın artmasına neden olabilmektedir (Shynkaruk et al., 2023; van der Eijk et al., 2023). Bu nedenle yüksek yerleşim sıklığının yalnızca hayvanların hareket alanını sınırlandıran bir yönetim faktörü olmadığı, aynı zamanda kümes mikroçevresini ve altlık koşullarını değiştirerek ayak tabanı sağlığını dolaylı olarak da etkilediği düşünülmektedir.

Son yıllarda kanatlı beslemede antibiyotik kullanımının azaltılması ve hayvan sağlığının sürdürülebilir yem katkıları aracılığıyla desteklenmesine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu kapsamda probiyotikler, prebiyotikler, sinbiyotikler ve mikrobiyota modüle edici diğer yem katkıları üzerinde yoğun araştırmalar yürütülmektedir. Bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi; besin maddelerinin sindirimi ve emiliminin desteklenmesi, bağırsak bariyer fonksiyonunun güçlendirilmesi ve bağışıklık yanıtının düzenlenmesi yoluyla kanatlıların genel sağlık durumuna katkı sağlayabilmektedir. Nitekim broylerlerde gerçekleştirilen bir meta-analizde, farklı probiyotiklerin diyetle kullanımının bağırsak bariyer fonksiyonunu destekleyebildiği ve özellikle patojen baskısı altındaki hayvanlarda bağırsak inflamasyonunu azaltmaya katkıda bulunabileceği bildirilmiştir (Wang et al., 2023). Bununla birlikte, bu tür yem katkılarının etkilerinin kullanılan mikroorganizma veya bileşenlerin özelliklerine, dozuna, yetiştirme koşullarına ve mevcut çevresel stres faktörlerine bağlı olarak değişebileceği de dikkate alınmalıdır.

Precision Biotic (PB; SYM) gibi mikrobiyota hedefli yem katkılarının, bağırsak mikrobiyotasındaki belirli metabolik fonksiyonları yönlendirerek bağırsak sağlığının desteklenmesine katkıda bulunabileceği bildirilmektedir. Precision Biotic ile gerçekleştirilen broyler çalışmalarında, bu katkının çekal mikrobiyota kompozisyonu ve mikrobiyal metabolik fonksiyonlar üzerinde değişikliklere neden olduğu ve büyüme performansını destekleyebildiği gösterilmiştir (Bortoluzzi et al., 2023). Ayrıca enterik stres modeli altında gerçekleştirilen bir çalışmada, Precision Biotic kullanımının ileal histolojik hasarı azaltabildiği, villus uzunluğunu artırabildiği ve bazı bağırsak sağlık göstergelerini iyileştirebildiği bildirilmiştir (Blokker et al., 2022). Daha yakın tarihli çalışmalar da Precision Biotic kullanımının bağırsak mikrobiyotasının metabolik fonksiyonlarını ve kısa zincirli yağ asidi üretimiyle ilişkili mikrobiyal yolları modüle edebildiğini

göstermektedir (Bortoluzzi et al., 2025). Bununla birlikte, söz konusu katkı maddelerinin yüksek yerleşim sıklığı gibi yoğun yetiştirme koşullarının neden olduğu stres altında deri ve ayak tabanı sağlığı üzerindeki etkileri konusunda bilgi sınırlıdır.

Özellikle yem katkılarının normal yetiştirme koşullarındaki olası olumlu etkilerinin, yüksek yerleşim sıklığı gibi bir çevresel stres faktörünün varlığında devam edip etmediğinin ortaya konulması; hayvan refahının iyileştirilmesi ve alternatif besleme stratejilerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda, bağırsak sağlığının desteklenmesinin sistemik sağlık ve çevresel streslere karşı dayanıklılık üzerinde oluşturabileceği olası katkıların araştırılması, mikrobiyota hedefli yem katkılarının kullanım potansiyelinin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayabilir. Ancak burada doğrudan ATD üzerinde koruyucu bir etki olduğu varsayımından kaçınılması ve bu ilişkinin deneysel olarak test edilmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, mevcut çalışmada yüksek yerleşim sıklığı stresine maruz bırakılan broylerlerde rasyona farklı düzeylerde Precision Biotic (SYM) ilavesinin ayak tabanı dermatitinin görülme sıklığı ve lezyon şiddeti üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca, normal ve yüksek yerleşim sıklığı koşullarında SYM kullanımının ayak tabanı sağlığı üzerindeki olası koruyucu etkisinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu araştırma Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Prof. Dr. Ali Rıza AKSOY Eğitim Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde bulunan kanatlı ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1 günlük yaşta 300 adet Ross-308 etlik civciv yerel bir kuluçkahaneden temin edilmiştir. Civcivler, bir kontrol grubu ve beş deneme grubu olmak üzere toplam altı gruba ayrılmıştır. Her bir deneme grubu ise kendi içinde 30 adet etlik civciv içeren 5 alt gruba ayrılmıştır. Deneme boyunca, civcivler 0-21 günlük periyotta civciv başlangıç yemi (%24 HP, 3000 kcal/kg ME), 22-42 günlük periyotta ise bitirme yemi (%20 HP, 3200 kcal/kg ME) ile beslenmiştir (Tablo 1). Hayvanlar, grup yemlemesi şeklinde beslenmiştir. Hayvanlara yem ve temiz içme suyu *ad libitum* olarak sunulmuştur. Kümes ısıtması deneme boyunca, elektrikli radyanlar kullanılarak sağlanmıştır. İlk hafta kümes sıcaklığı 32 °C (± 1)’ de tutulmuş ve kademeli olarak 22-24°C'ye kadar düşürülmüştür. Denemede altlık olarak odun talaşı kullanılmıştır. Deneme 42 günde tamamlanmıştır.

Tablo 1. Başlangıç (1-21. gün) ve bitirme dönemi (22-42. gün) bazal rasyonlarında besin madde kompozisyonları

Yem Maddeleri (%)	0-21 gün	22-42 gün
Mısır	**57,897**	**62,880**
Soya Fasulyesi Küspesi %48	**38,253**	**29,962**
Soya Yağı	**1,378**	**3,961**
Kireç Taşı	**0,825**	**1,010**
MCP	**0,371**	**0,601**
Sodyum Bikarbonat	**0,263**	**0,378**
DL- Metiyonin	**0,255**	**0,370**
Lizin HCL	**0,205**	**0,343**
Treonin	**0,202**	**0,163**
Tuz	**0,140**	**0,123**
Vitamin-mineral premiks	**0,100**	**0,100**
Maxiban	**0,060**	**0,060**
Choline Chloride	**0,050**	**0,050**
Hesaplanmış kimyasal içerik, %		
Kuru madde	**89,91**	**88,38**
Ham Protein	**23,48**	**20,00**
Kül	**5,69**	**4,76**
ME, kcal/kg	**3,000.00**	**3,200.00**
Dig. Lizin	**1,32**	**1,18**
Dig. Metiyonin	**0,69**	**0,64**
Dig. Sistin	**0,28**	**0,24**
Dig. Met + Cyst	**1,00**	**0,92**
Dig. Treonin	**0,88**	**0,79**
Dig. İzolöysin	**0,88**	**0,73**
Kalsiyum	**0,95**	**0,75**
Sodyum	**0,18**	**0,18**
Nişasta	**44,01**	**42,07**
Şeker	**4,27**	**3,57**
NDF	**9,64**	**9,49**

Kilogram başına Vitamin ve mineral: Vit-A, 15.000.000 IU; Vit-D, 3.000.000 IU; Vit-E, 25.00 mg; Vit-B12, 0.03 mg; Folik asid, 1.00 mg; Ca, 10 mg; Fe, 50 mg; Zn, 52.50 mg; Cu, 10.50 mg; Mn, 55.25 mg; Co, 0.2 mg; I, 1 mg; and Se, 0.40 mg, Antioksidan, 100.00 mg; Toksin bağlayıcı, 3.000 mg

Kontrol grubu rasyonlarına herhangi bir katkı maddesi ilavesi yapılmamıştır ve stok yoğunluğu uygulanmamıştır. Deneme grupları ise sırasıyla 0,1 mg/ kg SYM (stres yok), 0,2 mg /kg SYM (stres yok), 0 mg/kg SYM (stres var), 0,1 mg/ kg SYM (stres var), 0,2 mg /kg SYM (stres var) şeklinde oluşturulmuştur

Alan normal şartlarda hayvan başına 11 m^2 iken stres oluşturulan gruplarda hayvan başına 0,06 m^2 dir.

Ayak tabanı dermatitisi (ATD), çalışmanın 42. gününde her alt gruptan rastgele seçilen 3 hayvanın her iki ayağının plantar yüzeylerinin görsel olarak incelenmesiyle değerlendirildi. Değerlendirme, tek bir gözlemci tarafından gerçekleştirildi. Ayak tabanı lezyonlarının değerlendirilmesinde İsveç sınıflandırma sistemi kullanıldı (de Jong et all.,2014). Buna göre, 0 skoru ayak tabanında lezyon bulunmaması veya çok küçük düzeyde renk değişikliği olması; 1 skoru renk değişikliği bulunmasına rağmen derin lezyon olmaması; 2 skoru ise ülser veya kabuk oluşumu ile karakterize derin lezyonların varlığının bulunması şeklinde değerlendirildi. Her iki ayağa ait skorlar ayrı ayrı kaydedildi ve hayvanların ayak tabanı dermatiti değerlendirmelerinde kullanıldı.

3. BULGULAR

Tablo 2. Broyler rasyonlarına farklı dozlarda ilave edilen Precision Biotic kullanımının ayak taban dermatiti üzerine etkisi

	LS 0	LS 1	LS 2	LS (1+2)
Kontrol	$65\pm4,08^{abc}$	$25\pm5,27$	$5\pm3,33^{cd}$	$35\pm4,08^{bcd}$
SYM%1	$70\pm6,24^{ab}$	$15\pm4,08$	$5\pm3,33^{cd}$	$30\pm6,24^{cd}$
SYM%2	$85\pm4,08^{a}$	$25\pm7,45$	$0\pm0,00^{d}$	$15\pm4,08^{d}$
SY	$35\pm11,3^{bcd}$	$35\pm6,67$	$40\pm8,50^{ab}$	$65\pm11,30^{ab}$
SY+SYM%1	40 ± 10^{cd}	$15\pm4,08$	$25\pm7,45^{bc}$	$60\pm10,00^{abc}$
SY+SYM%2	$30\pm3,33^{d}$	$5\pm3,33$	$55\pm6,24^{a}$	$70\pm3,33^{a}$
P	<0,001	0,064	<0,001	<0,001

SYM:Precision Biotic, SY:Yüksek Yerleşim Sıklığı

Tablodan elde edilen bulgular incelendiğinde; LS (lezyon skoru) 0, LS2 ve LS(1+2) ölçümlerinde gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p<0,001$). Buna karşılık, LS1 lezyon skoru bakımından gruplar arasında anlamlı bir farkın bulunmadığı görülmektedir ($P=0,064$).

Gruplar bazında değerlendirme yapıldığında, SYM ilavesinin lezyon oluşumunu en aza indirdiği stresli gruplarda beklediği üzere orta ve yüksek şiddette lezyonların varlığının arttığı belirlenmiştir. Lezyon görülmeyen gruplarda en yüksek oran SYM%2 grubunda (%85±4,08) tespit edilirken, en düşük oranlar SY+SYM%2 (%30±3,33) ve SY (%35±11,3) gruplarında gözlenmiştir. LS2 derecesindeki lezyon skorlarında belirgin bir değişim öne çıkmış; şiddetli lezyon dereceleri karşılaştırıldığında SY+SYM %2 grubu en yüksek

orana (%55±6,24) sahip olurken, SYM %2 grubunda LS2 lezyon skoruna rastlanmamıştır (%0±0,00). Lezyon görülme durumuna bakıldığında ise stresli gruplar yine ön plana çıkmaktadır. En yüksek lezyon görülme oranları SY+SYM%2 (%70±3,33) ve SY (%65±11,30) gruplarında görülmüştür. Lezyon varlığının en az hissedildiği grup ise SYM%2 (%15±4,08) olarak kaydedilmiştir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, yüksek yerleşim sıklığının broylerlerde ayak tabanı dermatiti insidansını ve lezyon şiddetini önemli ölçüde artırdığı; Precision Biotic ilavesinin ise özellikle normal yetiştirme koşullarında ayak tabanı sağlığının korunmasına katkı sağlayabileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte, yüksek yerleşim sıklığına bağlı yoğun stres koşullarında Precision Biotic'in koruyucu etkisinin sınırlı kalması, ATD'nin önlenmesinde yem katkılarının yanı sıra uygun yerleşim sıklığı, altlık yönetimi ve çevresel koşulların birlikte optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

Blokker, B., Bortoluzzi, C., Iaconis, C., Perez-Calvo, E., Walsh, M. C., Schyns, G., Tamburini, I., & Geremia, J. M. (2022). Evaluation of a novel precision biotic on enterohepatic health markers and growth performance of broiler chickens under enteric challenge. Animals, 12(19), 2502. https://doi.org/10.3390/ani12192502

Bortoluzzi, C., et al. (2025). Precision biotic as an effective replacement of hydrolyzed yeast and butyrate in antibiotic free diets of broiler chickens raised under field conditions. Poultry Science, 104(2), 104664. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104664

Bortoluzzi, C., Tamburini, I., & Geremia, J. (2023). Microbiome modulation, microbiome protein metabolism index, and growth performance of broilers supplemented with a precision biotic. Poultry Science, 102(5), 102595. https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102595

Buijs, S., Keeling, L. J., Rettenbacher, S., Van Poucke, E., & Tuyttens, F. A. M. (2009). Stocking density effects on broiler welfare: Identifying sensitive ranges for different indicators. Poultry Science, 88(8), 1536–1543. https://doi.org/10.3382/ps.2009-00007

Cengiz, Ö., Hess, J. B., & Bilgili, S. F. (2011). Effect of bedding type and transient wetness on footpad dermatitis in broiler chickens. Journal of Applied Poultry Research, 20(4), 554–560. https://doi.org/10.3382/japr.2011-00368

Dawkins, M. S., Roberts, S. J., Cain, R. J., Nickson, T., & Donnelly, C. A. (2017). Early warning of footpad dermatitis and hockburn in broiler chicken flocks using optical flow, bodyweight and water consumption. Veterinary Record, 180, 399. https://doi.org/10.1136/vr.104066

de Jong, I. C., Gunnink, H., & Van Harn, J. (2014). Wet litter not only induces footpad dermatitis but also reduces overall welfare, technical performance, and carcass yield in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, *23*(1), 51-58.

EFSA AHAW Panel. (2023). Welfare of broilers on farm. EFSA Journal, 21(2), e07788. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7788

Shepherd, E. M., & Fairchild, B. D. (2010). Footpad dermatitis in poultry. Poultry Science, 89(10), 2043–2051. https://doi.org/10.3382/ps.2010-00770

Shynkaruk, T., Long, K., LeBlanc, C., & Schwean-Lardner, K. (2023). Impact of stocking density on the welfare and productivity of broiler chickens reared to 34 d of age. Journal of Applied Poultry Research, 32(2), 100344. https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100344

Swiatkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., & Józefiak, D. (2017). The nutrition of poultry as a factor affecting litter quality and foot pad dermatitis – an updated review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 101*(4), e14–e30. https://doi.org/10.1111/jpn.12630

Taira, K., Nagai, T., Obi, T., & Takase, K. (2014). Effect of litter moisture on the development of footpad dermatitis in broiler chickens. Journal of Veterinary Medical Science, 76(4), 583–586.

van der Eijk, J. A. J., van Harn, J., Gunnink, H., Melis, S., van Riel, J. W., & de Jong, I. C. (2023). Fast- and slower-growing broilers respond similarly to a reduction in stocking density with regard to gait, hock burn, skin lesions, cleanliness, and performance. Poultry Science, 102(5), 102603. https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102603

Wang et al. (2023). Dietary probiotics modulate gut barrier and immune-related gene expression and histomorphology in broiler chickens under non- and pathogen-challenged conditions: A meta-analysis. Animals, 13(12), 1970. https://doi.org/10.3390/ani13121970

İNCİ KEFALİNİN ÖZELLİKLERİ VE BÖLGE HALKINA KATKILARI

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DENK[1]/ Doç.Dr.Esra KAYA[2] / Zir Müh. İdris CALAN[3]

[1]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi/Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, Sağlık Bilimleri Temel Alanı, hdenk@agri.edu.tr, ORCID:0000-0003-2591-0361

[2]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi/Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, Ziraat ve Orman ve Su Ürünleri Temel Alanı, egursoy@agri.edu.tr, ORCID:0000-0002-4697-7365

[3]Van il tarım ve orman müdürlüğü, idris.calan@tarimorman.gov.tr, ORCID:0009-0000-9596-9559

Özet

İnci kefali Van Gölü'nün ekstrem su kriterlerinde yaşamayı başaran bir balık türüdür. Van Gölü, Türkiye'nin en büyük gölüdür. Suları yüksek derecede tuzlu ve sodalı olan gölün, pH değeri yaklaşık 9,7-9,9, tuzluluğu ise 0,22 % seviyelerindedir. Gölde bulunan İnci kefali, (Alburnus tarichi), gölün tuzlu ve sodalı sularına adapte olmuş sazangiller ailesine ait olup, Van gölü havzasında hayat bulan endemik bir balık türüdür. İnci Kefali ; Van Kefali, Van Balığı ve Van Kolyoz Balığı olarak farklı şekillerde de isimlendirilir.İnci kefali, suyun akışına karşı yüzebilme ve engelleri aşabilme yeteneği sayesinde "uçan Van balığı" olarak da adlandırılmaktadır. İnci kefalinin (*Alburnus tarichi*) vücut yapısı fusiformdur; bu şekil özellikle su veya hava direncine karşı adaptasyon sağlamaktadır. İnci kefalinin vücut rengi değişkenlik göstermekle birlikte genellikle parlak gümüşi renktedir; sırt kısmı koyu gri veya grimsi, karın bölgesi ise parlak gümüş rengindedir.İnci kefali gölde yaşamasına karşın her yıl Nisan ve Temmuz aylarında üremek için Van Gölü'ne dökülen akarsulara üreme göçü gerçekleştirir. Akarsulara giren inci kefalleri yumurtalarını bıraktıktan sonra tekrardan göle geri dönerler. Van Gölü inci kefali stoku, Türkiye iç sularındaki en büyük balık stokunu oluşturmakta olup, 2020 yılında iç sulardan avlanan toplam 33.119 ton balığın 9.734 tonunu inci kefali karşılamış ve böylece toplam iç su üretiminin yaklaşık üçte birini oluşturmuştur. İnci kefali avcılığı göl çevresinde yaşayan yaklaşık 20.000 kişinin doğrudan veya dolaylı geçim kaynağını sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu stokun devamlılığı, üreme döneminde akarsulara giren balıkların yumurtalarını güvenli şekilde bırakabilmesi ile yakından ilişkilidir. Türkiye ekonomisi açısından stratejik öneme sahip olan Van Gölü'nde inci kefalinin sürdürülebilir kullanımı, gölde uygulanan balıkçılık yönetiminin başarısına bağlı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Van gölü, İnci kefali, endemik, su ürünleri. ekonomik katkı

CHARACTERİSTİCS OF THE PEARL MULLET AND ITS CONTRUBITIONS TO THE LOCAL COMMUNİTY

Abstract

The pearl mullet is a fish species that has managed to survive in the extreme water criteria of Lake Van. Lake Van is the largest lake in Turkey. Its waters are highly saline and alkaline, with a pH of approximately 9.7-9.9 and a salinity of 0.22%. The pearl mullet (Alburnus tarichi), found in the lake, is an endemic fish species belonging to the carp family, adapted to the lake's salty and alkaline waters, and inhabits the Lake Van basin. The pearl mullet is also known by different names such as Van mullet, Van fish, and Van mackerel. Due to its ability to swim against the current and overcome obstacles, the pearl mullet is also called the "flying Van fish." The body structure of the pearl mullet (Alburnus tarichi) is fusiform; this shape provides adaptation, especially against water or air resistance. The body color of the pearl mullet varies, but it is generally a bright silvery color; its back is dark gray or grayish, while its belly is bright silver. Although the pearl mullet lives in the lake, it undertakes a breeding migration to the streams flowing into Lake Van every year between April and July to reproduce. After laying their eggs in the streams, the pearl mullets return to the lake. The pearl mullet stock in Lake Van constitutes the largest fish stock in Turkey's inland waters. In 2020, pearl mullet accounted for 9,734 tons of the total 33,119 tons of fish caught in inland waters, thus representing approximately one-third of the total inland water production. Pearl mullet fishing provides a direct or indirect livelihood for approximately 20,000 people living around the lake. Consequently, the sustainability of this stock is closely linked to the ability of fish entering streams during the breeding season to safely lay their eggs. The sustainable use of pearl mullet in Lake Van, which is of strategic importance to the Turkish economy, will depend on the success of fisheries management implemented in the lake.

Keywords: Lake Van, Pearl mullet, endemic, aquaculture, economic contribution

GİRİŞ

Türkiye, Asya ile Avrupa arasında bir köprü konumunda olduğu için iç su balık türleri açısından zengin bir konumdadır. Türkiye iç sularında 20 takım ve 34 familyaya ait toplam 384 balık türü rapor edilmiştir. Bu türlerin her birisi korunması gereken önemli Biyoçeşitlilik kaynaklarımızdandır İnci kefali Van Gölü'nün ekstrem su kalite kriterlerin yaşamayı başaran balık türüdür. Nisan- Temmuz ayları arasında akarsulara üreme göçü gerçekleştiren inci kefalleri Uluslararası Doğa Koruma Birliği listesinde kırmızı listede (popülasyon trendi düşüşte) yer almaktadır. Sarı (1997b) tarafından hazırlanan balıkçılık yönetim planı ve Tarım ve Orman İl Müdürlüğü tarafından başlatılan koruma çalışmaları ile inci kefali bölge ekonomisinde önemli bir noktaya gelmiştir..

Van Gölü, 3712 km² yüzölçümü ile Türkiye'nin en büyük gölü olup yüksek oranda tuzlu ve sodalı sulara sahiptir; pH değeri 9,7–9,9, tuzluluk oranı ise %0,22 seviyelerinde olup gölün en derin noktası 451 m, ortalama derinliği ise 171 m'dir (Aydın ve Tavşanoğlu, 2021). Bu ekstrem kimyasal özelliklere rağmen gölde yalnızca iki balık türü yaşamaktadır: İnci kefali (Alburnus tarichi) ve Van Gölü Küçük Mercan Balığı (Oxynoemacheilus ercisianus). Ekonomik değeri olmayan küçük mercan balığı ekolojik açıdan önem taşırken, göldeki ekonomik değere sahip tek tür olan inci kefali, sazangiller ailesine ait olup gölün sodalı-tuzlu suyuna genetik ve fizyolojik adaptasyon göstermiştir (Aydın ve Tavşanoğlu, 2021). İnci kefali her yıl Nisan–Temmuz döneminde üreme amacıyla akarsulara göç etmekte ve yumurtlamadan sonra yeniden göle dönmektedir. Üreme döneminde sürüler hâlinde akarsulara girişleri, kaçak avcılığı artırmakta ve türün korunmasını kritik hâle getirmektedir. Türkiye içsularındaki en büyük balık stoku olarak bilinen inci kefali, göl çevresinde yaşayan yaklaşık 15.000 kişinin geçim kaynağını oluşturmakta, ayrıca 2020 yılı verilerine göre iç sulardan avlanan 33.119 ton balığın yaklaşık 9.734 tonunu oluşturarak toplam üretimin üçte birine yakın bir pay sağlamaktadır. Bu nedenle inci kefalinin sürdürülebilir yönetimi, ekolojik ve ekonomik açıdan yüksek öneme sahiptir(TUİK,2020).

Sazangiller familyasına mensup olan inci kefali, dünyada yalnızca Van Gölü Havzası'nda yaşayan endemik bir balık türüdür ve parlak gümüşi rengi, gri-yeşil sırtı, gümüşi karın bölgesi ile küçük pullu vücut yapısı ve iri gözleriyle karakterizedir (Kuru, 1987; Geldiay ve Balık, 1988). İnci kefali yaşamını Van Gölü'nde sürdürmesine karşın gölün yüksek tuzluluk ve sodalite içeren suları üremeye elverişli olmadığından (Danulat ve Selçuk, 1992), Nisan–Temmuz döneminde üreme amacıyla göle dökülen akarsulara göç etmektedir. İki yaşında üreme olgunluğuna erişen bireyler, Nisan ayı ortalarından itibaren akarsu sıcaklığının 13 °C'ye ulaşmasıyla akarsulara giriş yapmakta ve yumurtlamanın ardından tekrar göle dönmektedir (Arabacı, 1995; Sarı, 2001).

Van Gölü inci kefali stoku, Türkiye içsularındaki en büyük balık stokunu oluşturmakta olup, 2020 yılında iç sulardan avlanan toplam 33.119 ton balığın 9.734 tonunu inci kefali karşılamış ve böylece toplam iç su üretiminin yaklaşık üçte birini oluşturmuştur (TÜİK, 2020). İnci kefali avcılığı göl çevresinde yaşayan yaklaşık 20.000 kişinin doğrudan veya dolaylı geçim kaynağını sağlamakta olup bu stokun devamlılığı, üreme döneminde akarsulara giren balıkların yumurtalarını güvenli şekilde bırakabilmesi ile yakından ilişkilidir. Türkiye ekonomisi açısından stratejik öneme sahip olan Van Gölü'nde inci kefalinin sürdürülebilir kullanımı, gölde uygulanan balıkçılık yönetiminin başarısına bağlıdır. Balıkçılık yönetimi; bilgi toplama, analiz etme, planlama, istişare, karar alma, kaynak tahsisi, kaynak verimliliğini koruma ve gerektiğinde yaptırım uygulama süreçlerini içeren karmaşık bir yapıya sahiptir (FAO, 2009) ve çok sayıda paydaş tarafından yürütülmektedir. Üreme döneminde sürüler hâlinde akarsulara girerek kolay avlanabilir duruma gelen inci kefalleri, bu süreçte kaçak avcılığın en önemli hedefi hâline gelmekte; bu nedenle Van Gölü Havzası'nda 15 Nisan–15 Temmuz tarihleri arasında avcılık tamamen yasaklanarak göl ve akarsularda yoğun koruma çalışmaları yürütülmektedir.

Gölün geniş yüzey alanı ile akarsuların uzunluğu, korunması gereken alanın büyümesine ve yönetimin kapsamının genişlemesine neden olurken, Engilsu, Karasu, Bendimahi, Deliçay, Zilan, Gevaş, Güzelkonak, Mamedik, Akköprü ve Kurubaş akarsuları başta olmak üzere birçok akarsuda yoğun üreme göçü gözlenmektedir; bu akarsuların yerleşim alanlarının içinden geçerek göle ulaşması ise koruma çalışmalarını zorlaştırmaktadır.

Van Gölü'nde(Sarı,1997b) tarafından bilimsel verilere dayalı olarak hazırlanan balıkçılık yönetimi çerçevesinde uygulanmaya başlanan inci kefali av yasağı, Van Valiliği koordinasyonunda Tarım ve Orman İl Müdürlüğü'nün öncülüğünde Sahil Güvenlik, Jandarma, Emniyet, belediye zabıta birimleri ve diğer ilgili kurumların yürüttüğü etkin denetimlerle başarıya ulaşmış; böylece inci kefali yok olmaktan kurtulmuş ve bölge halkı için önemli bir gelir kaynağı olmuştur.Bitlis ve Van İl Tarım ve Orman Müdürlüklerince düzenlenmiş Su Ürünleri Ruhsat Tezkeresine sahip ve Van Gölü'nde aktif olarak İnci Kefali balığı avcılığı faaliyetinde bulunan 72 adet balıkçı işletmesinde, işletme sahiplerinin yaş ortalaması 39,69 yıl, büyük bir kısmının ilkokul (%48,6) mezunu olduğu, meslekteki tecrübelerinin ortalama 18,17 yıl olduğu, çoğunun (%47,2) başka iş seçeneği olmadığı için bu mesleği icra ettikleri ve %72,2'sinin sosyal güvencesinin olmadığı tespit edilmiştir. İşletme sahiplerinin %87,5'i inci kefali avcılığının yanında başka bir ekonomik faaliyet de gerçekleştirdiği, %48,60'ı avcılığı bırakmayı düşünmekte ve %38,9'unun balıkçılık kooperatifine üye oldukları belirlenmiştir. Balıkçılık teknelerinin boyları

ortalaması 12,56 m ve motor güçleri ortalamasının 135,8 BG olduğunu ve bir sezonda ava çıkılan gün sayısı ortalama 214,03 gün ile işçi sayısının ise ortalama 2,38 kişi olarak tespit edilmiştir.

İnci Kefalinin Yaşam Döngüsü

Van Gölü ilk oluştuğu zaman tatlı su gölü olmasına karşın, ilerleyen yıllarda etrafında yer alan arazinin kayaç yapısına bağlık olarak tuzlu ve sodalı bir yapı kazanmıştır. İnci kefali, tuzlu ve sodalı bir yapı kazanan Van Gölüne adapte olarak burada yaşamanı sürdürmeyi başarmıştır. İnci kefali Van Gölü'nün tuzlu ve sodalı sularında yaşamını sürdürmesine karşın, köken olarak tatlı su balığı olduğu için üremek için tatlı sulara, ihtiyaç duyar. Bu nedenle, üreme dönemi olan Nisan ve Temmuz ayları arasında üremek için Van Gölüne dökülen akarsulara göç eder. İnci kefallerinin yaşam döngüsü, yumurta, keseli larva, yavru, genç balık ve ergin balık olmak üzere 5 dönemden oluşur.

Yumurta Dönemi; İnci kefallerinin dişi bireyleri ortalama 10000 adet yumurta bırakmaktadır. Dişi tarafından bırakılan yumurtaların erkek bireyler tarafından döllenmesi ile yapışkan özellik kazanan yumurtalar akarsu yatağındaki taş, bitki ya da kumlara yapışmaktadır. Yumurtalar, su sıcaklığına bağlı olarak 3-7 gün içerisinde yumurtadan çıkar.

Keseli Larva Dönemi; Yumurtadan çıktıktan sonra yaklaşık 5-7 mm boya sahip olan keseli larvaların ağızları kapalı ve sindirim sistemleri gelişmemiştir. Larvanın besin kesesinden beslendiği bu safha 4-6 gün kadar devam eder.

Yavru Dönemi; Keseli larva döneminin sona ermesinden sonra oluşan 1-2 cm boyundaki yavrular akarsularda akıntının olmadığı, kıyıya yakın küçük havuzcuklarda planktonlar ile beslenmeye başlarlar. Yavrular, yaklaşık 15 gün içinde akarsudan göle dönüş yaparlar.

Genç Balık Dönemi; Yumurtadan çıktıktan sonraki dönemleri atlatarak göle dönen genç balıklar yaklaşık 2-4 cm boylarındadır. Gölde planktonlar ile beslenen genç balıklar, 1 yaşına ulaştıklarında boyları yaklaşık 10 cm'dir. Genç balıklar üreme yeteneklerini 2. yaşlarının sonunda kazanarak ergin birey dönemine geçerler.

Ergin Birey Dönemi; İkinci yaşlarını tamamlayarak üreme yeteneği kazanan inci kefalleri ergin birey dönemine geçmiştirler. Boyları 16 cm'yi geçmiş olan ergin balıklar ilk üreme döneminden itibaren akarsulara girerek üremelerini gerçekleştirirler.

İnci Kefalinin Morfolojik Özellikleri

Biyolojik yönden dikkat çekici, anadrom karaktere sahip ekolojik yönden de önemli olan ve Van gölünde hayatlarını sürdürmeyi başaran İnci kefali (Alburnus tarichi, [Guldenstaedtii, 1814], Cyprinidia (Sazangiller)

familya türlerine mensup olan ve sadece dünyada, Van gölü havzasında hayat bulan endemik bir balık türüdür. İnci Kefali farklı isimlerle de anılıp bunlar; Van Kefali, Van Balığı, Van Kolyoz Balığı olaraktan isimlendirilir.

İnci kefalinin (*Alburnus tarichi*) vücut yapısı fusiformdur; bu şekil özellikle su veya hava direncine karşı adaptasyon sağlamaktadır. Baş uzunluğu, total vücut uzunluğunun yaklaşık 1/6'sı kadardır ve vücut, sikloid pullarla kaplıdır. Ağız terminal pozisyonda olup, burun delikleri gözlerin önünde yer alır (Çetinkaya & Elp, 1995). Solungaç diken sayısı genellikle 14–27 arasında değişirken, pul sayısı 60–90 arasındadır (Elp vd., 2014). İnci kefalinin vücut rengi değişkenlik göstermekle birlikte genellikle parlak gümüşi renktedir; sırt kısmı koyu gri veya grimsi, karın bölgesi ise parlak gümüş rengindedir. Vücudun büyük kısmı pullarla kaplı olduğundan anal ve ventral yüzgeçler arasındaki kısım pulsuzdur (Geldiay & Balık, 1988). Juvenil bireylerde renk koyu gümüşi olup arka kısım gri tonlarındadır; 10 cm'den küçük bireylerde ise üç adet uzamış koyu bant gözlemlenmektedir (Sarı, 1997a).

Van Balığının (İnci Kefalı)Tescili

Van Gölü'nde endemik bir tür olan inci kefali (*Alburnus tarichi*), Tarım ve Orman Bakanlığı Su Ürünleri Tescil Komitesi tarafından tescil edilmiştir. Bu komite, inci kefalini Van Balığı adı altında Hamsi ve Kaya Balığı ile birlikte tescilleyerek, türün sadece Van Gölü ve havzasına özgü olduğunu resmen belgelemektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Tescillenme, Van Balığı'nın (İnci Kefali) özgünlüğünü ve coğrafi aidiyetini resmi olarak onaylamakta, ekonomik ve kültürel değerini artırmakta ve türün tanıtımı ile korunmasına önemli katkı sağlamaktadır. Bu durum, inci kefalinin ekoturizm ve bölge balıkçılığı açısından önemini yükseltmekte, sürdürülebilir kullanım ve korunma çabalarını güçlendirmektedir. Ayrıca tescil, Van Balığı'nın ulusal ve uluslararası düzeyde bir marka değeri kazanmasına olanak tanımakta, bölgeye ekonomik katkının artmasına ve koruma çalışmalarının etkinliğinin yükselmesine zemin hazırlamaktadır (FAO, 2009).

İnci Kefali Balığının Üremesi

İnci kefali, Van Gölü'nün tuzlu ve sodalı sularında kışlayıp bahar mevsiminde neslinin devamlılığını sağlamak için göle dökülen tatlı su akarsularına doğru göç eder. Bu göç sırasında balık**,** akıntının tersine doğru yüzerek kilometrelerce yol kat eder ve karşılaştığı engelleri aşmak için gerekirse suyun üzerinde kısa mesafelerde "uçma" hareketleri gerçekleştirir. Bu nedenle halk arasında "uçan Van balığı" olarak da adlandırılır (Sarı, 1997a; Elp vd., 2014).

Bu ters göç davranışı balığın fizyolojik adaptasyonunu gösterir; göldeki tuzlu ve sodalı sudan tatlı suya geçiş, balıklarda ozmotik stres yaratmakta ve enerji gerektirmektedir. Buna ek olarak balık, üreme göçü sırasında

kaçak avcılık ve doğal engellerle karşılaştığında yüksek fiziksel performans sergileyerek hayatta kalmakta ve üremesini başarıyla tamamlamaktadır (Elp vd., 2014).

Bu eşsiz göç ve "ters uçma" davranışı, sadece Van Gölü havzasına özgü endemik bir özellik olup, hem ekoturizm açısından hem de bölgesel balıkçılık ve kültürel değerler açısından önem taşımaktadır. Her yıl Haziran ayının ilk haftasında Erciş ilçesinde düzenlenen festivaller, bu göç davranışını kutlamakta ve bölgeye ekonomik ve turistik katkı sağlamaktadır (Sarı, 1997a).

İnci Kefali Balığının Avlanması ve Denetimi

Dünyadaki genel görüş balık stoklarının sınırsız olduğu yönündedir. Fakat özellikle sanayi devriminden sonra gelişen teknoloji ile beraber ortaya çıkan balık bulucular, tersanelerde yapılan büyük ve güçlü tekneler balık stokları üzerinde aşırı avcılık baskısı meydana getirmiş ve günümüze kadar birçok balık stoku yok olma noktasına gelmiştir (Sarı, 2017b).

İç sularda bulunan balık stokları, denizel ekosistemlere göre daha küçük ve dar bir habitatta olmaları nedeniyle aşırı avcılığa karşı daha kırılgan bir yapıya sahiptirler. İç sular yönünden zengin bir konumda olan Türkiye'de Van Gölü iç sulardaki en büyük balık stokunu barındırmaktadır. Balıkçılık yönetimi açısından balık stoklarının sürdürülebilir kullanılmasındaki en önemli ilkelerden birisi, stokta bulunan ve üreme dönemine gelen bireylerin, av araçları tarafından avlanmadan, en az bir üreme döneme geçirmelerine imkan tanımaktır. Bu noktada, 2000'li yıllara kadar Van Gölü'nden üremek için akarsulara giren inci kefalleri üreme dönemlerinde aşırı bir şekilde avcılığa maruz kalmıştır. Bu avcılık akarsu üzerlerine kurulan bentler, mansaplarda ve akarsularda kullanılan manyat isimli ağlar ile gerçekleştirilmektedir. 1996 yılında toplam avcılığın % 90'ı üreme dönemin bu avcılık metoduyla gerçekleşirken, 2003 yılında % 60'ı üreme sezonunda (Sarı, 1997a; Sarı, 2001) ve 2022 yılında toplam avcılığın sadece %15-20'si üreme döneminde yapılmaktadır (Demirol,veYüksel 2022). Van Gölü İnci kefali avcılığında sürdürülebilir balıkçılığa geçiş (Sarı, 1997b) tarafından yapılan çalışma ile gerçekleşmiştir. Sarı (1997b) tarafından, yapılan çalışma ile göldeki inci kefali stok miktarı, ölüm oranı, stoka katılım miktarı, stoktan sömürülmesi gereken miktar, popülasyon parametreleri belirlenmiştir. Stoka ilişkin belirlenen bu parametreler, gölde uygulanması gereken balıkçılık yönetiminin temelini oluşturmaktadır. Bilimsel çalışmalara ek olarak göl kenarında üreme dönemi avcılığın bırakılarak yasal balıkçılığa geçilmesine yönelik birçok sosyal sorumluluk projesi yürütülmüştür. Yapılan çalışmalar ile kamuoyu ve resmi kurumlarda üreme dönemi kaçak avcılığa karşı artan duyarlılık sonucu 1996 yılında % 90 olan üreme dönemi avcılık % 15-20'e düşmüştür. Sarı (1997) tarafından oluşturulan balıkçılık yönetimine, farklı araştırıcılar tarafından yapılan

araştırmalar sonucu elde edilen veriler ile katkı sunulmuştur (Arabacı,1995; Sarı, 2001; Bozaoğlu vd., 2019; Demirol,ve Yüksel 2022). İnci kefali, Van Gölü'ndeki endemik türler arasında yer almakta ve Türkiye içsularındaki en büyük balık stokunu oluşturmaktadır. Avcılık, gölde yaşayan yaklaşık 20.000 kişinin geçim kaynağını sağlamaktadır (TUİK, 2020). Ancak inci kefalinin üreme dönemi olan Nisan–Temmuz ayları arasında göle dökülen akarsulara göçü sırasında avlanması, türün sürdürülebilirliği açısından ciddi tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle Van Gölü Havzası'nda 15 Nisan–15 Temmuz tarihleri arasında avcılık yasaklanmakta ve göl ile göle dökülen akarsularda sıkı koruma çalışmaları yürütülmektedir (Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2023).

Av yasağı kapsamında, Van Tarım ve Orman İl Müdürlüğü öncülüğünde, Jandarma, Sahil Güvenlik, Emniyet ve Zabıta birimleri göl, karasal alan ve akarsuların kenarlarında 7/24 nöbet tutmaktadır. Ayrıca, kaçak avlanan balıkların karayoluyla taşınmasının engellenmesi için Van ve Bitlis Jandarma ekipleri ana ve tali yollarda kontrol noktaları kurmakta; şehir merkezlerinde satışın önlenmesi için ise Emniyet ve Zabıta birimleri görev almaktadır. Bölgede yaşayan halkın bilinçlendirilmesi amacıyla okullarda ve yerleşim alanlarında eğitim çalışmaları düzenlenmektedir (Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2023; FAO, 2009). Van Gölü'nde uygulanan bu çok paydaşlı av yönetimi ve koruma önlemleri, inci kefalinin üreme göçlerini güvenli bir şekilde tamamlamasına olanak tanımakta ve türün neslinin devamlılığını sağlamaktadır. Bu çalışmalar aynı zamanda bölge ekonomisi ve ekoturizm açısından da önemli katkılar sunmaktadır (Sarı, 1997b; Elp vd., 2014). Olta balıkçılığında kullanılan ekipman ve yöntemler, türün zarar görmemesi açısından düzenlenmekte; denetimler Jandarma, Sahil Güvenlik ve Zabıta birimleri ile işbirliği halinde yürütülmektedir. Bu düzenlemeler, Van Gölü ekosisteminin korunması ve inci kefalinin popülasyonunun sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir (Elp vd., 2014).

Van Gölü Su Kalitesi Ölçümü

Van Gölü'nde su kalitesi izleme çalışmaları kapsamında, İl Tarım ve Orman Müdürlüğü tarafından Edremit, Gevaş ve Muradiye ilçelerinde belirlenen üç ölçüm noktasından yılın Mayıs ve Eylül aylarında numune alınmaktadır. Su kalitesi ölçümleri, 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu'nun 20. maddesi uyarınca yürütülmekte olup, bu madde su ürünlerine veya bunları tüketenlerin sağlığına zarar verebilecek maddelerin içsulara veya istihsal alanlarına dökülmesini yasaklamaktadır (1380 Sayılı Su Ürünleri Kanunu, 1971). Ayrıca, Su Ürünleri Yönetmeliği'nin 11. maddesi, dökülmesi yasak olan zararlı maddeler ve kabul edilebilir değerleri belirleyerek içsuların korunmasını sağlamaktadır (Su Ürünleri Yönetmeliği 2021).Van Gölü'ndeki üç noktada ölçülen

parametreler; su sıcaklığı (°C), çözünmüş oksijen (mg/L), koku, renk, pH, elektriksel iletkenlik (µS/cm), askıda katı madde (mg/L), amonyum azotu (mg/L), nitrit azotu (mg/L), nitrat azotu (mg/L), kimyasal oksijen ihtiyacı (mg O_2/L) ve fekal koliform bakteri sayısı (Kob/100 mL) olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin izlenmesi, gölde yaşayan endemik türler, özellikle inci kefalinin (*Alburnus tarichi*) yaşam alanlarının korunması ve sürdürülebilir balıkçılık yönetiminin uygulanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (FAO, 2009).

Van Gölü Su Kirliliğinin Çevreye ve Ekonomiye Verdiği Zararlar

Van Gölü, Türkiye'nin en büyük gölü olmasına rağmen çevresel baskılar nedeniyle ciddi kirlilik sorunlarıyla karşı karşıyadır. Gölün kirliliği başlıca evsel atıklar, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan gübre ve pestisitler, sanayi atıkları, kanalizasyon deşarjları ve kaçak balıkçılık faaliyetleri ile ilişkilidir. Özellikle göle dökülen akarsularda ve kıyı bölgelerinde nitrat, fosfat, amonyum azotu, askıda katı madde ve fekal koliform değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. Bu durum hem ekosistemdeki biyolojik çeşitliliği tehdit etmekte hem de inci kefali gibi endemik türlerin üreme ve yaşam alanlarını olumsuz etkilemektedir (Elp vd., 2014; Sarı, 1997b). Ayrıca gölün tuzlu ve sodalı yapısı, bazı kirleticilerin çözünürlüğünü ve birikimini artırmakta, dolayısıyla ekotoksik etkileri daha belirgin hâle getirmektedir. Su kalitesi parametrelerinin düzenli izlenmesi, Van Gölü'ndeki su kirliliğinin belirlenmesi ve yönetilmesi açısından kritik öneme sahiptir. İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Edremit, Gevaş ve Muradiye gibi noktalarında Mayıs ve Eylül aylarında su kalitesi numuneleri almakta, sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, nitrit, nitrat, amonyum azotu, kimyasal oksijen ihtiyacı ve fekal koliform gibi parametreleri izlemektedir (Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2023). Kirlilik aynı zamanda gölde rekreasyon, içme suyu ve balıkçılık faaliyetlerini de olumsuz etkileyerek bölge ekonomisine zara**r** vermektedir. Bu nedenle, Van Gölü'nde kirlilikle mücadele ve su kalitesinin korunması, endemik türlerin devamlılığı ve sürdürülebilir balıkçılık yönetimi için kritik bir önceliktir (FAO, 2009).

İnci Kefalinin Bölgeye Katkısı

İnci Kefali Van ve Doğu Anadolu Bölgesi ekonomisi için kritik bir öneme sahiptir. Hem Doğrudan istihdam hem de dolaylı ekonomik etkilerle (turizm, ihracat ve markalaşma) bölge kalkınmasına katkı sağlar İnci kefali Van'da yaklaşık 15.000 ila 30.000 kişiye doğrudan geçim kaynağı sunar. Bu balıkçı aileler, işletme tesisleri çalışanları ve lojistik zincir kapsar. Tarım ve Orman İl Müdürlüğü verilerine göre 87 kayıtlı balıkçı teknesiyle faaliyet gösteren sektör, binlerce ailenin temel gelirini oluşturur.Koruma çalışmaları sayesinde balık popülasyonu artmış ve 2025 sezonunda avlanabilir stok 7.500 tonu aşmıştır. Bu sürdürebilir avcılıkla uzun vadeli istihdam sağlar. Bölge halkı için kültürel bir simge olan Van Balığı, balıkçılık dışında da yan sektörleri

(ağ tamiri, buzlama, nakliye) canlandırır. Konserve halinde yıl boyu tüketimi mümkün kılarak tedarik zincirini güçlendirir ve ihracat potansiyelini yükseltir.

Coğrafi işaret tescili Sayın Emine Erdoğan öncülüğünde tamamlanarak balığın marka değerini artırıp, premium fiyatlandırma ve uluslararası tanıtımını desteklemiştir. Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı (DAP) bu kapsamda Bir milyar TL'lik proje desteği sağlamıştır. Türkiye'de 2020 yılı verilerine göre, iç sulardan avlanan toplam 33.119 ton balığın 9.734 tonu inci kefalinden sağlanmış ve bu, toplam üretimin yaklaşık üçte birine denk gelmiştir (TUİK, 2020). Bu miktar, Van Gölü çevresinde yaşayan yaklaşık 20.000 kişinin doğrudan veya dolaylı olarak geçim kaynağı olmasını sağlamaktadır. Balığın ekonomik değeri yalnızca avcılıkla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda bölge balıkçılığı, işleme, nakliye ve satış zincirleri üzerinden istihdam ve gelir sağlamaktadır (Elp vd ., 2014). Üreme göçü dönemi (Nisan-Temmuz), binlerce turisti çeker ve inci kefali göçü festivalleriyle turizmi canlandırır. Bu durum otel, restoran ve rehberlik sektörlerine dolaylı bir katkı yapmaktadır.

Van gölü temizliği projeleri (140 milyon TL bütçeli, temiz enerji tekneleriyle atık toplama), balık stoklarını korurken ekoturizmi teşvik eder ve bölgeye 444 milyon TL'lik kalkınma yatırımı getirir. İnci kefalinin göç ve "ters uçma" davranışı, her yıl Haziran ayının ilk haftasında Erciş ilçesinde düzenlenen festivaller ile kutlanmakta; bu etkinlikler bölgeye ekoturizm ve kültürel gelir sağlamaktadır. Bu yönüyle inci kefali, Van Gölü havzasında yalnızca balıkçılık gelirini artırmakla kalmayıp, bölge turizmi ve kültürel tanıtım açısından da stratejik bir ekonomik değer olarak öne çıkmaktadır (Elp vd, 2014; Sarı, 1997a). Van Gölü'ndeki inci kefali, Van ve Türkiye ekonomisine doğrudan balıkçılık ve dolaylı olarak turizm ve kültürel etkinlikler aracılığıyla katkı sağlayan, sürdürülebilir yönetim gerektiren stratejik bir doğal kaynaktır. İnci kefali (*Alburnus tarichi*), Türkiye içsularında avlanan balık miktarının yaklaşık üçte birini oluşturarak ekonomik açıdan kritik bir paya sahiptir (Akkuş, 2021). Özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nde, 2019 yılında avcılıkla elde edilen toplam 11.523 ton içsu ürününün 9.942 tonu Van Gölü'nden avlanan inci kefalidir; bu da bölgedeki içsu avcılığında türün payının yaklaşık %86,4 olduğunu göstermektedir. Ayrıca Su Ürünleri Sektör Politika Belgesi'ne göre, içsu avcılığında en çok avlanan türler arasında inci kefali yer almakta olup, yıllara göre tonajda dalgalanmakla birlikte 2023 yılında yaklaşık 9.993 ton seviyesine ulaşmıştır. Bu veriler, inci kefalinin hem bölgesel balıkçılık ekonomisinde hem de ulusal içsu balıkçılığı üretiminde stratejik bir konuma sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

İnci kefali balıkçılık yönetimi, bütün paydaşların katılım sağladığı, Türkiye ve Dünya için örnek olacak bir yönetim modeli şeklini almıştır. (Sarı 1997b) tarafından üretilen bilimsel verilere dayalı olarak hazırlanan balıkçılık yönetim modeli ile 2000'li yıllarda yok olmak üzere olan endemik bir balık türü yok olmaktan kurtarılarak bölgede 20.000 insanın geçim kaynağına dönüşmüştür. Balıkçılık yönetimi dinamik bir yapıya sahip olup zaman ilerledikçe değişen sorunlar ve mevcut şartlara göre güncellenmesi gerekmektedir. Günümüzde iç sularda yaşayan balık stoklarının karşılaşacağı en büyük sorunların başında küresel iklim değişimine bağlı olarak ortaya çıkan akarsu debilerinin düşmesi ve göllerin su seviyelerin azalması ya da tamamen kurumasıdır. Bu nedenle, ülkemizde etkin bir su yönetim politikasının uygulanmasına ihtiyaç vardır.

Üreme dönemi inci kefallerinin girdiği akarsuların etrafı, sulu tarımın yoğun olarak yapıldığı alanları oluşturmaktadır. Her geçen yıl artan bu tarım alanları suluma suyunu tamamen akarsudan almakta ve dere yataklarındaki su kuruma noktasına gelmektedir. Bu yüzden Van Gölü Havzasında tarımdaki ürün deseni değiştirilerek, çok su isteyen şeker pancarı ve yonca gibi ürünlerin ekimine son verilmelidir. Bu ürünlerin yerine yerini su ihtiyacı az olan ürünlerin ekimi teşvik edilmelidir. Ayrıca salma sulama ya da vahşi sulama adı verilen yöntemler bırakılarak damlama sulama benzeri su israfına azaltan yöntemlere geçilmeli. Bölgede bulunan sulama kanallarının tamamı açık kanal şeklinde olup, bu kanallardaki çatlaklar ve buharlaşma nedeniyle suyun büyük kısmı tarlaya ulaşmadan kaybolmakta ve akarsu yatağında inci kefallerinin üremesi için gerekli olan suyun büyük kısmı boşa gitmektedir. Bu yüzden, bölgedeki sulama kanallarının kapalı borular içerisine alınması su kaybını büyük oranda engelleyecektir. İnci kefali koruma çalışmalarının yürütüldüğü Van Gölü ve göle dökülen akarsular karadan kontrol edilmesi oldukça zor geniş alanları kapsamaktadır. Bu nedenle, koruma çalışmaları büyük insan ve ekonomik güç gerektirmektedir. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte doğal alanların izlenmesinde daha etkili ve daha az insan gücü gerektiren imkanlar ortaya çıkmıştır. Bu teknolojik imkanların başında insansız hava araçları gelmektedir. Geceleri termal algılama yapabilen ve yüksek çözünürlüğe sahip bu araçların kullanımı ile inci kefalinin 90 günlük üreme döneminde, kaçak avcılık ile daha etkin bir şekilde mücadele etmek mümkün olacaktır. Sonuç olarak; Bu stokun devamlılığı, üreme döneminde akarsulara giren balıkların yumurtalarını güvenli şekilde bırakabilmesi ile yakından ilişkilidir. Türkiye ekonomisi açısından stratejik öneme sahip olan Van Gölü'nde inci kefalinin sürdürülebilir kullanımı, gölde uygulanan balıkçılık yönetiminin başarısına bağlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Akkuş, M. (2021). *Van Gölü Balıkçılık Yönetimi ve İnci Kefali (Alburnus tarichi Guldenstaedtii, 1814) Koruma Çalışmaları.* Doğanın Sesi, 8, 47-59.

Arabacı, M. (1995**)**. *İnci kefalinin (Chalcalburnus tarichi Pallas, 1811) üreme biyolojisi üzerine araştırmalar.* Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi.

Aydın, H., & Tavşanoğlu, Ü. (2021). Van Gölü'nün limnolojik özellikleri ve balık faunası. *Dergipark*.

Bozaoğlu, A. S., Akkuş, M., & Yeşil, A. (2019). Van Gölü'nde fanyalı uzatma ağları ile İnci Kefali (Alburnus tarichi) avcılığı. *Commagene Journal of Biology*, 3(1), 27-31

Çetinkaya, O., & Elp, M. (1995). *Van Gölü ve çevresindeki balık türlerinin morfolojik özellikleri*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Danulat, E., & Selçuk, B. (1992). Van Gölü'nün fiziko-kimyasal özellikleri ve sodalı suyun balıklar üzerine etkisi. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 9(1), 45–56.

Demirol, F., & Yüksel, F. (2022). Age, Growth and Length-Weight Relationship of Tarek (Alburnus tarichi Güldenstädt, 1814) from Lake Van. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 8(2), 150-159..

Elp, M., Sarı, H., & Çetinkaya, Ö. (2014). *Van Gölü'ndeki endemik balık türleri ve ekolojik önemi.* Doğu Anadolu Araştırmaları Dergisi, 6(1), 33–48.

FAO. (2009). *Fisheries management: 2. The ecosystem approach to fisheries.* FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 4.

Geldiay, R., & Balık, S. (1988). *Türkiye Tatlısu Balıkları.* Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları.

Kuru, M. (1987). *Türkiye Tatlısu Balıkları.* Gazi Üniversitesi Yayınları.

Sarı, H. (1997a). *Van Gölü'nde inci kefali (Alburnus tarichi) göç davranışları.* Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları.

Sarı, M. (1997b). *Van Gölü inci kefali balıkçılığının yönetimi üzerine bir model önerisi.* Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi.

Sarı, M. (2001). İnci kefalinin üreme göçü ve populasyon dinamiği üzerine bir değerlendirme. *Turkish Journal of Zoology*, 25(3), 277–288.

Tarım ve Orman Bakanlığı (2023). İnci kefali koruma çalışmaları ve av yasağı uygulamaları.

TUİK. (2020). *Türkiye'de su ürünleri üretim istatistikleri.* https://tuik.gov.tr

Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2023). *Van Gölü inci kefali av yasağı ve koruma çalışmaları.* https://van.tarimorman.gov.tr

VAN İLİNİN ÇOĞRAFİ İŞARETLİ HAYVANSAL ÜRÜNLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DENK[1]/ Doç. Dr Esra KAYA[2] / Zir Müh. Yahya PALA[3]

[1]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi/Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, Sağlık Bilimleri Temel Alanı, hdenk@agri.edu.tr, ORCID:0000-0003-2591-0361

[2]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi/Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, Ziraat ve Orman ve Su Ürünleri Temel Alanı, egursoy@agri.edu.tr, ORCID:0000-0002-4697-7365

[3]Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, yahya.pala@tarimorman.gov.tr, ORCID:0009-0006-5596-022X

Özet

Bu araştırma, Van ilinde coğrafi işaret alan ve potansiyel taşıyan hayvansal ürünlerin tanıtımı, ekonomik ve turizm açısından katkıları ile yaşanan sorunları incelemeyi amaçlamaktadır. Coğrafi işaretler, yerel ürünlerin kalitesini ve tanınırlığını artırarak bölgesel ekonomiye katkı sağlamakta, kırsal alanlardan kente göçü azaltmakta ve üreticilerin gelirlerini yükseltmektedir. Araştırmada,Türkiye'deki yasal çerçeve ve uygulamalar incelenmiştir. Van ili özelinde yapılan literatür taraması ve saha çalışmaları, Van Otlu Peyniri gibi coğrafi işaret alan ürünlerin turizm, yerel ekonomi ve kültürel değerler açısından önemli olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca coğrafi işaretin üretim, dış ticaret, turizm, tanıtım, pazarlama, istihdam ve sürdürülebilir tarımsal kalkınma gibi pek çok alanda ekonomik, sosyal ve kültürel faydalar sağladığı görülmüştür. Araştırma, Van ilinde coğrafi işaretli hayvansal ürünlerin mevcut durumunu ortaya koymanın yanı sıra, bu ürünlerin turizm ekonomisine en yüksek katkıyı sağlayacak stratejilerin geliştirilmesi ve yaşanan sorunların çözümüne yönelik öneriler sunarak bilimsel bir altyapı oluşturmayı hedeflemektedir. Sonuç olarak, coğrafi işaretli ürünler hem Van'ın kültürel mirasını korumakta hem de bölgesel kalkınmaya önemli katkılar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Van ili, coğrafi işaret, yöresel gıda, tarımsal kalkınma, kültürel miras

GEOGRAPHCALLY İNDİCATED ANİMAL PRODUCTS OF VAN PROVİNCE

Abstract

This research aims to examine the promotion of geographically indicated and potentially geographically indicated animal products in Van province, their economic and tourism contributions, and the problems encountered. Geographical indications contribute to the regional economy by improving the quality and recognition of local products, reducing migration from rural areas to cities, and increasing producers' incomes. This research examined the legal framework and practices in Turkey. A literature review and field studies conducted specifically in Van province revealed that geographically indicated products, such as Van Herb Cheese, are significant in terms of tourism, local economy, and cultural values. Furthermore, geographical indications have been shown to provide economic, social, and cultural benefits in many areas such as production, foreign trade, tourism, promotion, marketing, employment, and sustainable agricultural development. This research aims to reveal the current status of geographically indicated animal products in Van province, as well as to create a scientific foundation by developing strategies that will maximize the contribution of these products to the tourism economy and offering suggestions for solving the problems encountered. In conclusion, geographically indicated products both preserve Van's cultural heritage and make significant contributions to regional development.

Keywords: Van province,geographical indication,regional food,agricultural development,cultural heritage

GİRİŞ

Coğrafi işaretlerin tarihî kökenleri bazı yaklaşımlara göre 12. yüzyıla kadar uzanmaktadır. Bu dönemde Orta Avrupa ve İngiltere'de faaliyet gösteren dokumacılar, ürünlerinin bölgesel özelliklerini vurgulamak veya tanımlamak amacıyla ilk coğrafi işaretleri kullanmaya başlamışlardır. Aynı zamanda, koloniler arası yapılan baharat ve diğer egzotik ürün ticaretinde de ürünle üretim bölgesi arasında bağ kurularak coğrafi kökene dayalı işaretlemeler ticari uygulamalarda yer bulmuştur. Bir başka görüşe göre, endüstri toplumuna geçişten önce göç eden topluluklar, yerleştikleri bölgelerde aynı üretimi sürdürerek bu tür ürünleri kullanmaya devam etmişlerdir. Başlangıçta ürün kalitesini simgeleyen ve ayırt edici nitelikte olan bu işaretler, sanayi toplumunun gelişmesiyle birlikte üretici işletmelerin tanınmasına yönelik olarak evrilmiş ve markalaşmaya zemin hazırlamıştır (Altıner, 2017a).

Coğrafi işaretler uluslararası düzeyde ilk olarak 1883 Paris Sözleşmesi ile korunmaya başlanmış, 1891'de imzalanan Madrid Sözleşmesi ise Paris Sözleşmesi'ni tamamlayıcı nitelik taşımıştır. Türkiye, 1930'dan sonra Madrid Sözleşmesi'ne taraf olmuştur. Madrid Sözleşmesi, sahte kaynak işaretine sahip ürünlerin ülkeler arasındaki satış ve ithalatını yasaklayan yaptırımları içermekte ve ürünleri türüne göre ayıran ilk düzenleme olma özelliğine sahiptir. Daha sonra Lizbon Anlaşmaları ve Ticaretle Bağlantılı Fikri Mülkiyet Anlaşması (TRIPS) ile çok uluslu bir çerçeve oluşturulmuştur. Avrupa Birliği ülkelerinde ise 1992'de başlayan sistem, 2006 ve 2012 yıllarında kapsam açısından genişletilmiştir (Sakar, 2021).

Türkiye'de coğrafi işaret uygulamaları 1995 yılında çıkarılan 555 sayılı "Coğrafi İşaretlerin Korunması Hakkında KHK" ve bu kararnamenin uygulanmasını gösteren yönetmelik ile başlamıştır. Bu düzenlemeler, belirli ürünlerin coğrafi işaretlerle korunmasını sağlamıştır. 2007'de TBMM'ye sunulan Coğrafi İşaretler Kanun taslağı, yöresel veya geleneksel özellik taşıyan ürünlerin teşvik edilmesi, üretim çeşitliliğinin artırılması ve piyasa değerlerinin yükseltilmesi; bölgesel ve kırsal ekonomilere katkı sağlanması; üretim metodu ve kaynakta güvence sağlayarak tüketicilere yüksek kaliteli ürünler sunulmasını hedeflemiştir. Kanun taslağı, aynı zamanda tarım, maden, el sanatları ve benzeri alanlarda ortaya çıkan ürünlerin coğrafi işaret veya geleneksel özellikli ürün adıyla korunmasına ilişkin kuralları belirlemektedir (Kan vd. 2010). Coğrafi işaretli ürünler, sadece üretildikleri ülkenin ulusal mevzuatıyla değil, aynı zamanda uluslararası yasalarla da üretici ve tüketici haklarının korunmasını sağlar. Bu koruma; tüketici koruyucu yasalar, özel düzenlemeler ve uluslararası sözleşmeler aracılığıyla sağlanır. Ülkeler, kendi coğrafi işaretli ürünlerini uluslararası alanda da korumak amacıyla başvuruda bulunabilmektedir. Bu kapsamda, Paris Sözleşmesi (1883) ürünlerin kaynağı ile ilgili sahte

veya aldatıcı işaretlerin engellenmesini; Madrid Sözleşmesi (1891) menşe adlarının korunması ve uluslararası tescilini; Lizbon Anlaşması (1958) ve TRIPS (1994) ise coğrafi işaret tescilini amaçlayan düzenlemeleri içerir. Özellikle TRIPS, coğrafi işaretlerin korunması konusunda en kapsamlı ve çok sayıda ülkenin taraf olduğu bir anlaşma olarak öne çıkar (Şahin, 2021).

Dünya genelinde 10 binden fazla coğrafi işaretli ürün bulunmaktadır ve bu ürünler turizm sektöründe yaklaşık 200 milyar dolarlık bir pazar oluşturmaktadır (Yıldırım, 2019). 2019 yılı sonu itibarıyla Avrupa Birliği'nde toplam 3.319 coğrafi işaretli ürün tescil edilmişti; bunların 1.607'si şarap, 1.470'i gıda ve 242'si alkollü içecek kategorisine dahildi. En fazla tescile sahip ülkeler ise İtalya (859), Fransa (742), İspanya (350), Yunanistan (272), Portekiz (191) ve Almanya (168) olarak sıralanmaktadır (European Commission, 2020).

Coğrafi işaretli ürünler, ekonomik açıdan da önemli gelirler sağlar. Örneğin Fransa'nın coğrafi işaretli ürün ihracatından elde ettiği yıllık gelir yaklaşık 60 milyar avro iken, İtalya sadece coğrafi işaretli peynirlerinden yılda 10-12 milyar avro gelir elde etmektedir (Canbolat & Çakıroğlu, 2020). Türkiye, matematiksel konumu gereği orta kuşakta yer almakta olup dört mevsimin yaşanabildiği farklı iklim tiplerine sahiptir. Verimli toprakları ve bu toprakları sulayan akarsuları ile tarımsal üretim açısından zengindir. Üç tarafı denizlerle çevrili olması, ülkeyi dünyaya açılan bir kapı hâline getirirken, Karadeniz'i Akdeniz'e bağlayan su yolları ve Asya'yı Avrupa'ya bağlayan köprü konumu, Türkiye'yi tarih boyunca önemli bir ticaret alanı yapmıştır. Bu coğrafi ve stratejik özellikler, Türkiye'de birçok medeniyetin kurulmasına ve çeşitli ürünlerin yetiştirilip ticaretinin yapılmasına imkân tanımıştır. Bu nedenle zengin bir kültürel miras oluşmuş ve coğrafi işaretler, ülkelerin sahip oldukları bu kültürel değerleri koruma amacıyla ortaya çıkmıştır (Şahin, 2021). 1995 yılına kadar Türkiye'de coğrafi işaretlerin korunması, 551 sayılı Markalar Kanunu ve Türk Ticaret Kanunu'nun "Haksız Rekabet Hükümleri" kapsamında sağlanmaktaydı. Bu dönemde coğrafi işaretler yalnızca menşe adının marka olarak kullanılmasının önüne geçmek amacıyla tescil edilmekteydi ve esas amaç tüketiciyi yanıltıcı uygulamalardan korumaktı. 1995'ten sonra 555 sayılı Coğrafi İşaretlerin Korunması Hakkında KHK ve buna bağlı yönetmelik ile coğrafi işaretlerin koruma kapsamı genişletilmiştir. Bu düzenleme ile maden ürünleri, tarım ürünleri, doğal ürünler, el sanatları ve sanayi ürünleri, ilgili tanım ve koşullara uygun oldukları sürece koruma altına alınmıştır (Oğuz, 2016).

Türkiye'de uygulanan coğrafi işaret sistemi, Avrupa Birliği sisteminden bazı farklılıklar göstermektedir. AB sistemi tarımsal olmayan ürünleri kapsamasa da, Türkiye'de el sanatları ürünleri; kilim, halı, battaniye gibi ürünler coğrafi işaretler kapsamında yer almaktadır. Bu durum, Türkiye'de coğrafi işaretlerin yalnızca

gastronomi turizmine değil, ekoturizm ve kültürel turizme de katkı sağladığını göstermektedir. Coğrafi işaretler, bölgenin kültürünü yansıtması ve doğanın sunduğu avantajlarla beraber hem tanıtımına hem de kültürel mirasın sürekliliğine katkıda bulunduğu için önem taşımaktadır (Kan vd. 2010).

Coğrafi İşaret Türleri

Üç farklı coğrafi işaretleme sistemi bulunmaktadır: menşe adı, mahreç işareti ve geleneksel ürün adı (TPMK, 2007; Oğuz, 2016; İlhan, 2020).

Menşe Adı

Bir ürünün temel nitelikleri ve özellikleri, belirli bir coğrafi bölgenin doğal ve beşeri koşullarına bağlı olarak oluşuyorsa, bu tür coğrafi işaretler "menşe adı" olarak adlandırılır. Menşe adı kapsamında tescil edilen ürünlerde, hammaddenin üretiminden işlenmesine ve son ürün haline gelmesine kadar tüm süreçlerin ilgili coğrafi alan sınırları içinde gerçekleştirilmesi zorunludur. Bu nedenle menşe adları, ait oldukları bölgenin jeolojik, iklimsel ve kültürel özellikleriyle güçlü bir bağa sahiptir (TPMK, 2007).

555 sayılı Coğrafi İşaretlerin Korunması Hakkında Kararname'ye göre menşe adlandırmasında ürün ile menşe arasındaki ilişki esastır ve tüm üretim süreci belirlenen coğrafi alan içinde yürütülmelidir. Bu ürünlerin kalitesi, ünü ve diğer özellikleri, bulundukları bölgenin doğal ve kültürel unsurlarından kaynaklanır. Bu nedenle, yalnızca ait oldukları bölgede üretilen ürünler tanınırlık kazanır; bu durum, ürünlerin özgün karakterini ve kalitesini korumayı amaçlayan bir düzenleme olarak değerlendirilir (Zuluğ, 2010).

Mahreç İşareti

Mahreç işareti, bir ürünün belirgin bir niteliği, ünü veya diğer özelliklerinin belirli bir coğrafi alanın koşullarına bağlı olarak oluşması ve ürünün üretim, işleme ya da diğer aşamalarından en az birinin bu alanda gerçekleştirilmesi durumunda verilen coğrafi işaret türüdür. Eğer ürünün ham maddesi veya üretim aşamalarından biri belirli bir coğrafi bölgede gerçekleşiyorsa, diğer üretim ve işleme aşamaları bu bölge dışında da yapılabilir (TPMK, 2007).

Mahreç işareti kapsamında tescil edilebilecek ürünler arasında Mersin Tantunisi, Mersin Kerebici, Adana Kebabı ve Bozyazı Kavutu gibi örnekler bulunmaktadır (TPMK, 2021). Menşe adı ile mahreç işareti arasındaki temel fark, menşe adının ürünün tüm karakteristik özelliklerini veya niteliklerini bölgeden almasını zorunlu kılması iken, mahreç işaretinde yalnızca ürünün belirgin bir özelliğinin bölgeden alınması yeterli sayılır (Koç, 2022).

Geleneksel Ürünler

Geleneksel ürünler, menşe adı veya mahreç işareti kapsamında değerlendirilmeyen; ancak ilgili piyasada belirli bir ürünü tanımlamak amacıyla en az otuz yıldır kullanıldığı tarihsel verilerle kanıtlanabilen adlardır. Bu ürünler, aşağıdaki kriterlerden en az birini karşılamaları durumunda "geleneksel ürün" olarak kabul edilir (TPMK, 2007):a-Geleneksel üretim veya işleme yöntemlerinden ya da geleneksel bileşimden kaynaklanması, b-Geleneksel hammadde veya malzemeden elde edilmiş olması. Geleneksel ürün adlarına örnek olarak Ezo Gelin Çorbası, Lokum ve Pastırma gösterilebilir (TPMK, 2021). Türkiye'de bu tür ürün adlarının korunmasına ilişkin ilk resmi adım, 6769 sayılı Sınai Mülkiyet Kanunu ile birlikte Coğrafi İşaretler Dairesi tarafından atılmıştır. Bu kapsamda "geleneksel ürün adı" korumasına ilişkin uygulamanın başlatılması önemli bir başlangıç olarak değerlendirilmektedir (Ilıcalı, 2019).

Coğrafi İşaretlerin Faydaları

Coğrafi işaretlerin en değerli yönü, kırsal kalkınmayı destekleyerek yerel girişimleri teşvik etmesidir. Bu açıdan, coğrafi işaretler bölgesel kalkınmayı güçlendirdiği için korunması gereken önemli bir unsur olarak değerlendirilmelidir. Ancak coğrafi işaretlerin sadece ekonomik katkıları açısından önemli olduğunu düşünmek eksik olur. Coğrafi işaretler, geleneksel üretim yöntemlerinin ve yerel bilgi kaynaklarının korunmasına ve kültürel mirasın devamına da katkıda bulunur (Keskin, 2019). Küreselleşen dünyada yerelleşme eğilimi, coğrafi işaretli ürünleri de etkilemiştir.

Coğrafi işaretler, yalnızca bir moda veya sembol değildir; nesilden nesle aktarılan üretim geleneğinin somut bir göstergesidir. Örneğin, Beypazarı Kurusu, binlerce yıllık İpek Yolu kültürünü taşırken; İzmir Boyoz, İzmir'in yerel kültürünü; Urfa İsotu ise Güneydoğu'nun gastronomik dokusunu yansıtır (ATO, 2022). Coğrafi işaretler, ürünlerin farklılaştırılmasında ve pazarların bölünmesinde de kritik bir rol oynar. Belirli bir bölgede üretilen ürünler, diğer benzer ürünlerden ayrılarak ekonomik değer kazanır. Bu ekonomik değer, ürünlerin ihracat katkısı ve sağladığı katma değer ile ölçülebilir (Kızıltepe, 2005).

Coğrafi işaretler, ürünlerin kökenini ve mahreçlerini belirterek tüketicinin güvenini artırmakta ve pazar potansiyelini yükseltmektedir. Bu nedenle, yakın gelecekte coğrafi işaretli ürünlerin market raflarında daha fazla yer alması beklenmektedir (ATO, 2022).

Coğrafi işaretler, belirli bir bölgeye özgü, o bölgenin doğal özellikleri, tarihi ve geleneksel üretim yöntemleri ile ilişkilendirilen ürünleri temsil eder. Bu işaretler, yalnızca ürünün menşeini belirtmekle kalmaz, aynı zamanda belirli kalite standartlarını garanti eder ve yüksek ticari değer taşır.

Coğrafi işaretli ürünler, pazarlama stratejilerinde etkin bir araçtır. İtalyan peynirleri üzerinde yapılan çalışmalarda, etkin pazarlamanın satışları artırdığı ve ihracatı desteklediği görülmüştür (Galli vd., 2011). Coğrafi işaretli ürünler, fiyat istikrarı ve katma değer sağlama açısından önemlidir. Örneğin, İspanya ve Portekiz'de bazı ürünler için %7–30 arasında fiyat artışı gözlenmiştir (Iraizoz vd., 2009). Coğrafi işaretler, üreticileri yenilik yapmaya ve farklılaşmış ürünler üretmeye teşvik ederek tarımsal ticaretin gelişmesine katkı sağlar(Huysmans ve Noord, 2021).

Coğrafi işaretler, ürün kalitesini belgeleyerek tüketicinin güvenini sağlar ve taklit ürünlerle mücadele eder. Kuzey İspanya'daki Navarre sığır eti bu konuda örnek teşkil eder (Iraizoz vd., 2009). Coğrafi işaretler, geleneksel üretim yöntemlerinin ve kültürel mirasın korunmasına yardımcı olur. Coğrafi işaretli ürünler, tarımsal ekonomiyi ve sürdürülebilir kalkınmayı destekler. Malezya durian örneğinde yerel tarımsal çeşitliliğin korunması ve turistik markalaşma sağlanmıştır (Airriess, 2020).

Coğrafi işaretler, biyolojik çeşitliliği ve ekolojik dengeyi korumada önemli rol oynar. Fransa ve Japonya örneklerinde bu etkinin kısa ve uzun vadede farklı şekillerde ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Berard ve Marchenay, 2006). Özetle, coğrafi işaretler üretimden ihracata, turizmden istihdama, kültürel mirasın korunmasından sürdürülebilir tarımsal kalkınmaya kadar pek çok alanda ekonomik, sosyal ve kültürel faydalar sağlamaktadır.

Coğrafi İşaret Tescili

Coğrafi işaret tescili, bir ürünün benzersiz özellikleri, üretim yöntemi, üretim alanı ve denetim prosedürüne ilişkin bilgilerin yasal çerçevede belgelenmesi sürecidir (TPMK, 2007). Bu süreç, ürünün tanımı, ayırt edici özellikleri, üretim yöntemi, coğrafi sınırları ve denetim mekanizmaları gibi kritik bilgilerin kayıt altına alınarak hukuki olarak korunmasını sağlar. Böylece ürünün orijinalliği ve bölgesel kimliği güvence altına alınmış olur (İloğlu, 2014).

Türkiye'de coğrafi işaret tescilinden yalnızca ürünün üreticisi olan gerçek veya tüzel kişiler yararlanabilmektedir. Ancak tüketici dernekleri ve ilgili kamu kurumları da başvuru yapabilir. Başvuru sahipleri, ürünün tanımlayıcı özelliklerini, üretim yöntemini, coğrafi sınırlarını, kalite kriterlerini ve denetim mekanizmasını dikkate alarak tescil sürecini başlatabilirler (Altıner, 2017b). 01 Ocak 2020'den itibaren, coğrafi işaret ve geleneksel ürün adı başvuruları, Türk Patent ve Marka Kurumu'nun (TPMK) elektronik başvuru sistemi EPATS üzerinden gerçekleştirilmektedir. Başvuru tamamlandıktan sonra ilgili kurum tarafından inceleme yapılır ve gerekirse uzman kurumlardan görüş alınır. 6769 sayılı Sınai Mülkiyet Kanunu'na uygun

başvurular, Resmî Gazete'de yayımlanmak üzere onaylanır. İtiraz süresi dolduktan ve başvuru ücreti ödendikten sonra başvuru tescil edilerek sicile kaydedilir ve tescil bilgileri tekrar Resmî Gazete'de ilan edilir (TPMK, 2017).

Van İli Coğrafi İşaretleri Etkileyen Faktörler

Van ili, Türkiye'nin en büyük yüzölçümüne sahip illerinden biri olarak Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Doğu Anadolu'nun yüksek plato karakterini taşıyan bu coğrafya, Türkiye'nin orta kuşakta bulunmasına bağlı olarak dört mevsimin belirgin şekilde yaşandığı bir yapıya sahiptir. Van, kuzeyde Bitlis ili, doğuda Hakkâri ve İran sınırları, güneyde Şırnak ve Siirt, batıda ise Ağrı ve Bitlis illeriyle çevrilidir. İlin orta kuşağın tipik özelliklerini taşıyan konumu, farklı iklim tiplerinin etkisinin görüldüğü geniş bir mekan sunmaktadır. Van'ın yüzeyi, yüksek dağlar, geniş platolar, göller ve derin vadilerden oluşan çeşitlilikte topoğrafik özellikler göstermektedir.

Bölgenin en dikkat çekici doğal unsuru Van Gölü'dür; Türkiye'nin en büyük sodalı gölü olan Van Gölü, yaklaşık 3.700 km²'lik yüzölçümü ile bölgeyi hem iklim hem de ekonomik açıdan önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle göl kenarındaki platolar, yerel ot türlerinin yetiştiği geniş meralardır ve bu otlar Van Otlu Peyniri gibi yerel ürünlerin oluşumunda önemli bir kaynak teşkil eder. Alpin bölgelerde sedir, ardıç ve meşe gibi ağaç toplulukları sınırlı olmakla birlikte yaygın olarak bitki örtüsü daha çok bodur çalı ve otsu türlerden oluşur. Van toprakları genellikle volkanik kayaçlar üzerinde gelişmiş olup kireçli ve killi karakterdedir. Özellikle göl çevresindeki ovalık alanlarda verimli tarım toprakları bulunmakla birlikte, yükselti arttıkça erozyon ve taşlı yüzeyler tarımsal üretimi zorlaştırmaktadır. Toprak yapısı, bu nedenle tarımda yerel ürünlerin yetiştirilmesinde belirleyici rol oynamaktadır(Anonim,2026).

1-Van Otlu Peyniri

Van Otlu Peyniri, 2017 yılında Van Ticaret ve Sanayi Odası tarafından başvurusu gerçekleştirilen ve Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından 2018 yılında "Peynirler" ürün grubunda menşe adı olarak tescil edilen önemli bir coğrafi işaretli üründür. Bu peynir, başta Van ve Hakkari illeri olmak üzere yaklaşık iki yüzyılı aşkın süredir üretilmekte olup, koyun sütü ağırlıklı olmak üzere inek ve keçi sütünden ya da bunların karışımından elde edilmektedir.

Van Otlu Peynirinin Ayırt Edici Özelliği

Yörede doğal olarak yetişen yaklaşık 20 farklı aromatik bitkinin üretim sürecinde kullanılmasıdır. Bu otlar peynire kendine özgü bir aroma kazandırmakta olup genellikle sarımsak ve kekik benzeri tatların baskın olduğu

görülmektedir. Peynirin rengi beyazdan sarımsı tonlara kadar değişebilmekte ve bu özellik kullanılan süt ve ot çeşitlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Üretim süreci oldukça geleneksel yöntemlere dayanmaktadır. Öncelikle doğadan toplanan otlar temizlenerek doğranmakta, kısa süreli haşlama işleminden sonra salamurada muhafaza edilmektedir. Süt, doğal yapısını koruyacak şekilde işlenmekte ve mayalama aşamasında hem endüstriyel mayalar hem de geleneksel yöntemlerle elde edilen şirden mayası kullanılabilmektedir. Oluşan pıhtı, bez torbalarda süzülerek otlarla karıştırılmakta ve ardından dilimlenerek tuzlanmaktadır. Peynir üretiminde "cacık" olarak adlandırılan çökelek türü de önemli bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Bu ürün, yoğurt mayalama ve ayran kaynatma işlemleriyle elde edilmekte ve peynirin küplere doldurulmasında yardımcı bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Tuzlama işlemi kuru tuzlama veya salamura yöntemi ile yapılabilmekte olup salamura tuz oranı genellikle %18–21 arasında değişmektedir. Olgunlaştırma sürecinde peynir, çömlek veya plastik kaplara yerleştirilerek toprak altına gömülmekte ve yaklaşık 3 ile 7 ay arasında değişen sürelerde bekletilmektedir. Bu süreç, peynirin aroma ve kıvamının gelişmesini sağlamaktadır. Elde edilen ürün, yöre halkı tarafından günlük beslenmede yaygın olarak tüketilmektedir.

Van Otlu Peyniri Coğrafi İşaret Bilgileri

Tescil No : 405

Tescil Tarihi : 31.12.2018

Başvuru No : C2017/070

Başvuru Tarihi : 27.07.2017

Coğrafi İşaretin Adı : Van Otlu Peyniri

Ürün / Ürün Grubu : Otlu peynir / Peynirler

Coğrafi İşaretin Türü : Menşe adı

Tescil Ettiren : Van Ticaret ve Sanayi Odası

Tescil Ettirenin Adresi : İskele Cad. No:51 VAN

Coğrafi Sınırı : Van ve Hakkari

Kullanım Biçimi : Marka unsuru ile birlikte kullanılabilecektir

Ürünün Tanımı ve Ayırt Edici Özellikleri

200 yılı aşkın süredir Van ve Hakkari illerinde üretilen Van Otlu Peyniri; başta koyun olmak üzere, inek veya keçi sütünden veya bunların karışımından, yöre ve çevre illerde yetişen Sirmo, Kekik, Siyabo ve Heliz vb. adlandırılan yaklaşık 20 adet otun eklenmesiyle yapılan, kullanılan süt ve otların farklılığıyla beyazdan

sarımtırağa doğru değişen renge sahip, orta sertlikte, tuzlu, koku ve aromasına sarımsak ve kekik aroması hakim olan, tuzlama yapıldıktan sonra taze veya salamurada olgunlaştırılarak tüketilen bir peynirdir. Van Otlu Peyniri; telemesine yaklaşık %2 oranında baharat özelliğine sahip otların katılması ve çömlek veya plastik kaplara konularak toprak altında 3-7 ay kadar gömülmek suretiyle olgunlaştırılmasıyla beyaz peynirden ayrılmaktadır. Van Otlu Peynirinde kesit yüzeyindeki otlar homojen bir dağılım gösterir. Üretimde kullanılan ot çeşitliliği, tat ve kokuda kendini gösterir. Evliya Çelebi Seyahatnamesinde Van ilinden bahsederken, otun katık yapıldığı bir peynirden bahsetmektedir. Van ilinin bitki örtüsünün zenginliği, geçimi hayvancılığa dayanan bölge halkının konar-göçer yaşam sürmesi yabani bitkileri yakından tanımasını sağlamış ve otlu peynir geleneğini oluşturmuştur. Van Otlu Peyniri yöre insanı tarafından günün her öğünü tüketilmektedir. Eskiden üretimi sadece dağınık aile işletmelerinde gerçekleştirilen Van Otlu Peyniri günümüzde endüstriyel olarak yöredeki pek çok işletmede üretilmektedir. Gerek koyun sütü üretiminin Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında artması, gerekse kullanılan otların yetişmesinin bu aylara rastlaması Van Otlu Peynirinin üretiminin baharda yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak otların salamura yapılarak saklanması, Van Otlu Peynirinin üretiminin Temmuz, Ağustos ve sonraki aylara uzatılabilmesine imkan verir. Otlar değişik gıdalarda kullanıldıkları kadar, ekonomik ve ticari öneme de sahiptirler. Peynir yapım mevsiminde üreticiler bu otları dağlardan ve değişik arazilerden toplayarak ihtiyaç fazlasını Van şehir merkezine getirip satışa sunmaktadırlar.

Van Otlu Peynirinin sertlik derecesi “yarı sert” olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, peynirin yağsız peynir kitlesindeki nem oranı (PYKN) değerine göre yapılmaktadır. Verilen aralığın %57 ile %64 arasında olması, peynirin ne çok sert ne de çok yumuşak bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu nem oranı, peynirin kıvam, doku ve dilimlenebilirlik özelliklerini doğrudan etkiler. Yarı sert peynirlerde görülen bu aralık, ürünün hem kolay kesilebilir hem de dağılmadan tüketilebilir bir yapıda olmasını sağlar. Aynı zamanda bu durum, Van Otlu Peynirinin geleneksel tüketim alışkanlıklarına uygun bir tekstüre sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Van Otlu Peynirinin kimyasal bileşimi ve besin değerleri açısından oldukça zengin ve dengeli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Öncelikle kuru madde oranının %43,81 ile %47,78 arasında değişmesi, peynirin yarı sert bir yapıya sahip olduğunu ve su içeriğinin kontrollü olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, ürünün raf ömrü ve dayanıklılığı açısından olumlu bir özellik olarak değerlendirilebilir. Protein oranının ortalama %22,17 olması, Van Otlu Peynirinin yüksek protein içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu değer, peynirin

besleyici özelliğini artırmakta ve özellikle hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasında önemli bir kaynak olduğunu ortaya koymaktadır.

Yağ oranı incelendiğinde ortalama %17,29 seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu oran, peynirin hem lezzet hem de enerji değeri açısından dengeli bir yapıda olduğunu göstermektedir. Nitekim enerji değeri de 241–250 kcal/100 g aralığında olup orta düzeyde bir enerji kaynağı olduğunu ifade etmektedir. Kül oranının %5,07 ile %7,45 arasında değişmesi, peynirin mineral madde bakımından zengin olduğunu göstermektedir. Özellikle kalsiyum (352–394 mg/100 g) ve fosfor (395–433 mg/100 g) mineral değerleri oldukça yüksektir. Bu da kemik ve diş sağlığı açısından önemli bir katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Sodyum ve tuz oranlarına bakıldığında ise, tuzun %4,60–6,90 aralığında ve sodyumun 1057–1149 mg/100 g arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler, peynirin tuzlu bir yapıya sahip olduğunu ve özellikle salamura üretim yönteminden kaynaklandığını göstermektedir. Ancak bu durum, aşırı tüketimde sağlık açısından dikkat edilmesi gereken bir unsur olarak değerlendirilebilir. Potasyum ve magnezyum değerleri de dengeli olup, sırasıyla 173–189 mg/100 g ve 32,10–34,30 mg/100 g aralığındadır. Bu mineraller, vücut fonksiyonlarının düzenlenmesi açısından önemli rol oynamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Van Otlu Peyniri yüksek protein ve mineral içeriği ile besleyici değeri yüksek bir ürün olup, özellikle kalsiyum ve fosfor açısından zengin olması nedeniyle sağlıklı bir besin kaynağıdır. Ancak tuz ve sodyum içeriğinin yüksek olması, tüketim miktarının dengeli tutulmasını gerekli kılmaktadır.

Üretim Metodu

Van Otlu Peynirinde kullanılan hammaddeler ve üretim aşamaları Türk Gıda Kodeksinin ilgili yönetmeliklerine uygun olacaktır. Baharın gelmesiyle yeşeren otlar, araziden toplanmakta ve su ile yıkanarak çamurları giderildikten sonra ince ince (0,5-1 cm. ye kadar) kıyılmaktadır. Kaynar suya atılan otlar hiç bekletilmeden dışarıya alınarak soğutulup sonra salamuraya yatırılır. Otların içinde bulunduğu salamura %12olmalıdır.Salamura suyu ve tuz oranı %5,8 ve %8), asitlik değeri %1,06 ,salamuranın pH değeri 3,85 olmalıdır. Sirmo otu kıyıldıktan sonra direkt olarak salamura suyuna yatırılmaktadır. Kullanılan salamura %3-8,8 arasında tuz içerebilmektedir. Sirmo otu hem taze olarak hem de salamurada uzun süre saklanarak peynir yapımında kullanılabilmektedir. Heliz otu daha sert ve odunsu, aynı zamanda boya veren bir bitkidir. Heliz otu suyla yıkandıktan sonra ince ince doğranarak kaynar suda hafif yumuşayıncaya kadar bekletilmekte ve oradan alınarak salamura suyuna konulmaktadır. Mendo otu Heliz otuna göre daha yumuşak olup, su oranı yüksektir.

Kekik otunda haşlama işlemi yapılmaz. Diğer işlemleri aynıdır. Yabani sarımsak olarak da bilinen Sirmo otu milimetrik parçalar haline getirilerek tuzlu suda ıslah edilir. Daha sonra peynir hazırlanırken peynir hamuruna karıştırılarak hazırlama işlemi tamamlanır**.**

Kullanılan Sütün Özellikleri

Van Otlu Peyniri yapımında yörede koyun sütü kullanılmakla birlikte inek sütü ve keçi sütü veya bunların karışımı da kullanılabilir. Kullanacak sütler Türk Gıda Kodeksi ilgili tebliğlerine ve süt için çıkarılmış olan süt standartlarına (inek sütü için TS 1018, koyun sütü için TS 1104 ve keçi sütü için TS 11046) uygun olmalıdır. Van Otlu Peynirinde kullanılan sütler antibiyotik içermemeli, süte asitlik gelişimini engelleyici veya nötürleyici madde ilave edilmemeli, yağ alma veya su katma gibi sütte bulunan bileşenlere yönelik hiçbir işlem yapılmamalıdır. Sütler, sahip olduğu doğal kimyasal bileşimi hiçbir şekilde değiştirilmeden işletmeye teslim edilmeli, sütün mikrobiyolojik ve hijyenik kalitesi yüksek olmalıdır.

Mayanın Hazırlanması

Van Otlu Peynirinde fabrikasyon usulü hazırlanmış piyasadan alınan satın alınan sıvı mayalar ya da geleneksel yolla şirdenden üretilen maya kullanılabilir. Şirdenden hazırlanan mayalar yerel üreticiler tarafından geleneksel yöntemle yapılmakta olup, koyun şirdeni üzerine karabiber, zencefil, tarçın, karanfil, toz şeker ve su karıştırılarak hazırlanır. Yörede ihtiyaç duyulan maya mevsim boyu yetecek şekilde hazırlanmaktadır. Hazırlanan mayadan 4 teneke süte yaklaşık 100 ml katılmalıdır. Yaklaşık 30° C'deki süte mayalama yapılır. Mayalanma 2 saat kadar sürer, daha sonra oluşan pıhtı süzülerek bez torbalara aktarılır.

Cacık (çökelek) Hazırlanması

Cacık, Van Otlu Peynirinin küplere doldurulması esnasında kullanılan, bu iş için hususi olarak hazırlanan ham peynirdir. Cacık yapımı için süt süzülür, kaynatılır, sonra yaklaşık 30 °C'ye kadar soğutulur. Soğutulan sütün içerisine yoğurt mayasından 20 L süte 10 gr olacak şekilde ilave edilir. Mayalama 1-2 gün devam eder. Mayalama işlemi sona erince yayıklanarak yağı alınır. Geriye kalan yayık altı, yani ayran alınıp bir kazanda 5-10 dakika kaynatılır, ocaktan indirilir ve durulması beklenir. Kabın üstünde toplanan su alınır. Süzme işleminin tam olması için kazan içeriği bir süzme bezine aktarılır ve sonra ve sonra üzerine ağırlık konur. Süzme işi iki gün sürer. Daha sonra oluşan çökelek çıkarılarak tuzlanır, önceden hazırlanmış olan otlar buna ilave edilir. Tekrar torbaya konarak süzülmeye bırakılır. Peynirler küplere bir kat peynir, bir kat cacık, üst üste gelecek şekilde doldurulur. Cacıkta kullanılan ot miktarı 0.84 ile 11.28 g ot/100 g cacık arasında değişmekte, ortalama

6.02 g ot/100 g cacık değerini almaktadır. Cacıkta kuru madde % 22.07, yağ % 2.69, protein % 14.51, tuz % 1.97 ve asitlik % 1.93 düzeyindedir. Cacıkta kaliform bakterisinin bulunmaması gerekir.

Kullanılan Tuzun Özellikleri

Van Otlu Peyniri yapımında Türk Gıda Kodeksi Tuz Tebliğinde tanımlanan gıda sanayi tuzu, iri salamura tuzu, işlenmiş tuz veya sofra tuzu kullanılabilir. Ancak kullanılacak tuz yabancı madde içermemeli ve asgari % 98-99 oranında sodyum klorür içermelidir. Salamura yapılırken içme suyu kullanılır. Salamura tuz konsantrasyonu % 18-21 aralığında, salamura sıcaklığı 8-16 °C aralığında, pH değeri ise 5.1-4.7 aralığında olmalıdır. Salamuranın asitlendirilmesi gıdalarda kullanılabilir saflıkta laktik asit ile sağlanabilir. Van Otlu Peynirinin yumuşamasını önlemek için salamuraya CaCl2 (% 0.15-0.55 oranında) ilave edilebilir.

Van Otlu Peynirinin Üretimi

Van Otlu Peyniri tuzlama yöntemi açısından "salamurada" veya "kuru tuzlamayla" olmak üzere iki farklı şekilde üretilmektedir. Yörede kuru tuzlama yöntemi daha çok tercih edilmektedir.

Kuru tuzlama yöntemiyle üretilecek peynirde çiğ süt yaklaşık 30°C sıcaklıktayken 80 L süte 100 ml maya olacak şekilde mayalanır, 1-2 saat pıhtılaşmaya terk edilir, pıhtılaşma işlemi tamamlanınca pıhtı bez torbaya aktarılır, aktarma işlemi yapılırken bir kat pıhtı bir kat da yukarıda belirtildiği şekilde hazırlanan otlardan ilave edilir. Torba dolunca ağzı büzülerek üzerine ağırlık konulur ve süzülmeye bırakılır. Süzülme 3-4 saatte tamamlandıktan sonra elde edilen teleme el büyüklüğünde, farklı şekillerde ve yaklaşık 2-3 cm kalınlığındaki küçük dilimler haline getirilir.

Kuru tuzlamanın yapılışında, dilimler üzerine kalın mutfak tuzu serpilmekte ve bu haliyle 3-4 gün kadar bekletilmektedir. Sonra dilimler bol su ile iyice yıkanır. Bir kat peynir bir kat cacık olacak şekilde toprak küplere veya plastik bidonlara sıkıca basılan ve aralarında boşluk kalmaması sağlanan peynir kalıpları, ağzı kapatıldıktan sonra toprağa gömülür. Doldurma işleminden sonra kapların ağzına üzüm yaprağı konabilir ve çamurla sıvanabilir. Bazı üreticiler peynirlerin küplere doldurulması esnasında cacık kullanmamakta, bunun yerine peynir dilimlerinin dış yüzeylerine sarımsaklı yoğurt sürmekte ve bu şekilde kaplara sıkıca doldurmakta, bazı üreticiler ise söz konusu basma işleminde peynir kırıntıları ve lor kullanmaktadır. Kabın ağzı aşağıya gelecek şekilde kilere ve genelde toprak altına koyulur ve üzeri gevşek bir toprakla veya kumla örtülür. Peynir kabının topraktaki bu pozisyonunun amacı peynirdeki nem kaybını hızlandırmaktadır. En az 4 ay en çok 7 ay olgunlaştırıldıktan sonra piyasaya arz edilir.

Salamura tuzlamada yani taze tüketilecek peynirlerde ise, çiğ sütten üretim gerçekleşmez, süt pastorizasyon normlarında ısıl işleme tabi tutulur. Üretimin takip eden süreçleri kuru tuzlama ile aynı olup, salamura usulü tuzlamada 2-3 cm kalınlığındaki küçük peynir dilimleri salamura suyunda en az 30 gün en fazla 60 gün plastik kaplarda serin bir yerde bekletildikten sonra tüketilir. Salamura konsantrasyonu, taze yumurtanın tuzlu suya batırılmasıyla ayarlanır.

Denetim

Van Otlu Peynirinin üretiminden pazarlamasına kadar olan tüm aşamalar, ilgili kurumlar tarafından denetlenmektedir. Bu kapsamda Van Ticaret ve Sanayi Odası, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İl Tarım ve Orman Müdürlüğü ve Van Büyükşehir Belediyesi uzmanları tarafından yılda en az bir kez denetim gerçekleştirilmektedir. Yapılan kontrollerde üretim standartları, kullanılan hammaddeler ve soğuk zincirin korunması gibi unsurlar incelenmekte ve elde edilen raporlar Türk Patent ve Marka Kurumu'na sunulmaktadır. Bu denetim mekanizması, ürünün coğrafi işaret kriterlerine uygunluğunu ve kalitesinin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır.

2-Tandırda Van Balığı / Tandırda Van İnci Kefali

Tandırda Van Balığı (Van İnci Kefali), 2021 yılında Van Ticaret ve Sanayi Odası tarafından başvurusu yapılan ve Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından 2022 yılında "Yemekler ve çorbalar" ürün grubunda mahreç işareti olarak tescil edilen önemli bir coğrafi işaretli üründür. Bu ürünün temel hammaddesini, yalnızca Van Gölü'nde yaşayan ve endemik bir tür olan inci kefali oluşturmaktadır. Van balığı olarak da bilinen bu tür, gölün kendine özgü sodalı ve tuzlu su koşullarında yetişmekte olup, ortalama 20 cm uzunluğunda ve yaklaşık 70 gram ağırlığındadır.

Tandırda Van Balığının üretim süreci geleneksel yöntemlere dayanmaktadır. Temizlenip tuzlanan balıklar, un, su ve tuzdan oluşan karışıma batırıldıktan sonra kuyruğundan tutturularak kilden yapılmış tandırın iç yüzeyine yapıştırılır. Bu yöntem, ustalık gerektiren bir uygulama olup ürünün karakteristik özelliklerinden biridir. Ayrıca balıklar bazı durumlarda özel kancalar yardımıyla tandır içerisinde asılarak da pişirilebilmektedir. Bu yemeğin ayırt edici özellikleri arasında, kullanılan balığın yalnızca Van Gölü'nden temin edilmesi, pişirme işleminin yöreye özgü kil tandırlarda gerçekleştirilmesi ve geleneksel tekniklerin korunması yer almaktadır. Tüm bu unsurlar, ürünün coğrafi sınırlarla güçlü bir bağ kurmasını sağlamakta ve ona özgün bir kimlik kazandırmaktadır. Tandırda Van Balığı, Van mutfak kültürünün önemli bir parçası olup, geçmişten günümüze uzanan bir gastronomi mirasını temsil etmektedir.

Tandırda Van Balığı / Tandırda Van İnci Kefali Coğrafi İşaret Bilgileri

Tescil No :1004

Tescil Tarihi : 20.01.2022

Başvuru No : C2021/000088

Başvuru Tarihi : 01.03.2021

Coğrafi İşaretin Adı : Tandırda Van Balığı / Tandırda Van İnci Kefali

Ürün / Ürün Grubu : Tandırda balık / Yemek ve Çorbalar

Coğrafi İşaretin Türü : Mahreç İşareti

Tescil Ettiren Kurum : Van Ticaret ve Sanayi Odası

Tescil Ettiren Adresi : İskele Cad. Vatso Hizmet Kompleksi No:83, Van

Coğrafi Sınır : Van İli

Kullanım Biçimi : Ürün, ambalajı veya kendisi üzerinde "Tandırda Van Balığı / Tandırda Van İnci Kefali" ibaresi ile birlikte logo ve mahreç işareti amblemi taşır. Ürünün kendisi veya ambalajı üzerinde bu kullanım mümkün olmadığında, logo ve amblem işletmede kolayca görülebilecek bir şekilde bulundurulur.

Ürünün Tanımı ve Ayırt Edici Özellikleri

Tandırda Van Balığı / Tandırda Van İnci Kefali; Van Gölü'nde yaşayan ve sazangiller (Cyprinidae) familyasından olan inci kefali (Chalcalburnus tarichi) balığının, başı kesilmeden bütün halde tandırda pişirilmesi suretiyle üretilir. Van Gölü'nün % 0,19 tuzluluk ve 9,8 pH derecesine sahip sularında yaşayan endemik bir balık türü olan inci kefali, Van balığı olarak da bilinir. Yaklaşık olarak 20 cm boya ve 70 g ağırlığa sahiptir.Van balığı en fazla yedi yıl yaşar ve üç yaşında üremeye başlar. Vücut şekli fusiform olup, baş uzunluğu yaklaşık olarak bütün boyun 1/6 'sı kadardır. Ağzın pozisyonu terminal olup, oldukça eğiktir ve fazla açılmaz. Vücut rengi genelde parlak gümüşidir, sırtı koyu grimsi yeşil veya koyu gri renkte, karın kısmı parlak gümüşi renktedir. Pullarla kaplı vücudunda, anal ve ventral yüzgeçler arasında pulsuz bir karın mevcuttur. Pulların üzerinde açık siyah renkte noktalar bulunduğundan parlaklıklarını yitirmişlerdir. Gözleri oldukça büyüktür. Bıyık yoktur.

Tandırda Van Balığı / Tandırda Van İnci Kefalinin geçmişi eskiye dayanır. Van ilinin mutfak kültürü içinde önemli bir yere sahiptir. Balığın pişirildiği tandırlar kilden yapılmaktadır. Kilin tercih edilmesinin en önemli sebebi ısıya dayanıklı olmasıdır. Ayrıca yöreye özgü kilden yapılan tandıra Van balığının kuyruğundan yapıştırılması ustalık gerektirir. Bu sebeplerle coğrafi sınır ile ün bağı bulunur.

Üretim Metodu

Bileşenler (4 kişilik): 1 kg Van balığı (inci kefali) 300 g buğday unu 30 g tuz 200 ml su Van Gölü'nden elde edilen inci kefalinin başı kesilmeden iç organları temizlenir ve tuzlanarak 10 dakika süzülmeye bırakılır. Un, su ve tuz karıştırılarak bulamaç haline getirilir. Süzülen balıklar bulamaca batırıldıktan sonra kuyruklarından tandır duvarına yapıştırılır. Balığın gövde kısmının tandır duvarı ile temas etmemesine dikkat edilir. Temas etmesi halinde balığın gövdesi yanabilir. Bunun dışında ikinci bir pişirilmesi metodu da vardır. Balıklar özel hazırlanmış kancaya yine kuyruklarından asılır ve tandırın içine sarkıtılır ve o şekilde tandırda pişirilir. Kızaran tandırda Van inci kefalinin servisi sıcak olarak yapılır. Van ilinin mutfak kültürü içinde önemli bir yere sahiptir. üretimde, Van Gölü'nden elde edilen inci kefali balığı kullanılır. Bu sebeple Tandırda Van Balığı / Tandırda Van İnci Kefalinin tüm üretim aşamaları, belirtilen coğrafi sınırda gerçekleşir.

Denetim

Ürünün üretiminden sunumuna kadar olan süreçler, belirli standartlar çerçevesinde denetlenmektedir. Bu kapsamda denetimler, Van Ticaret ve Sanayi Odası koordinasyonunda oluşturulan uzman ekipler tarafından yılda en az bir kez gerçekleştirilmektedir. Denetimlerde, kullanılan balığın kaynağı, üretim yönteminin uygunluğu ve coğrafi işaret ambleminin doğru kullanımı kontrol edilmektedir. Bu süreç, ürünün kalitesinin korunması ve coğrafi işaret kriterlerine uygunluğunun sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Coğrafi işaretlerin bölgesel kalkınma üzerindeki etkileri, ekonomik, sosyal ve kültürel boyutlarda kendini göstermektedir. Bu işaretler, üreticiye ürününü tescilli ve güvenilir bir biçimde sunma olanağı sağlayarak gelir düzeyini artırmakta, yerel pazarların değerini yükseltmektedir. Aynı zamanda, kırsal alanlardan kentlere göçün azalmasına, yerel üretici toplulukları arasında iş birliğinin ve dayanışmanın güçlenmesine katkıda bulunmaktadır.

Coğrafi işaretli ürünler, bölgenin kültürel değerlerini ve geleneksel üretim biçimlerini görünür kılmakta, turizmi ve bölge markalaşmasını desteklemektedir. Bu sayede ürünün kendisi yalnızca ekonomik bir değer değil, aynı zamanda kültürel bir sembol hâline gelmekte ve bölgeyi tanıtıcı bir unsur olarak öne çıkarmaktadır. Coğrafi işaretlerin sağladığı bu çok boyutlu katkılar, hem yerel ekonominin sürdürülebilirliğini güçlendirmekte hem de toplumsal refahı artırıcı bir araç olarak kullanılabilmektedir.

Yerel ve geleneksel lezzetlerin, özgün üretim yöntemlerinin ve kültürel değerlerin tanıtılması, turistlerin bölgeye olan ilgisini artırmakta ve ziyaretçi sayısının yükselmesine katkı sağlamaktadır. Bu ürünler, gastronomi

turizmi başta olmak üzere kültür turizmi ve deneyim turizmi için çekim noktaları oluşturmakta, bölge ekonomisine doğrudan ve dolaylı katkılar sunmaktadır. Aynı zamanda ziyaretçiler, sadece ürünü deneyimlemekle kalmayıp, bölgenin tarihî ve kültürel dokusunu da keşfederek yerel işletmelerin ve hizmet sektörünün canlanmasına yardımcı olmaktadır.

Coğrafi işaretler hem ürünün tanıtımını güçlendirmekte hem de turizmin sürdürülebilir bir şekilde bölgesel kalkınmaya hizmet etmesini sağlamaktadır. Bölgesel turizmin gelişmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Van Otlu Peyniri ve Tandırda Van Balığı, Van ilinin kültürel ve gastronomi mirasını yansıtan coğrafi işaretli ürünler olarak bölgeye çok yönlü katkı sağlamaktadır. Bu ürünler, yerel üreticilerin gelirlerini artırarak kırsal ekonomiyi desteklemekte ve istihdamı artırmaktadır. Üretim süreçlerinin geleneksel yöntemlerle yürütülmesi, Van'a özgü tarım ve hayvancılık bilgilerini koruyarak kültürel mirasın yaşatılmasına imkan tanımaktadır. Aynı zamanda bu ürünlerin tanıtımı, Van'ın marka değerini yükseltmekte ve turizm potansiyelini güçlendirmektedir; hem yerli hem de yabancı ziyaretçiler için bölgeyi gastronomi turizmi açısından cazip hale getirmektedir.

Sonuç olarak, Van Otlu Peyniri ve Tandırda Van Balığı, ekonomik, sosyal ve kültürel açıdan bölgeye sürdürülebilir bir katkı sunarak Van'ın yerel kalkınmasına önemli destek sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Airriess, C. (2020). Durian and local identity in Malaysia. Kuala Lumpur: University Press.

Altıner, A. (2017a). Coğrafi işaretler ve ekonomik etkileri. Ankara: Beta Yayınları

Altıner, M. (2017b). Coğrafi işaretler ve hukuki çerçevesi. Ankara: Akademik Yayıncılık.

Anonim.(2006).Van ili genel tanıtımı ve coğrafi yapısı. https://www.van.bel.tr/

ATO (Ankara Ticaret Odası). (2022). Coğrafi işaretli ürünler ve bölgesel kalkınma. Ankara: ATO Yayınları

Avrupa Birliği Komisyonu. (2025). Geographical indications and quality schemes in the European Union. European Commission Publications. at the WTO Council for TRIPS. The Journal of World Intellectual Property, 5(6), 865–897.

Berard, L., & Marchenay, P. (2006). Biodiversity and GI products in France. Agriculture and Human Values, 23(4), 451-462. Dergisi, 12(5),

Canbolat, M., & Çakıroğlu, E. (2020). Coğrafi işaretli ürünlerin ekonomik etkileri. Gıda ve Tarım Araştırmaları 941-955.

European Commission. (2020). European Union geographical indications and traditional specialties. Brussels: EU Publications.

Fernandez-Zarza, A., Amaya-Corchuelo, C., & Aguilar Criado, P. (2019). GI and branding: Iberian ham case study. European Planning Studies, 27(8), 1500-1515.

Galli, F., Carbone, A., Caswell, J., & Sorrentino, A. (2011). Marketing effects of GI products in Italy. Food Policy, 36(6), 648-656.

Huysmans, M., & Noord, F. (2021). Demand-driven innovation and GI products. Journal of Agricultural Economics, 72(2), 300-317.

Ilıcalı, M. (2019). Coğrafi işaretler ve geleneksel ürünlerin korunması. İstanbul: Akademik Yayıncılık.

Iraizoz, B., Bardaji, I., & Rapún, M. (2009). Price effects of GI labels in Spain. Food Economics, 6(3), 191-209.

İlhan, M. (2020). Coğrafi işaretli ürünler ve menşe adları. Ankara: Türkiye Tarım ve Gıda Yayınları.

İloğlu, H. (2014). Coğrafi işaretlerin tescil süreci ve Türkiye uygulamaları. İstanbul: Beta Yayınları.

Kan, A., Yılmaz, B., & Geçgel, Ö. (2010). Coğrafi işaretler ve kırsal kalkınma. İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık.

Keskin, M. (2019). Coğrafi işaretlerin ekonomik ve kültürel önemi. İstanbul: Akademik Yayıncılık.

Kızıltepe, Z. (2005). Coğrafi işaretlerin ihracat ve katma değer üzerindeki etkileri. Ankara: Türkiye Ekonomi Araştırmaları Merkezi.

Koç, A. (2022). Coğrafi işaretler ve mahreç işareti uygulamaları. Ankara: Tarım ve Gıda Yayıncılık.

Oğuz, H. (2016). Coğrafi işaretleme ve kırsal kalkınma. İstanbul: Ekin Yayıncılık.

Sakar, H. (2021). Coğrafi işaretlerin tarihçesi ve uluslararası düzenlemeler. Ankara: Detay Yayıncılık.

Şahin, F. (2021). Coğrafi işaretler ve uluslararası hukuk. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Türk Patent Enstitüsü. (2007). Coğrafi işaretler tescil ve koruma esasları kılavuzu. TPE Yayınları.

Türk Patent ve Marka Kurumu. (2017). Sınai mülkiyet kanunu ve coğrafi işaret uygulamaları raporu. Türk Patent ve Marka Kurumu Yayınları.

TPMK.(2018).Türk Patent ve Marka Kurumu. Van Otlu Peyniri menşe adı tescil belgesi (No: 405).

Türk Patent ve Marka Kurumu. (2022). Tandırda Van Balığı mahreç işareti tescil belgesi (No: 1004).

TPMK (Türkiye Patent ve Marka Kurumu). (2021). Türkiye'de coğrafi işaretli ürünler ve örnekleri. Ankara: TPMK Yayınları.

Yıldırım, A. (2019). Coğrafi işaretli ürünlerin turizm ve pazar etkileri. Turizm ve Ekonomi Dergisi, 8(2), 115-128.

Zuluğ, H. (2010). Coğrafi işaretler ve ürün-menşe ilişkisi. Türk Tarım ve Gıda Dergisi, 12(2), 55-60.

FORENSIC ODONTOLOGY

Kıvanç KAMBUROĞLU, DDS, MSc, PhD, Professor,

Ankara University, Faculty of Dentistry, Department of Dentomaxillofacial Radiology, Ankara, Turkey.

dtkivo@yahoo.com; kivanckamburoglu@gmail.com; ORCID iD: 000-0002-4134-5756

Abstract

Forensic odontology (forensic dentistry) is a specific branch of dentistry that deals with the proper handling, examination, and evaluation of dental evidence for use in legal contexts, cases, and the administration of justice. This field has become an integral part of forensic sciences, serving a critical and significant role in both criminal investigations and mass disaster victim identification. This branch of dentistry applies knowledge and techniques from all areas of dental science to define the dental features of forensic cases, to solve identification problems related to modern humans and archaeological remains using scientific methods, and to shed light on the dark and suspicious aspects of all kinds of death, accident, crime, abuse, and violence cases. The field of forensic dentistry requires additional training because it involves certain specialized topics that are not fully covered in formal dental education. This full text presentation paper will give general knowledge regarding this specific field along with critical anaylsis of the application areas.

Key Words: Forensic; Odontology; Dentistry

ADLİ ODONTOLOJİ

Özet

Adli diş hekimliği (adli odontoloji), yasal bağlamlarda, davalarda ve adalet yönetiminde kullanılmak üzere diş kanıtlarının doğru şekilde ele alınması, incelenmesi ve değerlendirilmesiyle ilgilenen diş hekimliğinin özel bir dalıdır. Bu alan, adli bilimlerin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş ve hem suç soruşturmalarında hem de kitlesel felaket mağdurlarının kimlik tespitinde kritik ve önemli bir rol oynamaktadır. Diş hekimliğinin bu dalı, adli vakaların diş özelliklerini tanımlamak, bilimsel yöntemler kullanarak modern insanlara ve arkeolojik kalıntılara ilişkin kimlik tespit sorunlarını çözmek ve her türlü ölüm, kaza, suç, istismar ve şiddet vakasının karanlık ve şüpheli yönlerine ışık tutmak için diş hekimliğinin tüm alanlarından bilgi ve teknikleri uygulamaktadır. Adli diş hekimliği alanı, resmi diş hekimliği eğitiminde tam olarak ele alınmayan bazı özel konuları içerdiğinden ek eğitim gerektirir. Bu sunum tam metin makalesi, bu özel alanla ilgili genel bilgilerin yanı sıra uygulama alanlarının eleştirel analizini de sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Adli; Odontoloji; Diş Hekimliği

Introduction

Forensic odontology (forensic dentistry) is a specific branch of dentistry that deals with the proper handling, examination, and evaluation of dental evidence for use in legal contexts, cases, and the administration of justice. This field has become an integral part of forensic sciences, serving a critical and significant role in both criminal investigations and mass disaster victim identification (DVI). This branch of dentistry applies knowledge and techniques from all areas of dental science to define the dental features of forensic cases, to solve identification problems related to modern humans and archaeological remains using scientific methods, and to shed light on the dark and suspicious aspects of all kinds of death, accident, crime, abuse, and violence cases. The primary utility of forensic odontology lies in identifying human remains by the unique, individual-specific features of teeth and other oral structures. This specialty has proven to be useful in cases such as terrorist attacks, airplane crashes, fires, mass murders, and natural disasters, including tsunamis, earthquakes, and floods. The following should be systematically analyzed and evaluated: informed consent forms kept by the physician during routine clinical procedures, pre- and post-treatment dental and oral records, dental models, photographs, and radiographs.

Why Teeth Are Ideal for Forensic Identification

Teeth are remarkably well-suited for forensic identification for several reasons:

Durability: Teeth are the part of the body that is least likely to decompose postmortem. Dental structures are the hardest and most well-protected structures in the human body. They resist decomposition, withstand high temperatures, and are among the last structures to disintegrate after death

Uniqueness: In dental identification, it is believed that teeth are unique because each person possesses both a type of hereditary trait and, subsequently, acquired traits created by human intervention. The arrangement, and features of teeth are unique to each individual, similar to fingerprints.

Permanence: Teeth maintain their structural integrity in conditions where other identification methods (like fingerprints or facial features) are destroyed

Rich information: Teeth provide extensive data about an individual's identity, age, gender, ethnicity, location, habits, and occupations

An average person has 32 teeth in their mouth, and each tooth has 5 surfaces; this allows for the examination of 160 different surfaces.

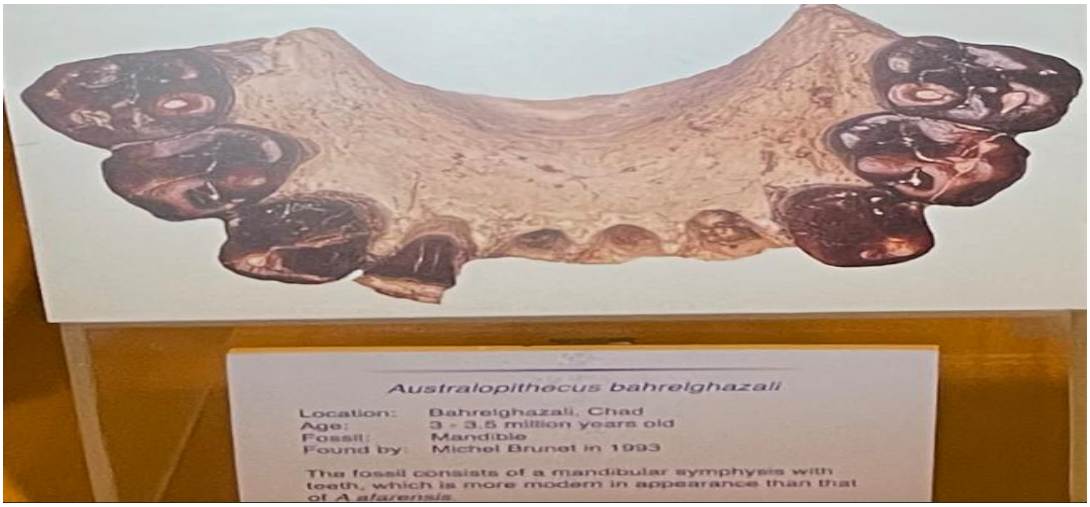


Figure 1: Mandible Fossil found in 1993 in Africa. The fossil consists of mandibular symphysis with teeth similar to modern human.

Primary Application Areas of Forensic Dentistry

Human Identification

The cornerstone of forensic odontology is comparative dental analysis - matching postmortem dental evidence with antemortem (before death) dental records. This comparison examines: number and arrangement of teeth, dental restorations, root canal treatments and posts, tooth morphology and variations in shape and size, pathologies and caries patterns, wear patterns and occlusion types, dental anomalies and developmental disturbances, trabecular bone patterns, anatomic landmarks.

Biological Profiling

When antemortem dental records are unavailable for comparison, forensic odontologists can still provide valuable investigative information. Age estimation can be conducted in children and adolescents based on tooth eruption sequence and mineralization stages visible on radiographs. Age can be estimated in adults by using regressive changes such as occlusal attrition, secondary dentin formation, periodontal attachment loss, cementum apposition, root resorption, and root translucency. Sex Determination is possible by odontometric analysis (tooth measurements) showing sexual dimorphism, particularly in canines, mandibular canine index and other dental indices, DNA extraction from dental pulp and amelogenin protein analysis with an overall accuracy of approximately 72-80%. Ancestry Determination is conducted by using morphological features.

Bite Mark Analysis

Bite marks are the marks left by the teeth on objects within the chewing plane when the lower jaw forcefully bites against the upper jaw. Bite marks can be found on material at the crime scene, and can appear on the victim as a result of an attack, or on the attacker as a result of self-defense. Forensic odontologists may be called upon to analyze bite marks found on victims or suspects. The unique characteristics of an individual's anterior dentition - including missing teeth, malformed teeth, fractures, crowding, and diastema may be related to crime scene. However, this aspect of forensic odontology has become increasingly controversial, with questions raised about its scientific validity and concerns about wrongful convictions. The investigation and analysis of bite marks found on the human body, food, and other organic or inorganic materials as evidence are the responsibilities and duties of a forensic dentist. Bite marks are the indentations left by the teeth on objects within the chewing plane when the lower jaw forcefully pushes against the upper jaw (bites). It should be clarified wether it is a bite mark and belongs to a human. In addition, fingerprints, palate marks, lip marks, cheek, ear, and nose marks are all important details to be investigated. In cases of abuse and trauma, orofacial tissue analysis helps to identify injuries and damage resulting from violence against the individual, and determines the identity of the perpetrator or victim.

Biometrics

Biometrics is the measurement of unique physical and behavioral characteristics of individuals for identification or authentication purposes. In practice, biometrics are measurements related to identification using human characteristics. Lip movements, facial expressions, signature style, heart rate, handwriting, body odor, body language, voice, and speech patterns constitute behavioral biometric features. The unique anatomy of the head and neck region contains many physical biometric features due to the specific characteristics of the face and other organs.

Conclusion

Teeth exhibit more size differences than shape differences as a manifestation of biological diversity, but these differences are a weak criterion for distinguishing biological diversity variations. The field of forensic dentistry requires additional training because it involves certain specialized topics that are not fully covered in formal dental education. Further research should be directed towards advanced methods and their applications in forensic dentistry.

References

1. Jeddy N, Ravi S, Radhika T. Current trends in forensic odontology. J Forensic Dent Sci. 2017 Sep-Dec;9(3):115-119. doi: 10.4103/jfo.jfds_85_16.PMID: 29657486 Free PMC article. Review.
2. Chidambaram R. Forensic Odontology: A Boon to Community in Medico-legal Affairs. JNMA J Nepal Med Assoc. 2016 Jan-Mar;54(201):46-54.PMID: 27935913.
3. Malik SD, Pillai JP, Malik U. Forensic genetics: Scope and application from forensic odontology perspective. J Oral Maxillofac Pathol. 2022 Oct-Dec;26(4):558-563. doi: 10.4103/jomfp.jomfp_341_21. Epub 2022 Dec 22.PMID: 37082063 Free PMC article. Review.
4. Pillai JP, Chokkalingam TS, Aasaithambi B, Nuzzolese E. Establishment of the forensic odontology department: A proposed model for the basic infrastructure and forensic odontology kit. J Forensic Dent Sci. 2019 May-Aug;11(2):64-72. doi: 10.4103/jfo.jfds_53_19. Epub 2020 Jan 24.PMID: 32082040 Free PMC article. Review.
5. Ramakrishnan K, Sharma S, Sreeja C, Pratima DB, Aesha I, Vijayabanu B. Sex determination in forensic odontology: A review. J Pharm Bioallied Sci. 2015 Aug;7(Suppl 2):S398-402. doi: 10.4103/0975-7406.163469.PMID: 26538886 Free PMC article. Review.
6. Balachander N, Babu NA, Jimson S, Priyadharsini C, Masthan KM. Evolution of forensic odontology: An overview. J Pharm Bioallied Sci. 2015 Apr;7(Suppl 1):S176-80. doi: 10.4103/0975-7406.155894.PMID: 26015703 Free PMC article. Review.
7. Babu Rs A, Rose D. Molecular Advancements in Forensic Odontology. West Indian Med J. 2015 May 11;65(2):369-374. doi: 10.7727/wimj.2014.109.PMID: 26645597
8. Garg K, Mehrotra V, Srivastava AR, Umrao S. Forensically Valuable Odonatological Records Documentation in an Era of Electronics: How Aware Are the Dental Fraternity?
9. J Pharm Bioallied Sci. 2024 Jul;16(Suppl 3):S2294-S2296. doi:10.4103/jpbs.jpbs_216_24. Epub 2024 May 22.PMID: 39346374 Free PMC article.
10. Savić Pavičin I, Jonjić A, Maretić I, Dumančić J, Zymber Çeshko A. Maintenance of Dental Records and Forensic Odontology Awareness: A Survey of Croatian Dentists with Implications for Dental Education. Dent J (Basel). 2021 Mar 25;9(4):37. doi: 10.3390/dj9040037.PMID: 33806022 Free PMC article.
11. Saxena S, Sharma P, Gupta N. Experimental studies of forensic odontology to aid in the identification process. J Forensic Dent Sci. 2010 Jul;2(2):69-76. doi: 10.4103/09751475.81285.PMID: 21731343 Free PMC article.

DENTAL RADIOLOGICAL EXAMINATION IN FORENSIC DENTISTRY

Kıvanç KAMBUROĞLU, DDS, MSc, PhD, Professor,

Ankara University, Faculty of Dentistry, Department of Dentomaxillofacial Radiology, Ankara, Turkey.

dtkivo@yahoo.com; kivanckamburoglu@gmail.com; ORCID iD: 000-0002-4134-5756

Abstract

Radiography plays a crucial and indispensable role in forensic odontology, providing objective, precise documentation of dental and skeletal anatomy that cannot be altered or misinterpreted as easily as written records. Radiographs offer several advantages such as, providing visual evidence of unique dental anatomy and restorations, recording exact morphology, positioning, and characteristics, creating permanent records enabling comparison, revealing hidden features not visible on clinical examination and eliminating subjective interpretation errors that may occur in written charts. Periapical intraoral, extraoral radiographic techniques along with advanced three-dimensional imaging methods are utilized in forensic dentistry for various purposes. This full text presentation focuses on various radiological techniques used for forensic dentistry and discusses their versatility for various tasks.

Key Words: Radiology; Radiography; Forensic; Dentistry

ADLİ DİŞ HEKİMLİĞİNDE DENTAL RADYOLOJİK MUAYENE

Özet

Radyografi, adli diş hekimliğinde çok önemli ve vazgeçilmez bir rol oynar; yazılı kayıtlar kadar kolayca değiştirilemeyen veya yanlış yorumlanamayan, diş ve iskelet anatomisinin objektif ve kesin dokümantasyonunu sağlar. Radyografiler, benzersiz diş anatomisi ve restorasyonlarının görsel kanıtını sağlamak, kesin morfoloji, konumlandırma ve özellikleri kaydetmek, karşılaştırmaya olanak tanıyan kalıcı kayıtlar oluşturmak, klinik muayenede görünmeyen gizli özellikleri ortaya çıkarmak ve yazılı çizelgelerde oluşabilecek öznel yorumlama hatalarını ortadan kaldırmak gibi çeşitli avantajlar sunar. Adli diş hekimliğinde çeşitli amaçlar için periapikal intraoral, ekstraoral radyografik teknikler ve gelişmiş üç boyutlu görüntüleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tam metin sunumu, adli diş hekimliğinde kullanılan çeşitli radyolojik tekniklere odaklanmakta ve çeşitli görevler için çok yönlülüklerini tartışmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Radyoloji; Radyografi; Adli; Diş Hekimliği

Introduction

Radiography plays a crucial and indispensable role in forensic odontology, providing objective, precise documentation of dental and skeletal anatomy that cannot be altered or misinterpreted as easily as written records. Radiographs offer several advantages over written dental records alone. First, they provide visual evidence of unique dental anatomy and restorations. Second, they are able to record exact morphology, positioning, and characteristics

Besides, it is also possible to create lasting records that can be compared years later with high details not visible on clinical examination. Finally, they are accurate and help to eliminate subjective interpretation errors which occur in written charts.

Types of Radiographic Examinations Used in Forensic Dentistry

1. Intraoral Radiographs

Periapical radiographs and bitewing films are commonly used for detailed examination of individual teeth and surrounding bone. They show complete tooth structure from crown to root apex. They are able to reveal restorations, root canal treatments, and periapical pathology. They can display trabecular bone patterns unique to individuals. However; use of intraoral images can be challenging in postmortem cases with restricted mouth opening (may require soft tissue removal).

2. Extraoral Radiographs

Panoramic radiographs (Orthopantomograms - OPG) are able to provide a complete view of teeth and both jaws in a single image. They are considered most important antemortem source of information after written treatment records. Particularly they are useful for mass disaster victim identification. Panoramic imaging requires proper positioning and specimens must be elevated, articulated, and oriented with the occlusal plane parallel to the ground Typical settings are 8 mA at 80 kVp for postmortem specimens.

Lateral cephalometric radiographs are used for skull superimposition with antemortem radiographs or photographs. They are helpful for sex determination based on skull morphology

Frontal sinus radiographs are particularly valuable because frontal sinuses show the greatest normal variation among individuals. They are classified based on size, bilateral asymmetry, outline, and presence of septa. They are also used for superimposition identification.

3. Advanced Imaging Techniques

Computed Tomography (CT) and Multislice CT is modern standard for comprehensive forensic examination. Full body scan of a gunshot wound victim takes approximately 60 seconds providing a non-destructive documentation process. It is considered more precise than a standard autopsy in some respects. It is also possible to detect bullets, foreign bodies, and fractures with exceptional detail.

CT scanners have evolved through four stages, from their initial design where the patient rotated along with the X-ray source, to their current stage featuring stationary detectors in a circular arrangement that capture the beams of light scattered from the X-ray source as the patient rotates. Spiral (helical) CT was designed in 1989, and as the patient moves continuously along the gantry, the x-ray source rotates around the patient in the same direction, simultaneously with the patient.

Cone Beam Computed Tomography (CBCT)is now increasingly used in postmortem imaging. It provides 3D visualization of dental and maxillofacial structures with lower radiation dose compared to medical CT.

Figure 1: Photography of some tools explaining comparison of two-dimensional and three- dimensional views.

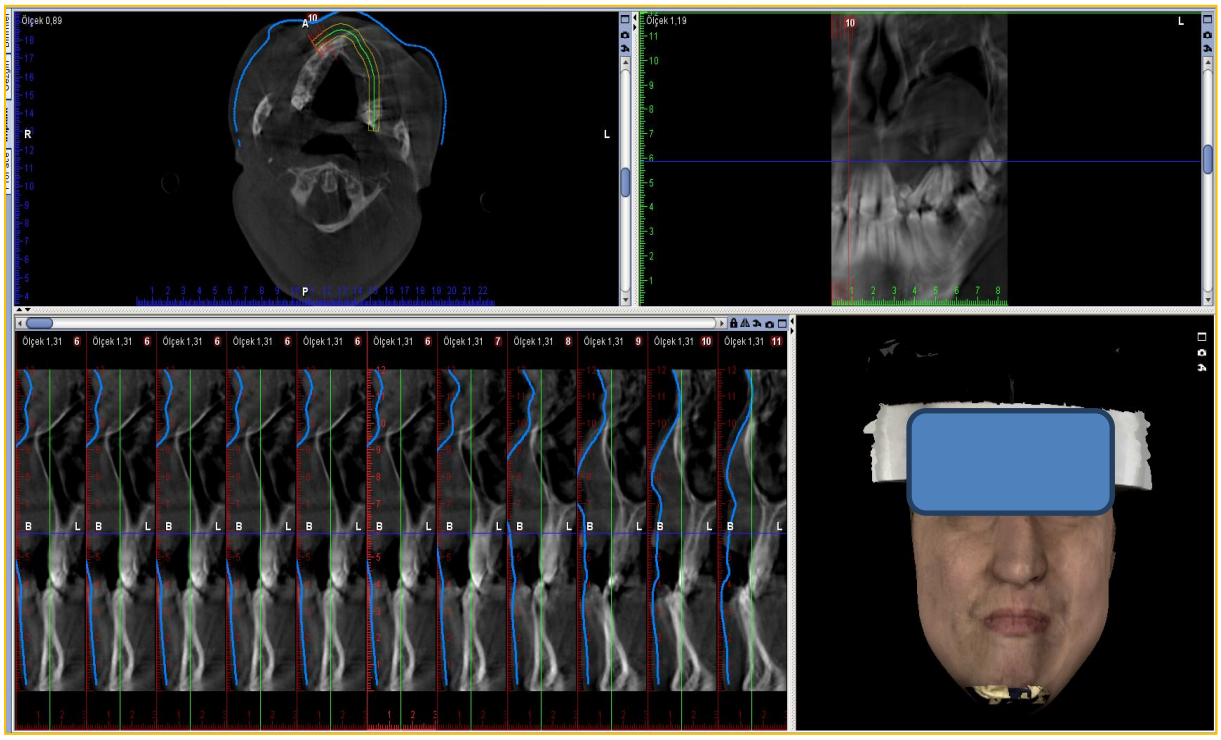


Figure 2: CBCT taken from a patient showing multiplanar reconstructions.

The Comparison Process: Antemortem vs. Postmortem Radiographs

The fundamental principle of radiographic identification is achieving "identical projection" - postmortem radiographs must be taken with similar magnification, identical exposure factors, same angulations and comparable positioning. Paralleling Technique (Long Cone Technique) is the preferred modality as it is easier to direct central ray in comparison to imaginary bisecting technique. They cause minimal distortion and they are reproducible. However, assembly of equipment may be difficult, some patients unable to tolerate equipment. With paralleling technique cone cut artifacts are less, images are sharper, real size without elongation and patients are exposed to less radiation.

Age Estimation from Radiographs

In children: Assessment of tooth development stages and eruption status. In adults: Measurement of pulp-to-root ratio (pulp chamber decreases with age due to secondary dentin deposition). Kvaal's method: Measuring pulp size from periapical radiographs

Sex Determination: Lateral cephalometric analysis of skull super-structures. Male skulls show more robust features, larger mastoid processes, prominent superciliary arches. Morphometric traits of intracranial structures

Bite Mark Evidence

Impressions made with dental modeling wax and filled with radiopaque dental alloy. Radiographed to show tooth position and features. X-ray beam directed at right angles with at least 40 cm anode-film distance.

Mass Disaster Screening

X-ray security scanning systems can be adapted for screening where space is limited. It operates at 160 kVp for rapid assessment.

Digital Subtraction Radiography

It is another technique suggested for use in forensic identification. It corrects variations in exposure geometry and density. Subtractions performed between identical images (same individual) vs. non-identical images (different individuals). Quantitative analysis shows identical radiographs produce significantly more homogeneous subtraction images. Particularly useful with bitewing radiographs.

The success of forensic dental identification depends heavily on comprehensive antemortem records. According to ADA standards, dental records should include detailed charting, treatment history, and radiographs. Records must be stored for extended periods (minimum 5 years in most jurisdictions). The Antemortem Forensic Dental Data Set consists of six components: Familial Data Set, Dental History, Tooth Data, Mouth Data, Visual Images and Radiographic Images. Without accurate and complete dental records, forensic identification becomes extremely difficult or impossible.

Conclusion and Future Perspectives

Forensic dentistry and dental radiological examination represent sophisticated, scientifically-grounded disciplines that play an indispensable role in modern forensic science.

The unique, durable, and highly individualistic nature of dental structures, combined with the precision of radiographic documentation, makes dental evidence one of the most reliable methods for human identification.

As the field continues to advance with new technologies and standardized protocols, forensic odontology will remain a cornerstone of medicolegal investigation, serving justice while providing closure to families of victims in tragic circumstances.

The field continues to evolve, with emphasis on standardization, quality assurance, and scientific validation of methods to ensure reliable identification and prevent wrongful convictions. Digital radiography with enhanced manipulation capabilities, 3D imaging and reconstruction, automated comparison software, integration of dental data with DNA databases and improved age estimation algorithms require more advanced research

References

1. Kamburoğlu K. Role of dentomaxillofacial radiology in forensic dentistry. World J Radiol. 2026 Jan 28;18(1):114957. doi: 10.4329/wjr.v18.i1.114957.PMID: 41640704 Free PMC article. Review.
2. Nicopoulou-Karayianni K, Mitsea AG, Horner K. Dental diagnostic radiology in the forensic sciences: two case presentations. J Forensic Odontostomatol. 2007 Jun;25(1):12-6.PMID: 17577973 Free article.
3. Kim J, Evans N, Jiang H, Milne N, Soon A. Utilisation of non-dental radiographs in forensic dental identification of unknown human remains: a Queensland case series. J Forensic Odontostomatol. 2025 Dec 24;43(3):59-66. doi:10.5281/zenodo.17776370.PMID: 41452805 Free PMC article.
4. Forrest AS.Collection and recording of radiological information for forensic purposes. Aust Dent J. 2012 Mar;57 Suppl 1:24-32. doi: 10.1111/j.1834 7819.2011.01658.x.PMID: 22376094 Free article.
5. Kamburoğlu K. Trends in dentomaxillofacial radiology. World J Radiol. 2025 Jan 28;17(1):97255. doi: 10.4329/wjr.v17.i1.97255.PMID: 39876885 Free PMC article. Review.
6. Prokurat M, Słomian M, Grudnik KE, Grudnik M, Jagielski M, Budzik M, Lau K, Kasperczyk J. The role of dentistry in forensic medicine: the process of human remains identification. Pol Merkur Lekarski. 2024;52(4):466-471. doi: 10.36740/Merkur202404114.PMID: 39360730 Review.
7. Issrani R, Prabhu N, Sghaireen MG, Ganji KK, Alqahtani AMA, ALJamaan TS, Alanazi AM, Alanazi SH, Alam MK, Munisekhar MS. Cone-Beam Computed Tomography: A New Tool on the Horizon for Forensic Dentistry. Int J Environ Res Public Health. 2022 Apr 28;19(9):5352. doi: 10.3390/ijerph19095352.PMID: 35564747 Free PMC article. Review.
8. Yazdanian M, Karami S, Tahmasebi E, Alam M, Abbasi K, Rahbar M, Tebyaniyan H, Ranjbar R, Seifalian A, Yazdanian A. Dental Radiographic/Digital Radiography Technology along with Biological Agents in Human Identification. Scanning. 2022 Jan 18;2022:5265912. doi: 10.1155/2022/5265912. eCollection 2022.PMID: 35116089 Free PMC article. Review.
9. Alexander CJ, Foote GA. Radiology in forensic identification: the Mt Erebus disaster.

Australas Radiol. 1998 Nov;42(4):321-6. doi: 10.1111/j.1440 1673.1998.tb00531.x.PMID: 9833369.

10. Emam NM. Role of Forensic Odontology in Identification of Persons: A Review Article.

Cureus. 2024 Mar 20;16(3):e56570. doi: 10.7759/cureus.56570. eCollection 2024 Mar.PMID: 38523878 Free PMC article. Review.

DENTOMAKSİLLOFASİYAL BÖLGEDE SHEAR WAVE ELASTOGRAFİ: GÜNCEL UYGULAMA ALANLARI VE KLİNİK KULLANIMA GEÇİŞ ENGELLERİ

Arş. Gör. Mert Can KITOĞLU / Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Tevfik GÜLŞEN

1[Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi AD., m.kitoglu@gmail.com , 0009-0006-8383-9179]

2[Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi AD., ibrahimtevfikgulsen@gmail.com, 0000-0002-1014-4417]

Özet

Giriş ve Amaç: Shear wave elastografi (SWE), doku sertliğini kantitatif ve büyük ölçüde uygulayıcıdan bağımsız biçimde ölçebilen ultrasonografi temelli bir görüntüleme yöntemidir. Konvansiyonel B-mod ultrasonografinin morfolojik değerlendirmeyle sınırlı kaldığı durumlarda doku elastisitesini ölçülebilir bir biyobelirteç olarak sunar. Bu derlemenin amacı, SWE'nin dentomaksillofasiyal radyoloji pratiğindeki güncel uygulama alanlarını derlemek ve rutin klinik kullanıma geçişteki engelleri değerlendirmektir. **Gereç ve Yöntem:** PubMed veri tabanı, "Elasticity Imaging Techniques" terimi ile elastography ve sonoelastography serbest metin terimlerinin dentomaksillofasiyal anatomik yapı ve patolojilere ilişkin terimlerle kesiştirilmesi yoluyla, İngilizce yayımlanmış insan çalışmaları ve 2010–2026 tarih aralığı sınırlamasıyla taranmıştır. **Bulgular:** Tarama 216 kayıt döndürdü. Tema bazında dağılım majör tükürük bezleri (n=142), çiğneme kasları (n=47), oral mukoza ve dil (n=20), temporomandibular eklem (n=18) ve periodontal/peri-implant dokular (n=13) şeklindeydi; temalar birbirini dışlamamaktadır. Bruksizm ve miyofasiyal ağrılı temporomandibular disfonksiyonda masseter sertliğinin arttığı bildirilmiş; ancak güncel meta-analizler istirahat hâlindeki ölçümlerde yüksek heterojenite, kontraksiyon hâlindeki ölçümlerde ise tutarlı fark saptamıştır. Temporomandibular eklem diski için normatif değerler yayımlanmış, ancak standart sapmalar geniştir. Tükürük bezlerinde Sjögren sendromu tanısında yüksek doğruluk bildirilmekle birlikte, çalışmalar arasında eşik değerler hem birim hem büyüklük olarak farklılık göstermektedir. Periodontal ve peri-implant dokularda literatür büyük ölçüde strain elastografi ile sınırlıdır.

Sonuç: SWE, dentomaksillofasiyal bölgede yumuşak dokuların radyasyonsuz değerlendirilmesinde umut vermektedir. Ancak literatür ağırlıklı olarak tek bir organ grubunda yoğunlaşmış olup, ölçüm protokollerinin standardizasyonu ve normatif veri oluşturulması öncelikli gereksinimdir.

Anahtar kelimeler: Shear wave elastografi, ultrasonografi, dentomaksillofasiyal radyoloji, çiğneme kasları, tükürük bezleri

SHEAR WAVE ELASTOGRAPHY IN THE DENTOMAXILLOFACIAL REGION: CURRENT APPLICATIONS AND BARRIERS TO CLINICAL TRANSLATION

Abstract

Introduction and Aim: Shear wave elastography (SWE) is an ultrasound-based imaging modality that measures tissue stiffness quantitatively and largely independent of the operator. It provides tissue elasticity as a measurable biomarker in situations where conventional B-mode ultrasonography is limited to morphological evaluation. The aim of this review is to compile the current application areas of SWE in dentomaxillofacial radiology practice and to evaluate the barriers to its transition into routine clinical use. **Materials and Methods:** The PubMed database was searched by intersecting the term "Elasticity Imaging Techniques" and the free-text terms elastography and sonoelastography with terms related to dentomaxillofacial anatomical structures and pathologies, restricted to human studies published in English and a date range of 2010–2026. **Results:** The search yielded 216 records. The thematic distribution was major salivary glands (n=142), masticatory muscles (n=47), oral mucosa and tongue (n=20), temporomandibular joint (n=18), and periodontal/peri-implant tissues (n=13); the themes are not mutually exclusive. Increased masseter stiffness has been reported in bruxism and temporomandibular dysfunction with myofascial pain; however, current meta-analyses have found high heterogeneity in resting measurements and a consistent difference in contraction measurements. Normative values have been published for the temporomandibular joint disc, but standard deviations are wide. Although high accuracy is reported in the diagnosis of Sjögren's syndrome in salivary glands, threshold values vary across studies in both unit and magnitude. In periodontal and peri-implant tissues, the literature is largely limited to strain elastography.

Conclusion: SWE is promising in the radiation-free evaluation of soft tissues in the dentomaxillofacial region. However, the literature is predominantly concentrated on a single organ group, and the standardization of measurement protocols and the establishment of normative data are primary requirements.

Keywords: Shear wave elastography, ultrasonography, dentomaxillofacial radiology, masticatory muscles, salivary glands

YARIK DAMAK ONARIMI GEÇİRMİŞ 6–10 YAŞ ARASI ÇOCUKLARDA ARTİKÜLASYON BOZUKLUKLARI VE VELOFARİNGEAL FONKSİYONUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Agit ŞİMŞEK[1]/ Melike ALTUNTOP[2]/ Sümeyye Sıla TOSUN[3]

[1] İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü. 0000-0003-1572-1188. agit.simsek@inonu.edu.tr

[2] İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü. 0009-0000-5401-0579. altuntoppmelike@hotmail.com

[3] İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü. 0009-0004-7566-4490. Tosunsila54@gmail.com

Özet

Amaç: Yarık damak, çocukluk döneminde konuşma üretimini ve rezonansı etkileyebilen önemli kraniyofasiyal anomalilerden biridir. Cerrahi onarım anatomik bütünlüğün sağlanmasında temel bir tedavi yaklaşımı olmakla birlikte, bazı çocuklarda cerrahi sonrasında artikülasyon bozuklukları ve velofaringeal fonksiyonla ilişkili konuşma sorunları devam edebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, yarık damak onarımı geçirmiş 6–10 yaş arası çocuklarda artikülasyon bozukluklarının özelliklerini ve velofaringeal fonksiyonla ilişkisini değerlendirmektir.

Yöntem: Çalışmaya yarık damak onarımı geçirmiş, 6–10 yaş aralığında toplam 15 çocuk (8 kız, 7 erkek; yaş ortalaması: 8,2 ± 1,4 yıl) dahil edilmiştir. Artikülasyon becerileri Ankara Artikülasyon Testi, resim adlandırma ve spontan konuşma örnekleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Gözlenen artikülasyon hataları kompansatuvar artikülasyonlar, pasif artikülasyon hataları, ses değişimleri ve diğer artikülatuvar hatalar şeklinde sınıflandırılmıştır. Velofaringeal fonksiyon; konuşma sırasında algısal rezonans özellikleri, hipernazalite ve nazal emisyon bulguları temelinde klinik olarak değerlendirilmiştir. Veriler tanımlayıcı istatistikler kullanılarak analiz edilmiş, artikülasyon bulguları ile velofaringeal fonksiyon arasındaki ilişki uygun istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir.

Bulgular: Katılımcıların %86,7'sinde (n=13) en az bir artikülasyon hatası saptanmıştır. En sık gözlenen bulgular kompansatuvar artikülasyonlar ve nazal emisyon olmuştur. Kompansatuvar artikülasyonlar özellikle gırtlak ve farengeal üretimler şeklinde gözlenmiştir. En sık etkilenen ses grupları dişyuvasıl sesler (/s/, /z/, /t/, /d/) ile dişyuvası-damaksıl sesler (/ş/, /j/) olmuştur. Velofaringeal fonksiyon bozukluğu ile uyumlu konuşma bulguları gösteren çocuklarda kompansatuvar artikülasyonların daha sık gözlendiği belirlenmiştir. Bulgular, velofaringeal fonksiyondaki yetersizlik ile artikülasyon örüntüleri arasında klinik olarak anlamlı bir ilişki olabileceğine işaret etmektedir.

Sonuç: Yarık damak onarımı geçirmiş çocuklarda cerrahi sonrasında da artikülasyon ve rezonansla ilişkili konuşma sorunları devam edebilmektedir. Özellikle kompansatuvar artikülasyon örüntüleri ve nazal emisyon, klinik değerlendirmede dikkatle ele alınması gereken bulgular olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle yarık damaklı çocukların cerrahi sonrasında yalnızca yapısal açıdan değil, konuşma üretimi ve velofaringeal fonksiyon açısından da düzenli olarak değerlendirilmesi önemlidir. Konuşma ve dil terapistleri, kulak burun boğaz uzmanları, plastik cerrahlar ve ilgili diğer sağlık profesyonellerini içeren multidisipliner takip, bireyselleştirilmiş müdahale planlarının oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Yarık Damak, Artikülasyon Bozukluğu, Velofaringeal Fonksiyon, Kompansatuvar Artikülasyon, Nazal Emisyon, Konuşma Bozuklukları

EVALUATION OF ARTICULATION DISORDERS AND VELOPHARYNGEAL FUNCTION IN CHILDREN AGED 6–10 YEARS WITH REPAIRED CLEFT PALATE

Abstract

Objective: Cleft palate is an important craniofacial anomaly that may affect speech production and resonance during childhood. Although surgical repair is essential for restoring anatomical integrity, articulation disorders and speech difficulties associated with velopharyngeal function may persist in some children following surgery. This study aimed to evaluate the characteristics of articulation disorders and their relationship with velopharyngeal function in children aged 6–10 years with repaired cleft palate.

Methods: A total of 15 children with repaired cleft palate aged between 6 and 10 years (8 girls and 7 boys; mean age: 8.2 ± 1.4 years) were included in the study. Articulation skills were evaluated using the Ankara Articulation Test, picture-naming tasks, and spontaneous speech samples. Observed articulation errors were classified as compensatory articulations, passive articulation errors, sound substitutions or distortions, and other articulatory errors. Velopharyngeal function was clinically evaluated based on perceptual resonance characteristics, hypernasality, and the presence of nasal emission during speech. Data were analyzed using descriptive statistics, and the relationship between articulation findings and velopharyngeal function was examined using appropriate statistical methods.

Results: At least one articulation error was identified in 86.7% of the participants (n=13). Compensatory articulations and nasal emission were the most frequently observed findings. Compensatory articulations were primarily characterized by glottal and pharyngeal productions. The most frequently affected sound groups were alveolar consonants (/s/, /z/, /t/, /d/) and postalveolar consonants corresponding to the Turkish sounds /ş/ and /j/. Compensatory articulations were more frequently observed among children demonstrating speech findings consistent with impaired velopharyngeal function. These findings suggest a clinically relevant association between velopharyngeal function and articulation patterns.

Conclusion: Articulation and resonance-related speech difficulties may persist following cleft palate repair. Compensatory articulation patterns and nasal emission appear to be particularly important findings requiring careful clinical assessment. Therefore, children with repaired cleft palate should be regularly evaluated after surgery not only in terms of structural outcomes but also regarding speech production and velopharyngeal function. A multidisciplinary follow-up approach involving speech and language therapists, otolaryngologists, plastic surgeons, and other relevant health professionals may contribute to the development of individualized assessment and intervention plans.

Keywords: *cleft palate, articulation disorders, velopharyngeal function, compensatory articulation, nasal emission, speech disorders*

SEREBRAL PALSİLİ ÇOCUKLARDA KONUŞMA MOTOR PERFORMANSI VE ARTİKÜLASYON ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Agit ŞİMŞEK[1]/ Sümeyye Sıla TOSUN[2]/ Melike ALTUNTOP[3]

[1] İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü. 0000-0003-1572-1188. agit.simsek@inonu.edu.tr

[2] İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü. 0009-0004-7566-4490. tosunsila54@gmail.com

[3]İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü. 0009-0000-5401-0579. altuntoppmelike@hotmail.com

Özet

Amaç: Serebral palsi (SP), motor işlevleri etkileyen ve konuşma üretiminde görev alan kasların koordinasyonu, hızı ve kontrolünde güçlüklerle ilişkili olabilen nörogelişimsel bir durumdur. Bu çalışmanın amacı, SP'li çocukların artikülasyon özelliklerini ve konuşma motor performanslarını tipik gelişim gösteren akranlarıyla karşılaştırmak ve artikülasyon hataları ile konuşma motor performansı arasındaki ilişkiyi incelemektir.

Yöntem: Bu pilot çalışmaya, 6–12 yaş arasında SP tanısı bulunan 12 çocuk ile yaş ve cinsiyet açısından eşleştirilmiş 12 tipik gelişim gösteren çocuk olmak üzere toplam 24 çocuk dahil edilmiştir. Katılımcıların artikülasyon becerileri Ankara Artikülasyon Testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Konuşma motor performansı; diyadokokinezi hızı, maksimum fonasyon süresi ve konuşma hızı üzerinden incelenmiştir. Artikülasyon hataları bozulma, yer değiştirme, çıkarma ve ekleme olarak sınıflandırılmıştır. Grupların karşılaştırılmasında bağımsız örneklemler t-testi ve tanımlayıcı istatistikler kullanılmıştır.

Bulgular: SP grubundaki çocukların %83,3'ünde (n=10) en az bir artikülasyon hatası saptanmıştır. En sık gözlenen hata türü bozulma, ikinci en sık hata türü ise yer değiştirme olmuştur. Özellikle dişyuvasıl ve akıcı seslerde daha fazla artikülasyon hatası gözlenmiştir. SP grubunun diyadokokinezi hızı (5,2±1,1 hece/sn), kontrol grubuna (7,8±0,9 hece/sn) göre anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur ($p<0,01$). Maksimum fonasyon süresi de SP grubunda (8,4±2,3 sn), kontrol grubuna (14,6±2,8 sn) kıyasla anlamlı düzeyde daha kısa bulunmuştur ($p<0,01$). Bulgular, SP'li çocuklarda konuşma motor performansındaki yetersizliklerin artikülasyon performansındaki bozulmalarla birlikte görülebildiğini göstermektedir.

Sonuç: SP'li çocuklarda artikülasyon hatalarının ve konuşma motor performansındaki yetersizliklerin tipik gelişim gösteren akranlara göre daha belirgin olduğu görülmüştür. Özellikle diyadokokinezi hızı ve fonasyon süresindeki farklılıklar, konuşma üretiminde motor kontrolün önemine işaret etmektedir. SP'li çocukların

değerlendirilmesinde artikülasyon becerilerinin yanı sıra konuşma motor performansının da dikkate alınması, bireyselleştirilmiş değerlendirme ve müdahale süreçlerine katkı sağlayabilir. Daha geniş örneklemlerle yapılacak çalışmaların bu bulguları doğrulaması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Serebral palsi, konuşma motor performansı, artikülasyon, dizartri, çocukluk çağı konuşma bozuklukları

EVALUATİON OF SPEECH MOTOR PERFORMANCE AND ARTİCULATİON CHARACTERİSTİCS İN CHİLDREN WİTH CEREBRAL PALSY

Abstract

Objective: Cerebral palsy (CP) is a neurodevelopmental condition that affects motor function and may be associated with difficulties in the coordination, speed, and control of muscles involved in speech production. This study aimed to compare articulation characteristics and speech motor performance in children with CP and their typically developing peers and to examine the relationship between articulation errors and speech motor performance.

Methods: This pilot study included 24 children aged 6–12 years, consisting of 12 children diagnosed with CP and 12 age- and sex-matched typically developing children. Articulation skills were assessed using the Ankara Articulation Test. Speech motor performance was evaluated based on diadochokinetic rate, maximum phonation duration, and speech rate. Articulation errors were classified as distortions, substitutions, omissions, and additions. Descriptive statistics and independent-samples t-tests were used for group comparisons.

Results: At least one articulation error was identified in 83.3% (n=10) of the children with CP. Distortions were the most frequently observed error type, followed by substitutions. Articulation errors were particularly common in alveolar and liquid sounds. The diadochokinetic rate was significantly lower in the CP group (5.2±1.1 syllables/s) than in the control group (7.8±0.9 syllables/s; $p<0.01$). Maximum phonation duration was also significantly shorter in the CP group (8.4±2.3 s) compared with the control group (14.6±2.8 s; $p<0.01$). These findings suggest that reduced speech motor performance may coexist with impaired articulation performance in children with CP.

Conclusion: Children with CP demonstrated more pronounced articulation errors and poorer speech motor performance compared with their typically developing peers. Differences in diadochokinetic rate and maximum phonation duration highlight the importance of motor control in speech production. Incorporating speech motor performance alongside articulation assessment may contribute to individualized assessment and intervention planning for children with CP. Further studies with larger samples are needed to confirm these findings.

Keywords: Cerebral palsy, speech motor performance, articulation, dysarthria, childhood speech disorders

FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ÖĞRENCİLERİNDE YAPAY ZEKÂ OKURYAZARLIĞININ YAPAY ZEKÂ KAYGISI VE ÇEVRİMİÇİ ÖĞRENMEYE HAZIR BULUNUŞLUK İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Fzt, Çağla SOYCAN[1], Dr.Öğr.Üyesi, Gönül ERTUNÇ GÜLÇELİK[2]

[1]Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Kocaeli, Türkiye. E-posta: 250407004@kocaelisaglik.edu.tr , ORCID: 000900097869793X

[2]Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Kocaeli, Türkiye. E-posta: gonul.ertunc@kocaelisaglik.edu.tr , ORCID: 0000000283191599

Özet

Bu çalışmanın amacı, fizyoterapi ve rehabilitasyon öğrencilerinin yapay zekâ okuryazarlığı, yapay zekâ kaygısı ve çevrimiçi öğrenmeye hazır bulunuşluk düzeylerini belirlemek ve bu değişkenler arasındaki ilişkileri incelemektir. Kesitsel olarak gerçekleştirilen araştırmaya Fizyoterapi ve Rehabilitasyon alanında lisans ve yüksek lisans düzeyinde öğrenim gören 29 öğrenci dahil edildi. Veriler Demografik Bilgi Formu, Yapay Zekâ Okuryazarlığı Ölçeği, Yapay Zekâ Kaygı Ölçeği ve Çevrimiçi Öğrenmeye Yönelik Hazır Bulunuşluk Ölçeği kullanılarak toplandı. Değişkenler arasındaki ilişkiler Spearman korelasyon analizi ile değerlendirildi ve istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edildi. Katılımcıların %55,2'sinin yapay zekâ araçlarını her gün veya hemen hemen her gün, %93,1'inin ise eğitim veya akademik amaçlarla kullandığı belirlendi. Buna karşın, yalnızca %20,7'sinin daha önce yapay zekâ konusunda eğitim, kurs veya seminere katıldığı saptandı. Yapay Zekâ Okuryazarlığı Ölçeği toplam puanı 48,48±6,38, Yapay Zekâ Kaygı Ölçeği toplam puanı 40,31±11,18 ve Çevrimiçi Öğrenmeye Yönelik Hazır Bulunuşluk Ölçeği toplam puanı 70,62±9,74 olarak bulundu. Yapay zekâ okuryazarlığı ile yapay zekâ kaygısı arasında negatif (r_s=-0,723; $p<0,001$), çevrimiçi öğrenmeye hazır bulunuşluk arasında ise pozitif yönde anlamlı ilişki bulundu (r_s=0,626; $p<0,001$). Yapay zekâ kaygısı ile çevrimiçi öğrenmeye hazır bulunuşluk arasında da negatif yönde anlamlı ilişki saptandı (r_s=-0,621; $p<0,001$). Sonuç olarak, fizyoterapi ve rehabilitasyon öğrencilerinde yüksek yapay zekâ okuryazarlığının daha düşük yapay zekâ kaygısı ve daha yüksek çevrimiçi öğrenmeye hazır bulunuşluk ile ilişkili olduğu belirlendi. Öğrencilerin yapay zekâyı bilinçli, etik ve güvenli kullanımlarını destekleyecek yapılandırılmış eğitimlerin artırılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ okuryazarlığı, yapay zekâ kaygısı, çevrimiçi öğrenmeye hazır bulunuşluk, fizyoterapi ve rehabilitasyon

THE RELATIONSHIP OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE LITERACY WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE ANXIETY AND ONLINE LEARNING READINESS AMONG PHYSIOTHERAPY AND REHABILITATION STUDENTS

Abstract

This study aimed to determine the levels of artificial intelligence (AI) literacy, AI anxiety, and online learning readiness among physiotherapy and rehabilitation students and to examine the relationships between these variables. This cross-sectional study included 29 undergraduate and graduate students studying in the field of Physiotherapy and Rehabilitation. Data were collected using the Demographic Information Form, Artificial Intelligence Literacy Scale, Artificial Intelligence Anxiety Scale, and Online Learning Readiness Scale. Relationships between the variables were evaluated using Spearman correlation analysis, with the level of statistical significance set at $p<0.05$. Of the participants, 55.2% reported using AI tools every day or almost every day, and 93.1% reported using these tools for educational or academic purposes. In contrast, only 20.7% had previously attended AI-related training, courses, or seminars. The total scores were 48.48±6.38 for AI literacy, 40.31±11.18 for AI anxiety, and 70.62±9.74 for online learning readiness. AI literacy was significantly and negatively correlated with AI anxiety ($r_s=-0.723$; $p<0.001$) and significantly and positively correlated with online learning readiness ($r_s=0.626$; $p<0.001$). A significant negative correlation was also found between AI anxiety and online learning readiness ($r_s=-0.621$; $p<0.001$). In conclusion, higher AI literacy among physiotherapy and rehabilitation students was associated with lower AI anxiety and greater online learning readiness. Structured educational programs that promote the conscious, ethical, and safe use of AI among students are recommended.

Keywords: Artificial intelligence literacy, artificial intelligence anxiety, online learning readiness, physiotherapy and rehabilitation

HİYERARŞİK KARŞITLIK ÖĞRENMELİ DEĞİŞTİRİLMİŞ ÇIKARMA-ORTALAMA TABANLI OPTİMİZATÖR (MSHO) KULLANILARAK IEEE 33 BARALI DAĞITIM SİSTEMİNDE ÇOK AMAÇLI OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

Dr. Öğretim Üyesi, Bekir Emre ALTUN[1]/ Dr. Öğretim Üyesi, Feyyaz ALPSALAZ[2] / Dr. Öğretim Üyesi, Hasan UZEL[3]

[1] Amasya University, Vocational School of Technical Sciences, Department of electricity and Energy, emre.altun@amasya.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-1176-0035

[2] Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Artificial Intelligence and Machine Learning, feyyaz.alpsalaz@amasya.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-7695-6426

[3] Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Artificial Intelligence and Machine Learning, hasan.uzel@amasya.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-8238-2588

Özet

Bu çalışmada, Hiyerarşik Karşıtlık Öğrenmeli Değiştirilmiş Çıkarma-Ortalama Tabanlı Optimizasyon Algoritması (MSHO) önerilmiş ve geliştirilmiş IEEE 33 baralı dağıtım sisteminin çok amaçlı optimal güç akışı (OPF) problemine uygulanmıştır. MSHO, yakın zamanda geliştirilen SABO algoritmasını, her iterasyonda popülasyonun belirli bir bölümünü karşıtlık tabanlı eşdeğerleriyle yeniden değerlendiren hiyerarşik karşıtlık öğrenme (HOL) mekanizmasıyla güçlendirmektedir. Bu mekanizma, fonksiyon değerlendirme bütçesini artırmadan çözüm çeşitliliğini iyileştirmektedir. Çalışmada üretim maliyeti ($/h), aktif güç kaybı (MW) ve bara gerilim sapması (p.u.) olmak üzere üç amaç eş zamanlı olarak en aza indirilmiştir. %0, %21 ve %30 dağıtık üretim (DG) penetrasyonu altında gerçekleştirilen testler, MSHO'nun PSO, SABO ve HWGOA (Hibrit Balina–Gri Kurt Optimizasyon Algoritması) yöntemlerinden tutarlı biçimde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. MSHO, %30 DG penetrasyonu durumunda 1081,40 $/h üretim maliyeti, 0,1207 MW aktif güç kaybı ve 0,9387 p.u. minimum bara gerilimi elde ederek PSO'ya kıyasla maliyeti %3,79 oranında azaltmıştır. Otuz bağımsız çalıştırma üzerinden gerçekleştirilen Wilcoxon işaretli sıralar testleri, tüm karşılaştırma yöntemlerine göre elde edilen üstünlüğün $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu doğrulamıştır.

Anahtar kelimeler: Optimal güç akışı, çıkarma-ortalama tabanlı optimizasyon algoritması, karşıtlık öğrenme, IEEE 33 baralı sistem, dağıtık üretim, çok amaçlı optimizasyon.

MULTI-OBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW IN IEEE 33-BUS DISTRIBUTION SYSTEM USING MODIFIED SUBTRACTION-AVERAGE BASED OPTIMIZER WITH HIERARCHICAL OPPOSITION LEARNING (MSHO)

Abstract

This paper introduces the Modified Subtraction-Average Based Optimizer with Hierarchical Opposition Learning (MSHO) and applies it to multi-objective optimal power flow (OPF) on the enhanced IEEE 33-bus distribution system. MSHO augments the recently proposed SABO algorithm with a hierarchical opposition-learning (HOL) mechanism that re-evaluates a fraction of the population against their opposition-based counterparts at each iteration, improving solution diversity without increasing the function-evaluation budget. Three objectives are minimised concurrently: generation cost ($/h), active-power loss (MW), and bus voltage deviation (p.u.). Tests under 0%, 21%, and 30% DG penetration show that MSHO consistently outperforms PSO, SABO, and HWGOA (Hybrid Whale–Grey Wolf Optimization Algorithm). At 30% DG it achieves a generation cost of 1081.40 $/h, an active-power loss of 0.1207 MW, and a minimum bus voltage of 0.9387 p.u., reducing cost by 3.79% over PSO. Wilcoxon signed-rank tests across 30 independent runs confirm statistical significance at $p < 0.05$ against all baselines.

Keywords: Optimal power flow, subtraction-average based optimizer, opposition learning, IEEE 33-bus, distributed generation, multi-objective optimization.

1. INTRODUCTION

Integrating distributed generation (DG) into medium-voltage feeders has changed the nature of distribution-level optimal power flow. The problem is no longer purely an economic dispatch exercise; it simultaneously involves minimising network losses, maintaining bus voltages inside a narrow band, and managing the increased complexity that bidirectional power flows introduce. Classical gradient-based solvers struggle in this setting because the objective landscape is non-convex and the constraint set includes discrete switching variables that violate smoothness assumptions (Kennedy & Eberhart, 1995).

Population-based metaheuristics have therefore become the standard tool for this class of problem. Particle Swarm Optimization (Sayed et al., 2018), the Whale Optimization Algorithm (Tizhoosh, 2005), and the Grey Wolf Optimizer (Trojovský & Dehghani, 2023) have all been applied to distribution OPF with competitive results. The Subtraction-Average Based Optimizer (SABO), proposed by Trojovský and Dehghani, is a recent addition that uses pairwise subtraction and arithmetic means to generate candidate moves, demonstrating strong performance on benchmark functions with a simple parameter-free update rule. Its application to power system OPF has not yet been widely explored, representing an opportunity for a well-motivated extension.

A well-known limitation of standard SABO is its tendency to lose population diversity when the swarm clusters around a promising region too early. Opposition-based learning (OBL) addresses this by introducing opposite-point estimates that expand the effective sampling radius (Altun et al., 2024). Hierarchical OBL (HOL) extends this idea by applying opposition at multiple resolution levels within the same iteration, yielding broader coverage of the search space without additional fitness evaluations (Ukut et al., 2023).

This paper proposes MSHO, which embeds HOL into SABO's update cycle at a fixed rate of 30% of the population per iteration (Capitanescu et al., 2011). The enhanced algorithm is evaluated on the enhanced IEEE 33-bus benchmark (Mirjalili & Lewis, 2016) and compared against PSO, SABO, and the HWGOA hybrid reported in our earlier work (Dolatabadi et al., 2021). The rest of the paper is structured as follows: Section 2 describes the OPF formulation; Section 3 presents MSHO; Section 4 covers the experimental setup; Section 5 reports and discusses results; Section 6 concludes.

2. PROBLEM FORMULATION

The multi-objective OPF problem addressed here involves three competing criteria that cannot be simultaneously minimised at a single operating point. A weighted-sum scalarisation converts the vector-valued problem into a tractable scalar fitness:

$$F = w_1 \cdot \tilde{F}_1 + w_2 \cdot \tilde{F}_2 + w_3 \cdot \tilde{F}_3 \quad (w_1 = 0.40, w_2 = 0.30, w_3 = 0.30) \qquad (1)$$

where each $\tilde{F}_i$ is the raw objective divided by its base-case reference, making all terms dimensionless and comparable. Weights $w_1 = 0.40$, $w_2 = 0.30$, $w_3 = 0.30$ sum to unity and reflect the relative priority of economic dispatch over power quality metrics, consistent with market-operated distribution grids (Mirjalili et al., 2014). The three objectives are defined as follows. F_1 is the total quadratic generation cost ($/h) of the five generating units; for each unit m the contribution is $a_m P_m^2 + b_m P_m + c_m$, where the substation coefficients are (a=0.0003, b=12.00, c=240) and each DG unit carries (a=0.0026, b=10.26, c=210). F_2 is the total I^2R resistive loss summed across all 32 branches, computed from the post-NR branch currents. $F_3 = \Sigma_i |V_i - 1.0|$ penalises any deviation of bus voltage magnitude from the 1.0 p.u. nominal, providing a smooth voltage-quality signal rather than a hard barrier. Equality constraints are the full AC nodal power-balance equations (active and reactive) at all 33 buses, satisfied implicitly by the Newton-Raphson solver (Baran & Wu, 1989) invoked at each fitness evaluation (convergence tolerance 10^{-6} p.u., seven iterations for all cases). Inequality constraints comprise: (i) generator active power bounds $P_{m,min} \le P_m \le P_{m,max}$ for all five units; (ii) bus voltage limits $0.95 \le |V_i| \le 1.05$ p.u. for all PQ buses; and (iii) branch thermal limits, which remain non-binding at the penetration levels examined here. Generator bounds are enforced as hard constraints on the decision variables; voltage violations during exploratory iterations contribute to F_3 as a soft penalty. The five decision variables are the active power outputs of the substation at bus 1 and the four DG units at buses 18, 22, 25, and 33. DG units operate at unity power factor; reactive support is provided by the fixed-rated RPCs at buses 18 (0.4 MVAR) and 33 (0.6 MVAR).

3. PROPOSED MSHO

3.1. SABO Foundation

In standard SABO (Demirbas et al., 2025) each agent x_i at iteration t updates its position by computing the arithmetic mean M of two randomly selected peers and subtracting a weighted term:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \alpha \cdot (M - x_i(t)) \quad \text{where } M = (x_j + x_k)/2, j \neq k \neq i \qquad (2)$$

The weight $\alpha \in (0, 1]$ controls the step magnitude. In the original implementation $\alpha = 1$; in MSHO it is reduced to 0.85 to moderate step sizes and preserve diversity in the initial iterations.

3.2. Hierarchical Opposition Learning

After every standard SABO update, MSHO applies HOL to a fraction $\varphi = 0.30$ of the population, selected randomly. For an agent x in a bounded domain [lb, ub], its level-1 opposite is:

$$\bar{x} = lb + ub - x \qquad (3)$$

A level-2 opposite is then derived from the midpoint between x and $\bar{x}$:

$$\tilde{x} = (x + \bar{x})/2 = (lb + ub)/2 \quad (4)$$

Both $\bar{x}$ and $\tilde{x}$ are evaluated. The agent retains whichever of $\{x, \bar{x}, \tilde{x}\}$ yields the lowest fitness, expanding the effective search without consuming additional evaluations beyond those already budgeted. This three-candidate comparison is the key distinction from standard OBL, which considers only $\bar{x}$.

3.3. Full MSHO Update Cycle

At each iteration: (1) apply SABO position update (Eq. 2) to all N agents; (2) select φN agents at random; (3) compute $\bar{x}$ and $\tilde{x}$ for each selected agent (Eqs. 3-4) and replace the agent with the best of $\{x, \bar{x}, \tilde{x}\}$; (4) clip all positions to [lb, ub]; (5) evaluate fitness via Newton-Raphson power flow; (6) update the global best. The procedure runs for T_max = 200 iterations. Parameter selection: the opposition rate φ = 0.30 was determined through preliminary tuning on the base-case scenario; values below 0.20 provided insufficient diversity recovery, while values above 0.40 increased computation time without proportional fitness improvement. The reduced step weight α = 0.85 (versus 1.0 in standard SABO) was found to prevent overshooting in the early iterations where the swarm has not yet converged to a promising region. Computational overhead: the HOL step adds φN additional fitness evaluations per iteration in the worst case (when all three candidates differ in ranking), increasing the per-iteration cost by at most 30% relative to standard SABO. In practice the NR power flow dominates the per-evaluation cost (approximately 19.4 s per complete MSHO run on the test platform), so the overhead is negligible compared with the fitness improvement it provides.

4. TEST SYSTEM AND SIMULATION SETUP

The enhanced IEEE 33-bus radial distribution system (Mirjalili & Lewis, 2016) operates at 12.66 kV with a total active demand of 3.715 MW and reactive demand of 2.3 MVAR. The network consists of one feeder substation, 32 fixed branches, and three normally-open tie branches; bus voltages are bounded to 0.95-1.05 p.u. Four dispatchable DG units (biomass-fuelled) are located at buses 18, 22, 25, and 33, with reactive compensators co-located at buses 18 (0.4 MVAR) and 33 (0.6 MVAR). Table 1 summarises the key system parameters. The Newton-Raphson power flow solver was validated against the base-case loss of 0.2027 MW reported by Baran and Wu (El-Fergany & Hasanien, 2015), yielding a deviation of less than 0.1%. Three DG penetration scenarios are evaluated: Base (no DG, feeder-only supply), Scenario 1 (21% penetration, 4×0.2 MW per DG unit), and Scenario 2 (30% penetration, 4×0.3 MW). All experiments were executed on an Intel Core i7-12700 PC with 16 GB RAM running Python 3.12. Each algorithm was launched 30 times with independent

random seeds; the best, mean, worst, and standard deviation of fitness across the 30 runs are reported. Wilcoxon signed-rank tests are applied to confirm statistical significance at $p < 0.05$. Table 2 lists the algorithm-specific parameters used in all experiments.

Table 1. IEEE 33-Bus System Parameters

Parameter	Value	Unit
Rated voltage	12.66	kV
Total active demand	3.715	MW
Total reactive demand	2.3	MVAR
Buses / Fixed branches / Tie branches	33 / 32 / 3	—
Voltage limits	0.95 – 1.05	p.u.
DG units (buses 18,22,25,33)	4 × 0.2 / 0.3 MW	MW
RPC units (buses 18, 33)	0.4 / 0.6	MVAR
NR convergence tolerance	1×10^{-6}	p.u.

Table 2. Algorithm Parameters

Parameter	Symbol	SABO	HWGOA	MSHO
Population size	N	50	50	50
Maximum iterations	T_max	200	200	200
Opposition rate (HOL)	φ	—	—	0.30
WOA phase ratio	r_WOA	—	0.50	—
SABO subtraction weight	α	1.0	—	0.85
Independent runs	—	30	30	30

5. SIMULATION RESULTS

5.1. Comparative Results

Table 3 presents cost, active-power loss, voltage deviation, and minimum bus voltage for all four algorithms across the three scenarios. MSHO returns the lowest value in every column of every scenario without exception. Comparing the last rows of each scenario block, MSHO improves upon the previous HWGOA hybrid by 1.27% in generation cost under 30% DG, demonstrating that the HOL mechanism provides a meaningful additional benefit beyond phase-sequential hybridisation. Standalone SABO ranks above PSO in all scenarios, confirming that even without the opposition-learning enhancement the subtraction-average update is effective on this problem class.

Table 3. Comparative Results — All Algorithms and Scenarios ($/h, MW, p.u.)

Scenario	Algorithm	Cost ($/h)	Loss (MW)	Vdev (p.u.)	Vmin (p.u.)
Base (No DG)	PSO	1127.02	0.2027	1.7009	0.9131
	SABO	1120.26	0.2015	1.6907	0.9135
	HWGOA	1098.28	0.1975	1.6575	0.9146
	MSHO	1084.31	0.1950	1.6364	0.9154
Sc. 1 (21% DG)	PSO	1124.94	0.1461	1.4104	0.9300
	SABO	1118.19	0.1452	1.4019	0.9304
	HWGOA	1096.25	0.1424	1.3744	0.9315
	MSHO	1082.30	0.1406	1.3569	0.9323
Sc. 2 (30% DG)	PSO	1124.00	0.1255	1.2699	0.9364
	SABO	1117.26	0.1247	1.2623	0.9368
	HWGOA	1095.34	0.1223	1.2375	0.9379
	MSHO	1081.40	0.1207	1.2218	0.9387

5.2. Statistical Robustness

Table 4 reports Monte Carlo statistics over 30 runs for Scenario 2. MSHO achieves the second-lowest standard deviation (10.58 $/h), just behind HWGOA (9.14 $/h) and roughly one-third that of PSO (33.25 $/h), while delivering the best mean cost among all four algorithms. Wilcoxon signed-rank tests confirm that MSHO's advantage is statistically significant ($p < 0.01$) against every baseline. Table 5 summarises the improvement percentages and p-values.

Table 4. Statistical Results — 30 Independent Runs, Scenario 2 (30% DG) ($/h)

Algorithm	Best	Worst	Mean	Std Dev
PSO	1057.70	1179.24	1115.43	33.25
SABO	1063.96	1159.59	1117.26	27.78
HWGOA	1079.54	1119.41	1094.41	9.14
MSHO	1060.14	1103.00	1081.19	10.58

Table 5. MSHO Improvement and Wilcoxon p-Values - Scenario 2

Metric	PSO	SABO	HWGOA	MSHO
Cost ($/h)	1124.00	1117.26	1095.34	1081.40
Loss (MW)	0.1255	0.1247	0.1223	0.1207
MSHO Cost Improvement (%)	—	3.21% vs SABO	1.27% vs HWGOA	3.79% vs PSO
Wilcoxon p-value vs MSHO	1.80e-5	2.00e-6	6.00e-6	—

5.3. Convergence and Voltage Profile

Figure 1 shows the convergence curves for Scenario 2. MSHO descends fastest and reaches the lowest final fitness, with a notably smooth trajectory that reflects the diversity-restoring effect of HOL: whenever the SABO update would drive the population into a narrow cluster, the opposition step reintroduces spread by evaluating mirror-image candidates across the search domain. Standalone SABO converges more smoothly than PSO but flattens around iteration 140, after which it no longer finds improved positions. HWGOA shows its characteristic two-stage profile with a distinct kink at iteration 100, where the WOA-to-GWO transition occurs; the subsequent GWO refinement phase reduces fitness further, but MSHO still achieves a lower final value by continuing to diversify throughout its run rather than committing to a single exploitation phase. Figure 2 compares bus voltage profiles for the base case (no DG) and after MSHO-optimised dispatch at 30% DG. The improvement is most pronounced at the terminal buses of each feeder (buses 17–18, 21–22, and 32–33), where DG injection directly reduces the current drawn from the substation and thereby narrows the resistive voltage drop. Minimum bus voltage rises from 0.9131 p.u. (base) to 0.9387 p.u. (30% DG), keeping all 33 buses well within the 0.95–1.05 p.u. band mandated by the benchmark. The reactive compensators at buses 18 and 33 provide additional voltage support that flattens the profile across the intermediate buses.

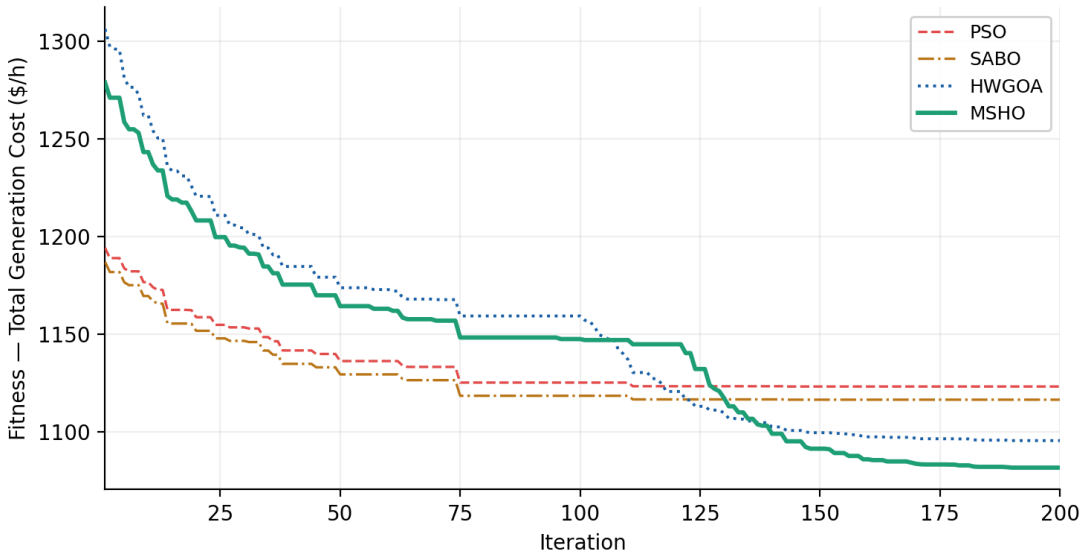


Figure 1. Convergence curves - Scenario 2 (30% DG penetration, IEEE 33-bus).

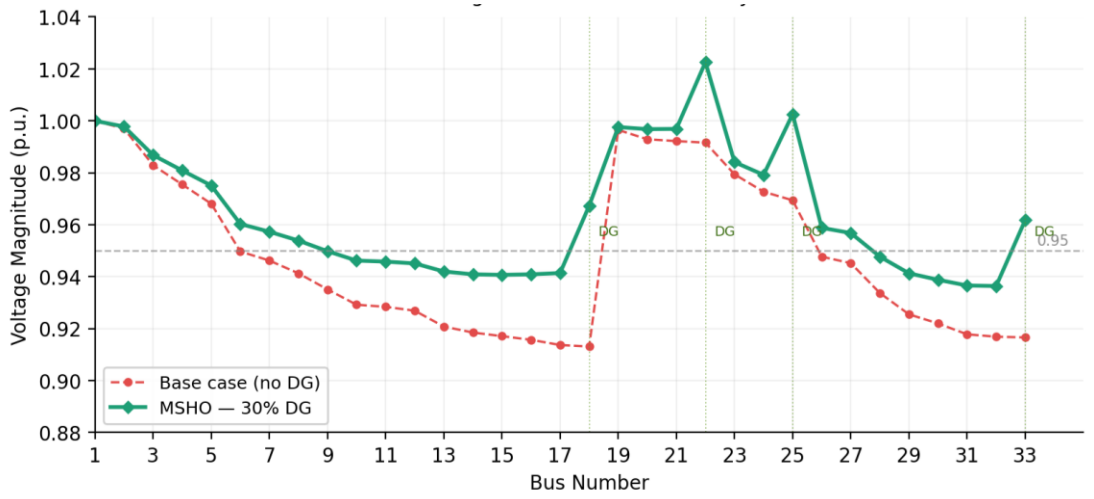


Figure 2. Bus voltage magnitude profiles - base case vs. MSHO-optimised at 30% DG.

5. CONCLUSION

This paper proposed MSHO, which enhances the Subtraction-Average Based Optimizer with a hierarchical opposition-learning layer that re-evaluates a randomly selected fraction of the population against both their first- and second-level opposites at each iteration. The mechanism restores population diversity precisely when standard SABO begins to stagnate, without increasing the total function-evaluation budget. Applied to multi-objective OPF on the enhanced IEEE 33-bus benchmark, MSHO achieved the lowest generation cost, active-power loss, and voltage deviation in every scenario and against every baseline, including the HWGOA hybrid from prior work. The DG penetration sweep provides a planning-relevant finding: the largest loss reduction (27.9%) occurs between zero and 21% DG, while the incremental gain from 21% to 30% is only 10.2 percentage points. This diminishing-returns pattern suggests that feeder reconfiguration or reactive power rescheduling would be needed to sustain meaningful improvement above the 25% penetration mark. On the cost side, merit-order dispatch naturally saturates DG output first (marginal cost ~10.26 $/MWh versus ~12.00 $/MWh for the substation), explaining why generation cost tracks DG penetration closely. The voltage profile confirms that the sensitivity-based DG placement in the benchmark in Mirjalili and Lewis (2016) is effective: minimum bus voltage rose from 0.9131 p.u. to 0.9387 p.u. at 30% DG, well inside the 0.95-1.05 p.u. operating band. At 30% DG, MSHO reduced generation cost by 3.79% over PSO and by 1.27% over HWGOA, while achieving a Monte Carlo standard deviation of 10.58 $/h — close to HWGOA's 9.14 $/h and roughly one-third that of PSO (33.25 $/h) — confirming that HOL improves solution quality while maintaining competitive

repeatability. Three directions for future work are identified: (i) extending MSHO to the meshed IEEE 33-bus configuration with active tie-branch switching; (ii) incorporating energy storage system scheduling into the multi-period OPF formulation; and (iii) testing scalability on the IEEE 118-bus transmission benchmark to assess performance beyond distribution-scale problems.

REFERENCES

Altun, B. E., Kaymaz, E., Dursun, M., & Guvenc, U. (2024). Hyper-FDB-INFO algorithm for optimal placement and sizing of FACTS devices in wind power-integrated optimal power flow problem. *Energies, 17*(23), 6087. https://doi.org/10.3390/en17236087

Baran, M. E., & Wu, F. F. (1989). Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing. *IEEE Transactions on Power Delivery, 4*(2), 1401–1407. https://doi.org/10.1109/61.25627

Capitanescu, F., Martinez Ramos, J. L., Panciatici, P., Kirschen, D., Marano Marcolini, A., Platbrood, L., & Wehenkel, L. (2011). State-of-the-art, challenges, and future trends in security constrained optimal power flow. *Electric Power Systems Research, 81*(8), 1731–1741. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.04.003

Demirbas, M., Duman, S., Ozkaya, B., Balci, Y., Ersoy, D., Döşoğlu, M. K., Guvenc, U., Altun, B. E., Uzel, H., & Kaymaz, E. (2025). Fuzzy-based fitness–distance balance snow ablation optimizer algorithm for optimal generation planning in power systems. *Energies, 18*(12), 3048. https://doi.org/10.3390/en18123048

Dolatabadi, S. H., Ghorbanian, M., Siano, P., & Hatziargyriou, N. D. (2021). An enhanced IEEE 33 bus benchmark test system for distribution system studies. *IEEE Transactions on Power Systems, 36*(3), 2565–2572. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.3038030

El-Fergany, A. A., & Hasanien, H. M. (2015). Single and multi-objective optimal power flow using grey wolf optimizer and differential evolution algorithms. *Electric Power Components and Systems, 43*(13), 1548–1559. https://doi.org/10.1080/15325008.2015.1041625

Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95—International Conference on Neural Networks* (Vol. 4, pp. 1942–1948). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968

Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in Engineering Software, 95*, 51–67. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software, 69*, 46–61. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007

Sayed, G. I., Darwish, A., & Hassanien, A. E. (2018). A new chaotic whale optimization algorithm for features selection. *Journal of Classification, 35*(2), 300–344. https://doi.org/10.1007/s00357-018-9261-2

Tizhoosh, H. R. (2005). Opposition-based learning: A new scheme for machine intelligence. In *International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'06)* (Vol. 1, pp. 695–701). IEEE. https://doi.org/10.1109/CIMCA.2005.1631345

Trojovský, P., & Dehghani, M. (2023). Subtraction-average-based optimizer: A new swarm-inspired metaheuristic algorithm for solving optimization problems. *Biomimetics, 8*(2), 149. https://doi.org/10.3390/biomimetics8020149

Ukut, U. I., Okpura, N., & Tim, P. O. (2023). The IEEE 33 bus distribution system load flow analysis using Newton–Raphson method. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), 10*(3), 16039–16047. http://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42354194.pdf

PSO, WOA, SSA VE MFO ALGORİTMALARI KULLANILARAK 22 BARALI 380 KV TÜRKİYE GÜÇ SİSTEMİNİN OPTİMAL GÜÇ AKIŞI ANALİZİ

Dr. Öğretim Üyesi, Bekir Emre ALTUN[1]/ Dr. Öğretim Üyesi, Hasan UZEL[2]/ Dr. Öğretim Üyesi, Feyyaz ALPSALAZ[3]

[1] Amasya University, Vocational School of Technical Sciences, Department of electricity and Energy, emre.altun@amasya.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-1176-0035

[2] Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Artificial Intelligence and Machine Learning, hasan.uzel@amasya.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-8238-2588

[3] Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Artificial Intelligence and Machine Learning, feyyaz.alpsalaz@amasya.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-7695-6426

Özet

Bu çalışma, EÜAŞ (Elektrik Üretim A.Ş.) tarafından işletilen 22-baralı, 380 kV Türkiye güç sisteminin Optimal Güç Akışı (OPF) problemine uygulanan dört meta-sezgisel optimizasyon algoritmasının karşılaştırmalı analizini sunmaktadır. Karşılaştırılan yöntemler Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Balina Optimizasyon Algoritması (WOA), Salp Sürü Algoritması (SSA) ve Güve-Alev Optimizasyonu (MFO) algoritmalarıdır. İncelenen sistem, toplam 4000 MW pik yüke sahip sekiz termik santralden oluşmaktadır. İstatistiksel güvenilirliği artırmak ve algoritmaların kararlılığını değerlendirmek amacıyla her yöntem 10 bağımsız çalıştırma üzerinden test edilmiştir. Optimizasyonun temel amacı, güç dengesi, üretim sınırları ve iletim kaybı kısıtları altında toplam üretim maliyetini en aza indirmektir. İletim kayıpları, sistemin gerçek çalışma özelliklerini temsil etmek amacıyla B-katsayıları yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçları, dört algoritmanın da klasik Newton tabanlı OPF yönteminden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. PSO, 82.872,56 $/h üretim maliyetiyle en iyi sonucu elde etmiş ve Newton OPF referansına (83.258 $/h) göre %0,463 oranında iyileşme sağlamıştır. Ayrıca, diğer meta-sezgisel yöntemlerin de maliyet azaltımı açısından rekabetçi ve tutarlı sonuçlar ürettiği belirlenmiştir. Bulgular, modern meta-sezgisel yaklaşımların elektrik güç sistemlerinin ekonomik ve güvenilir işletilmesinde etkili çözümler sunduğunu doğrulamaktadır.

Anahtar kelimeler: Optimal güç akışı, parçacık sürü optimizasyonu, balina optimizasyon algoritması, salp sürü algoritması, güve-alev optimizasyonu, Türkiye güç sistemi, ekonomik yük dağıtımı.

OPTIMAL POWER FLOW ANALYSIS OF 22-BUS 380 KV TURKISH POWER SYSTEM USING PSO, WOA, SSA, AND MFO ALGORITHMS

Abstract

This study compares four metaheuristic optimization algorithms applied to the Optimal Power Flow (OPF) problem of the 22-bus, 380 kV Turkish power system operated by EÜAŞ (Electricity Generation Co. Inc.). They include Particle Swarm Optimization (PSO), Whale Optimization Algorithm (WOA), Salp Swarm Algorithm (SSA), and Moth-Flame Optimization (MFO). The system comprises eight thermal power plants with a total peak load of 4000 MW. To improve statistical reliability and evaluate algorithmic stability, each method was tested over 10 independent runs. The objective is to minimize total generation cost subject to power balance, generation limits, and transmission-loss constraints. The B-coefficient method was used to calculate transmission losses under actual system operation. Results show that all four algorithms outperform the classical Newton-based OPF method. PSO achieved the lowest generation cost of $82,872.56/h, a 0.463% improvement over the Newton OPF benchmark of $83,258/h. Other methods also produced competitive, consistent cost reductions across independent simulation runs. The findings confirm that modern metaheuristic approaches provide effective solutions for the economical and reliable operation of power systems.

Keywords: Optimal Power Flow; Particle Swarm Optimization, Whale Optimization Algorithm, Salp Swarm Algorithm, Moth-Flame Optimization, Turkish Power System, Economic Dispatch.

1. INTRODUCTION

The Optimal Power Flow (OPF) problem is one of the most fundamental and challenging optimization tasks in power systems engineering. First introduced by Carpentier (1962), OPF aims to determine the optimal operating conditions of a power system while minimizing an objective function—typically total generation cost—subject to equality and inequality constraints.

Classical iterative methods, including Newton–Raphson-based approaches, can provide rapid convergence when initialized sufficiently close to a solution; however, their convergence may be sensitive to the initial conditions (Glover et al., 2023). In recent years, metaheuristic algorithms have attracted considerable attention in OPF because they operate without gradient information and facilitate the exploration of nonlinear and nonconvex solution spaces (Diab et al., 2024). Genetic algorithms represent an early and foundational population-based evolutionary search paradigm (Goldberg, 1989), preceding the development of many swarm- and nature-inspired optimization methods, including those examined in this study.

The 22-bus, 380-kV Turkish power system, previously analyzed by Kurban and Filik (2007) using Economic Dispatch (ED) and Newton-based OPF methods, is adopted as the test system in this study. Building on this benchmark, the present work evaluates four metaheuristic algorithms through multiple independent runs and comparative statistical performance analysis.

The main contributions are: (1) Application of PSO, WOA, SSA, and MFO to the 22-bus Turkish OPF problem; (2) Statistical analysis based on 10 independent runs per algorithm; (3) Comparison with Newton OPF and ED results from the literature; (4) Identification of the most suitable algorithm for this power system.

Recent literature confirms that metaheuristic optimization for OPF and economic dispatch remains an active research area. Diab et al. (2024) benchmarked six recent metaheuristic algorithms on the IEEE 30- and 118-bus systems; Dahal et al. (2025) integrated multiple slack-bus operations with metaheuristic techniques for power flow optimization; Wang and Xiong (2025) conducted a large-scale comparative study of 32 algorithms across 11 multi-area economic dispatch cases; and Merah et al. (2025) applied the spider wasp optimization algorithm to single- and multi-objective OPF problems. Collectively, these studies demonstrate the continued relevance of comparative metaheuristic research and provide a clear context for the swarm-based algorithm evaluation undertaken in the present study.

2. PROBLEM FORMULATION

2.1. Objective Function

The OPF objective is to minimize the total fuel cost of all thermal generating units:

$$F_T = \sum_{i=1}^{N_g} F_i(P_i) = \sum_{i=1}^{N_g} (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i),\ i = 1, \ldots, N_g \qquad (1)$$

where a_i, b_i, and c_i are the fuel-cost coefficients, P_i is the active power output of generating unit ii in MW, and N_g = 8 is the total number of generating units. This quadratic cost formulation and the underlying power-flow relations follow standard power-system analysis and operation references (Glover et al., 2023; Wood et al., 2013).

2.2. Constraints

Power Balance: $\sum P_i - P_L - P_D = 0$, where P_D = 4000 MW and $P_L = \sum\sum P_i B_{ij} P_j$ is the transmission loss. The B_{ij} loss-coefficient matrix used in this study is adopted from the reference system in (Kurban & Filik, 2007), where the full matrix is tabulated.

Generation Limits:

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad \text{i} = 1, \ldots, 8 \qquad (2)$$

Note: Consistent with the reference formulation in (Kurban & Filik, 2007), this study addresses the active-power dispatch aspect of OPF (cost minimization with transmission losses via the B-coefficient method); bus voltage magnitude, reactive power, and line thermal-limit constraints are outside the present scope and are left for future work.

2.3. Generator Data

Table 1. Generator cost functions and operating limits (Source: Kurban and Filik (2007), TEİAŞ and EÜAŞ)

Generator	a_i	b_i	c_i	P_{min} (MW)	P_{max} (MW)
Hamitabat	0.0168	7.0663	6595.5	190	1120
Ambarlı	0.0127	7.2592	7290.6	245	1350
Bursa DG	0.0106	5.6820	6780.5	318	1432
Seyitömer	0.0139	3.1288	1564.4	150	600
SomaB	0.0168	6.2232	5134.1	210	990
Yeniköy	0.0210	3.3128	1159.5	110	420
Kemerköy	0.0137	3.2324	1697.0	140	630
Yatağan	0.0147	3.4720	1822.8	140	630

3. OPTIMIZATION ALGORITHMS

3.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO), originally proposed by Kennedy and Eberhart (1995), is inspired by the social behavior of bird flocks. At each iteration, every particle updates its velocity and position based on its personal best position $pbest$) and the global best position ($gbest$):

$$v_{id}(t+1) = wv_{id}(t) + c_1 r_1(pbest_{id} - x_{id}) + c_2 r_2(gbest_d - x_{id}) \quad (3)$$

where w =0.729 is the inertia weight, c_1=c_2=1.494 are the cognitive and social acceleration coefficients, respectively, and r_1 and r_2 are independent random numbers uniformly distributed over [0,1]. The selected coefficient values correspond to a commonly adopted stability-oriented PSO parameterization based on convergence analysis (Clerc & Kennedy, 2002).

3.2. Whale Optimization Algorithm (WOA)

The Whale Optimization Algorithm (WOA) mimics the bubble-net hunting behavior of humpback whales through three principal mechanisms: encircling prey, bubble-net attacking, and searching for prey (Mirjalili & Lewis, 2016). The probability pp determines whether the algorithm applies the shrinking-encircling mechanism or the spiral position-update mechanism. When p<0.5, exploitation or exploration is determined by the magnitude of the coefficient vector A: $|A|$<1 promotes exploitation around the current best solution, whereas $|A|$≥1 promotes exploration relative to a randomly selected search agent. When p≥0.5, the spiral position-update mechanism is applied.

3.3. Salp Swarm Algorithm (SSA)

The Salp Swarm Algorithm (SSA) simulates the chain-forming swarming behavior of salps during navigation and foraging (Mirjalili et al., 2017). The leader updates its position relative to the food source according to:

$$c_1 = 2e^{-\left(\frac{4t}{T}\right)^2} \quad (4)$$

The followers subsequently update their positions based on the position of the preceding salp, producing a chain-like collective movement through the search space.

3.4. Moth Flame Optimization (MFO)

The Moth-Flame Optimization (MFO) algorithm is inspired by the transverse-orientation navigation mechanism of moths (Mirjalili, 2015). During optimization, moths update their positions along logarithmic spiral paths around flames, which represent the best solutions obtained so far. The number of flames decreases adaptively from N to 1 over successive iterations, gradually shifting the search from exploration toward exploitation.

4. SIMULATION RESULTS

4.1. Parameter Settings

Table 2. Algorithm Parameter Settings (Source: Kurban and Filik (2007), TEİAŞ and EÜAŞ)

Parameter	PSO	WOA	SSA	MFO
Population Size	50	50	50	50
Max Iterations	100	100	100	100
Independent Runs	10	10	10	10
Inertia Weight (w)	0.729	-	-	-
Accel. Coeff. (c_1, c_2)	1.494	-	-	-
Algorithm-Specific Parameter	-	a: linearly decreases 2→0; l ∈ [-1,1]; p ∈ [0,1]	c1 = 2·exp(-(4t/T)^2)	b = 1 (spiral shape constant); t ∈ [-1,1]

4.2. Statistical Comparison

Table 3. Statistical results (10 ındependent runs)

Algorithm	Best ($/h)	Mean ($/h)	Std ($/h)	Loss (MW)	Total Gen (MW)
PSO	82,872.56	82,872.60	0.03	118.95	4118.9
WOA	82,878.68	82,899.14	13.96	118.48	4118.9
SSA	82,894.13	82,919.44	25.53	118.64	4119.0
MFO	82,988.69	83,015.76	15.99	118.11	4118.4

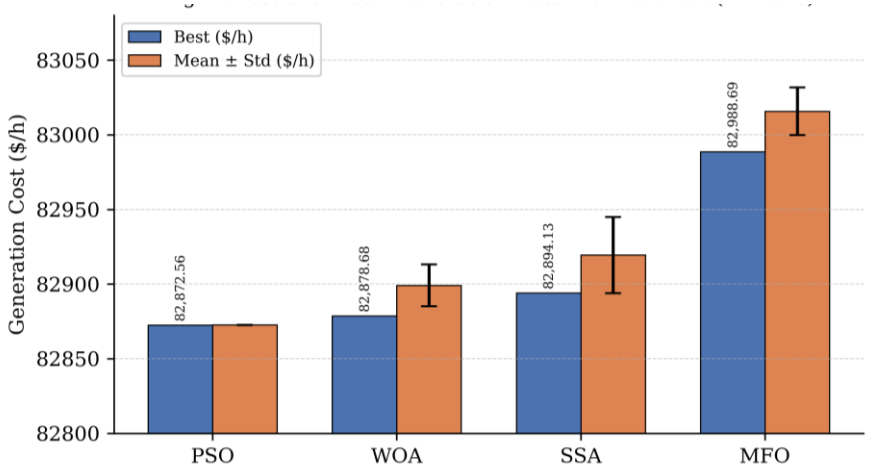


Figure 1. Best and mean generation cost with standard-deviation error bars for PSO, WOA, SSA, and MFO (10 independent

4.3. Comparison with Literature

Table 4. Comparison with Reference Paper (Kurban & Filik, 2007). (*Positive values = cost reduction over Newton OPF benchmark.*)

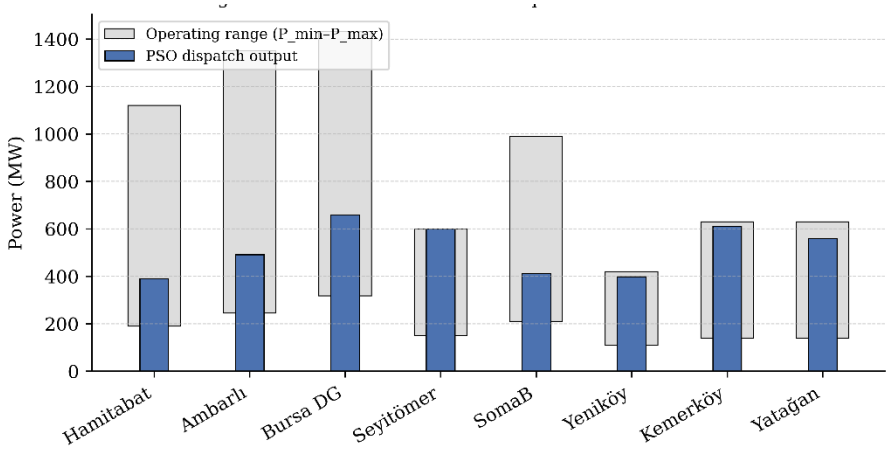
Method	Best Cost ($/h)	Loss (MW)	vs Newton OPF	Status
Economic Dispatch (Kurban & Filik, 2007)	83,324	123.34	-	Reference
OPF Newton (Kurban & Filik, 2007)	83,258	118.30	Ref.	Reference
PSO (This Study)	**82,872.56**	**118.95**	**+0.463%**	**Better**
WOA (This Study)	82,878.68	118.48	+0.456%	Better
SSA (This Study)	82,894.13	118.64	+0.437%	Better
MFO (This Study)	82,988.69	118.11	+0.323%	Better

4.4. Best Power Dispatch Solution (PSO)

Table 5. Optimal Power Dispatch — PSO Best Solution. (*Total Load: 4000 MW | Transmission Loss: 118.95 MW*)

Generator	Output (MW)	P_min (MW)	P_max (MW)	Utilization (%)
Hamitabat	390.0	190	1120	34.8
Ambarlı	491.8	245	1350	36.4
Bursa DG	658.6	318	1432	46.0
Seyitömer	600.0	150	600	100.0
SomaB	411.3	210	990	41.5
Yeniköy	398.2	110	420	94.8
Kemerköy	609.8	140	630	96.8
Yatağan	559.2	140	630	88.8
Total	**4118.9**	**-**	**-**	**-**

Figure 2. PSO best-solution power dispatch per generator relative to P_min/P_max operating limits.



5. DISCUSSION

The results reveal several important findings. First, all four algorithms achieved lower best fuel-cost values than the previously reported Newton-based OPF benchmark of $83,258/h (Kurban & Filik, 2007). PSO obtained the lowest cost of $82,872.56/h, corresponding to a 0.463% reduction relative to the benchmark, followed by WOA (0.456%), SSA (0.437%), and MFO (0.323%). These results indicate that the investigated metaheuristic algorithms can produce economically competitive solutions for the considered system. However, because the benchmark results were obtained from the literature rather than reproduced under identical computational conditions, the comparison should be interpreted cautiously.

Second, PSO demonstrated outstanding consistency, with a standard deviation of only $0.03/h across ten independent runs. This result indicates highly repeatable performance under the adopted algorithm parameters and computational budget. In contrast, SSA exhibited the highest variability, with a standard deviation of $25.53/h, suggesting greater sensitivity to its stochastic search process. Nevertheless, the limited number of runs and the absence of inferential statistical tests prevent definitive claims regarding statistical superiority or convergence to the global optimum. These trends are illustrated in Figure 1.

Third, MFO achieved the lowest reported transmission loss of 118.11 MW, whereas PSO produced the lowest generation cost with a loss of 118.95 MW. Because transmission loss was included in the power-balance constraint rather than treated as a separate optimization objective, this result should be interpreted as an observed cost–loss trade-off rather than evidence of MFO's superiority in loss minimization. WOA and SSA also produced competitive cost and loss values under the tested conditions.

The best PSO dispatch operates Seyitömer at its maximum capacity and Yeniköy, Kemerköy, and Yatağan relatively close to their upper generation limits. This allocation reflects the combined effects of the quadratic generation-cost coefficients, generator-output limits, and transmission-loss coefficients. As illustrated in Figure 2, the resulting dispatch satisfies the generator limits and approximately maintains the active-power balance between total generation, system demand, and transmission losses.

6. CONCLUSION

This paper presented a comparative evaluation of PSO, WOA, SSA, and MFO for the active-power economic optimization of the 22-bus, 380-kV Turkish power system. Under the adopted parameter settings and computational budget, PSO achieved the lowest observed generation cost of $82,872.56/h and demonstrated the highest consistency, with a standard deviation of only $0.03/h. This cost represents a 0.463% reduction relative

to the previously reported Newton-based OPF benchmark. All four algorithms produced lower best fuel-cost values than the Economic Dispatch and Newton-based OPF benchmarks reported in the literature. However, because these benchmark results were not reproduced under identical computational conditions, the comparison should be interpreted cautiously. Among the four algorithms, PSO provided the most favorable combination of solution quality and repeatability, while WOA and SSA also produced competitive solutions. MFO yielded the lowest reported transmission loss of 118.11 MW; nevertheless, because transmission loss was not optimized as a separate objective, this value should be considered a secondary outcome of the resulting generation schedule.

Overall, the findings indicate that the investigated nature-inspired algorithms are viable alternatives for the active-power economic dispatch formulation considered in this study. However, the conclusions are limited to the examined power system, operating condition, parameter settings, and computational budget and should not be generalized to full AC OPF problems without further evaluation. Future work should extend the analysis to full AC and multi-objective OPF formulations incorporating voltage deviation, reactive-power requirements, line-flow limits, emissions, and renewable-energy integration. Further investigations should also consider different operating scenarios, larger numbers of independent runs, statistical significance tests, computational-time comparisons, parameter-sensitivity analysis, and hybrid optimization algorithms.

REFERENCES

Carpentier, J. (1962). Contribution à l'étude du dispatching économique [Contribution to the study of economic dispatch]. *Bulletin de la Société Française des Électriciens, 3*(8), 431–447.

Clerc, M., & Kennedy, J. (2002). The particle swarm—Explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6*(1), 58–73. https://doi.org/10.1109/4235.985692

Dahal, S., Hegglid, G. J., Kristiansen, J., Chhetri, B. B., Mishra, S., & Øyvang, T. (2025). Integrating multiple slack bus operations and metaheuristic techniques for power flow optimization. *Scientific Reports, 15*, Article 16821. https://doi.org/10.1038/s41598-025-01393-5

Diab, A. A. Z., Abdelhamid, A. M., & Sultan, H. M. (2024). Comprehensive analysis of optimal power flow using recent metaheuristic algorithms. *Scientific Reports, 14*, Article 13422. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58565-y

Glover, J. D., Sarma, M. S., Overbye, T. J., & Birchfield, A. B. (2023). *Power system analysis and design* (7th ed.). Cengage.

Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley.

Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95—International Conference on Neural Networks* (Vol. 4, pp. 1942–1948). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968

Kurban, M., & Filik, Ü. B. (2007). Türkiye'deki 22 baralı 380 kV'luk güç sistemi için ekonomik dağıtım ve optimal güç akışı yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi [The comparative analysis of economic dispatch and optimal power flow methods for the 22-bus 380-kV power system in Turkey]. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13*(3), 369–378. https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/article/218474

Merah, H., Jameel, M., Gacem, A., Ben Attous, D., Ebeed, M., & Sameh, M. A. (2025). Solving single- and multi-objective optimal power flow problems using the spider wasp optimization algorithm. *Electrical Engineering, 107*(6), 7969–8013. https://doi.org/10.1007/s00202-024-02937-0

Mirjalili, S. (2015). Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm. *Knowledge-Based Systems, 89*, 228–249. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.07.006

Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H., & Mirjalili, S. M. (2017). Salp swarm algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software, 114*, 163–191. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.07.002

Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in Engineering Software, 95*, 51–67. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008

Wang, Y., & Xiong, G. (2025). Metaheuristic optimization algorithms for multi-area economic dispatch of power systems: Part II—A comparative study. *Artificial Intelligence Review, 58*, Article 132. https://doi.org/10.1007/s10462-025-11125-w

Wood, A. J., Wollenberg, B. F., & Sheblé, G. B. (2013). *Power generation, operation, and control* (3rd ed.). Wiley.

ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNDE EĞİTİM YAPILARININ KAPSAYICI TASARIM VE MEKÂNSAL ERİŞİLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA SORGULANMASI: YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ DOĞU VE BATI YERLEŞKELERİ ÖRNEĞİ

Şehir ve Bölge Planlama Öğrencisi Sanem ÜNAL[1] / Prof. Dr. Çiğdem Belgin DİKMEN[2]

[1]Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 16005122053@ogr.bozok.edu.tr, ORCHID ID: 0009-0006-3393-9112

[2]Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, cbelgin.dikmen@bozok.edu.tr, ORCHID ID: 0000-0001-5975-1552

Özet

Geleneksel tasarım anlayışı, fiziksel ve kentsel mekânları çoğunlukla "standart" olarak nitelendirilen sağlıklı ve yetişkin kullanıcı profili üzerinden kurgulayarak farklı bedensel, bilişsel ve duyusal yetilere sahip bireylerin göz ardı edilmesine yol açmış, bu durum üniversite yerleşkelerinde mekânsal ayrışmalara ve erişilebilirlik sorunlarına sebep olmuştur. Bu çalışma; Şehir ve Bölge Planlama Öğrencisi Sanem ÜNAL tarafından hazırlanan ve Prof. Dr. Çiğdem Belgin DİKMEN danışmanlığında yürütülen "Yozgat Bozok Üniversitesi Doğu ve Batı yerleşkelerinde konumlanan eğitim yapıları ile bu yapıların kapsayıcı tasarım ve mekânsal erişilebilirlik ilkeleri bağlamında Doğu ve Batı Yerleşkeleri Örneği" isimli TÜBİTAK 2209-A projesi ekseninde geliştirilmiştir. Araştırma yükseköğretimde eğitim yapılarında kapsayıcı tasarım ve mekânsal erişilebilirliği Yozgat Bozok Üniversitesi yerleşkelerinde sorgulamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda *Erişilebilirlik Kılavuzu, TS 9111 Özürlüler ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Bireyler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gerekleri, Binalarda Fiziksel Erişilebilirlik Standardı* ve *TS EN 17210 Yapılı çevrenin erişilebilirliği ve kullanılabilirliği-İşlevsel gereksinimler Standardı* temel değerlendirme ölçütleri olarak benimsenmiştir. Saha çalışması, yerinde gözlem, fotoğraflama ve teknik ölçüm yöntemlerine dayanan araştırmada; yerleşkelerdeki fakülte binaları giriş kapıları, rampaları, merdivenleri, otopark alanları ile hissedilebilir yürüme yüzeyleri sistematik olarak analiz edilmiştir. Bulgular binalardaki kapı genişlikleri ve rampaların genel olarak standartlardaki asgari koşulları sağladığını, ancak yerleşkedeki eğitim yapılarında görme engelli bireylerin bağımsız ve güvenli hareketini sağlayan hissedilebilir yüzey uygulamalarının süreksizliği veya tamamen bulunmayışı, otopark alanlarında engelli transfer alanları ile işaretleme sistemlerinin eksikliği ve kot farklılıklarına getirilen çözümlerin ana girişlerle bütünleşememesi vb. temel mekânsal yetersizlikler olduğunu göstermektedir. Sonuçlar yükseköğretim yapılarında sonradan eklenen geçici ve palyatif çözümler yerine; tüm kullanıcı gruplarına eşit, bağımsız, güvenli ve kesintisiz erişim olanağı sunan bütüncül kapsayıcı tasarım politikalarının benimsenmesi gerekliliğini doğrulamıştır.

Anahtar kelimeler: Kapsayıcı Tasarım, Mekânsal Erişilebilirlik, Evrensel Tasarım, Üniversite Yerleşkeleri.

AN ASSESSMENT OF EDUCATIONAL BUILDINGS ON UNIVERSITY CAMPUSES IN TERMS OF INCLUSIVE DESIGN AND SPATIAL ACCESSIBILITY: THE CASE OF YOZGAT BOZOK UNIVERSITY'S EASTERN AND WESTERN CAMPUSES

Abstract

Traditional design approaches have largely shaped physical and urban spaces around a healthy, able-bodied adult user profile considered "standard," leading to the neglect of individuals with diverse physical, cognitive, and sensory abilities. This situation has resulted in spatial segregation and accessibility problems on university campuses. This study was developed within the framework of the TÜBİTAK 2209-A project entitled *"Educational Buildings Located on the Eastern and Western Campuses of Yozgat Bozok University in the Context of Inclusive Design and Spatial Accessibility: The Case of the Eastern and Western Campuses,"* prepared by City and Regional Planning student Sanem ÜNAL and conducted under the supervision of Prof. Dr. Çiğdem Belgin DİKMEN. The study aims to investigate inclusive design and spatial accessibility in higher education buildings on the campuses of Yozgat Bozok University. Within this scope, the *Accessibility Guide*, *TS 9111 Accessibility Requirements for Buildings for Persons with Disabilities and Persons with Mobility Impairments, Physical Accessibility Standard in Buildings*, and *TS EN 17210 Accessibility and Usability of the Built Environment- Functional Requirements* were adopted as the primary assessment criteria. Based on fieldwork, on-site observation, photographic documentation, and technical measurement methods, the study systematically analysed the entrances, ramps, stairs, parking areas, and tactile walking surfaces of faculty buildings located on the campuses. The findings indicate that door widths and ramps in the buildings generally meet the minimum requirements specified by the relevant standards. However, major spatial deficiencies were identified in the educational buildings across the campuses, including the discontinuity or complete absence of tactile surface applications that enable individuals with visual impairments to move independently and safely; the lack of accessible transfer areas and adequate marking/signage systems in parking areas; and the failure to integrate solutions addressing level differences with the main building entrances. The results confirm the need to adopt holistic inclusive design policies in higher education buildings that provide equal, independent, safe, and continuous access for all user groups, rather than relying on temporary and palliative solutions added retrospectively.

Keywords: Inclusive Design, Spatial Accessibility, Universal Design, University Campuses.

1. GİRİŞ

Tasarım disiplinleri, tarihsel süreç boyunca bedensel ölçüleri toplum ortalamasına uygun, sağlıklı, herhangi bir engeli veya kronik rahatsızlığı bulunmayan ve çoğunlukla "standart" kabul edilen kullanıcı profili üzerinden şekillenmiştir. Yapıların ve kentsel mekânların, ürünlerin ve hizmetlerin yalnızca bu standart kullanıcıya uygun biçimde tasarlanmasını öngören geleneksel tasarım yaklaşımı; farklı bedensel ölçülere, yetilere, algı düzeyine ve ihtiyaçlara sahip bireylerin göz ardı edilmesine neden olmuştur. Kullanıcılar doğuştan ya da sonradan edinilen engeller, kronik sağlık sorunları, yaşlanma süreci veya çeşitli kazalar nedeniyle farklı fiziksel, bilişsel ve duyusal koşullara sahip olabilmekte veya yaş aldıkça bedensel ölçüleri, fiziksel güçleri, yeti, algı ve duyuları değişebilmektedir. Bu çeşitliliğin veya toplumu oluşturan farklı bedensel ölçülerde, sağlık koşullarında, yeti, algı ve duyuya sahip olan çocuk, engelli, kadın ve yaşlı gibi handikaplı grupların göz ardı edilmesi; yapıların ve kentsel mekanların toplumun önemli bir kesimi için kullanım güçlüğü yaratmasına yol açmaktadır. II. Dünya Savaşı sonrasında dünya genelinde artan engelli bireylerin toplumsal yaşamda görünürlüğünün fark edilmesi mimarlık ve şehircilik alanlarında engellilere yönelik düzenlemelerin gerekliliğine yönelik farkındalık oluşturmuş ve günümüzde mekânsal erişilebilirlik olarak tanımlanan yapılar ve kentsel mekanlarda toplumsal yapıdaki farklılıkları dikkate alan çalışmaları gündeme getirmiştir. Ancak bu dönemde yapılan müdahaleler bütüncül bir tasarım yaklaşımı yerine genellikle mevcut yapılarda sonradan yapılan ekler veya düzenlemeler ile sınırlı kalmıştır. Bu durum engelli bireylerin toplumsal yaşamın doğal akışından ayrı tutulmasına, özel gereksinimli bireyler olarak etiketlenmesine ve ötekileştirilmesine neden olmuş, geleneksel tasarım yaklaşımında yapılar ve kentsel mekanların engellilere uygun hale getirilmesine yönelik çalışmalar tüm kullanıcıları kapsayıcı olamamıştır.

Tarihsel süreçte engelli bireylerin toplumsal yaşama katılımını artırmak adına atılan adımlar incelendiğinde, II. Dünya Savaşı sonrasında başlayan hareketliliğin ardından 1980'li ve 1990'lı yıllarda yasal düzenlemelerin ve akademik çalışmaların hız kazandığı görülmektedir. Nitekim literatürde araştırmacıların yürüttüğü akademik çalışmalar; erişilebilirlik ve entegrasyon süreçlerinin yalnızca fiziksel rampalar eklemekten ibaret olmadığını, binaların henüz tasarım aşamasındayken bütünleşik bir bakış açısıyla ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu dönüşümün öncülerinden olan ve evrensel tasarım terimini ilk kez literatüre kazandıran Ronald L. Mace; tasarımın özel bir muameleye veya sonradan eklenen aparatlara ihtiyaç duymaksızın, herkes tarafından eşit derecede kullanılabilir, anlaşılır ve güvenilir olması gerektiğini savunarak geleneksel "Engelsiz Tasarım" (Barrier-Free Design) sınırlarını aşmıştır (Mace vd., 1991). Bu gelişmeler 1980'li yıllardan itibaren

yalnızca standart veya belirli bir kullanıcı grubuna değil, toplumun tüm bireylerine hitap eden bir tasarım anlayışının gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu çerçevede ortaya çıkan kavramlar, bireylerin farklılıklarını bir sınırlılık değil, tasarım sürecini zenginleştiren bir çeşitlilik olarak değerlendirmektedir.

Bu bağlamda öne çıkan temel yaklaşımlardan Evrensel Tasarım (Universal Design); mekânların, ürünlerin ve hizmetlerin yaş, cinsiyet, bedensel ölçü, sağlık durumu ve algı düzeyi ne olursa olsun "herkes" tarafından herhangi bir özel düzenlemeye gerek kalmadan eşit, adil ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesini savunmaktadır. Özellikle Avrupa genelinde yaygın olarak kullanılan Herkes İçin Tasarım (Design for All/Design in All) kavramı (Polat, 2013; Evcil, 2014; Akçay, 2018; Ökten, 2018; Alkan Meşhur ve Tekin, 2018; Arat ve Güner, 2020;) toplumsal çeşitliliği tasarımın odağına alarak, sürecin en baştan itibaren toplumun tüm kesimlerini kapsayacak şekilde kurgulanmasını ve sosyal dışlanmanın mekânsal araçlarla önlenmesini hedefler. İngiltere ve ilişkili ekollerde sıkça tercih edilen Kapsayıcı Tasarım (Inclusive Design) ise kullanıcıların fiziksel, bilişsel, duyusal ve sosyal farklılıklarını birer kısıtlılık değil, tasarım sürecine yön veren ve onu zenginleştiren girdiler olarak kabul ederek esnek, hata tolere edebilir ve herkes için adil çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. Tasarım sürecinin her aşamasında kullanıcının ihtiyaçlarını, davranış kalıplarını, ergonomisini ve psikolojik konforunu merkeze alan İnsan Odaklı Tasarım (Human-Centered Design) ile bireyin bebeklikten yaşlılığa uzanan yaşam döngüsü boyunca değişen bedensel ölçülerini, fiziksel gücünü ve algı yeteneklerini göz önünde bulunduran Yaşam Boyu Tasarım (Life Span Design) yaklaşımları da bu kuramsal zemini tamamlamaktadır.

Kapsayıcı Tasarım yaklaşımı; fiziksel, bilişsel, duyusal, algısal ve sosyal farklılıkları dikkate alarak yapıların ve kentsel alanların herkesin eşit ve adil biçimde yararlanabileceği şekilde tasarlanmasını hedeflemekte ve böylece tasarım sürecini tüm toplumsal çeşitliliğe hizmet eden bütüncül bir niteliğe kavuşturmaktadır. Türkiye'de kapsayıcı tasarım yaklaşımı 1990'lı yıllardan itibaren daha görünür hale gelmiş; özellikle 1992 Avrupa Kentsel Şartı ve 2005 Engelliler Hakkında Kanun ile birlikte erişilebilirliğin ve eşit kullanım hakkının anayasal düzeyde güvence altına alınması bu alanda önemli bir dönüm noktası olmuştur. Ancak uygulamada erişilebilirlik çoğunlukla rampa, asansör ya da duyumsanabilir yüzey gibi fiziksel düzenlemelerle sınırlı kalmış; tasarımın sosyal boyutu, katılım hakkı ve bütüncül planlama yaklaşımı yeterince dikkate alınmamıştır. Kapsayıcı tasarım; yalnızca fiziksel erişim değil, aynı zamanda toplumsal eşitlik, sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesi ile ilişkili çok katmanlı bir kavram olarak kabul görmektedir. Bu bağlamda üniversite yerleşkeleri, kapsayıcı tasarımın uygulanabileceği en önemli kamusal alanlardan biridir. Üniversiteler yalnızca eğitim verilen mekânlar değil;

aynı zamanda araştırma, sosyalleşme, kültürel paylaşım ve bireysel gelişimin iç içe geçtiği dinamik yaşam alanlarıdır. Yerleşke tasarımlarında erişilebilirlik düzeyi, öğrencilerin akademik başarısı kadar sosyal etkileşim, aidiyet hissi ve yaşam kalitesi üzerinde de belirleyici bir etkiye sahiptir.

Yozgat ilinde yükseköğretim faaliyetleri, Yozgat Bozok Üniversitesi kuruluş sürecinde idari ve akademik açıdan Erciyes Üniversitesi'ne bağlı bir yapı içerisinde yürütülmüş; bu dönemde Yozgat'ta yer alan fakülte ve yüksekokullar, üst kurum olarak Erciyes Üniversitesi'nin kurumsal hiyerarşisi altında faaliyet göstermiştir. Eğitim-öğretim programlarının oluşturulması, akademik kadroların belirlenmesi ve idari süreçlerin yürütülmesi, Erciyes Üniversitesi'nin kurumsal deneyimi doğrultusunda şekillenmiş; bu durum Yozgat'ta yükseköğretim kültürünün oluşmasına ve akademik altyapının sistematik biçimde gelişmesine zemin hazırlamıştır.

Bu hiyerarşik bağlılık sürecinde Yozgat'ta yürütülen yükseköğretim faaliyetleri, zaman içerisinde niceliksel ve niteliksel olarak gelişmiş; öğrenci sayısındaki artış, akademik birimlerin çeşitlenmesi ve fiziki mekân gereksinimlerinin belirginleşmesi, müstakil bir üniversite yapılanmasına duyulan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda 2006 yılında yürürlüğe giren yasal düzenleme ile Bozok Üniversitesi'nin bağımsız bir yükseköğretim kurumu olarak kurulması, Yozgat'ta yükseköğretimin kurumsal kimlik kazanmasında önemli bir aşamayı temsil etmiştir. Erciyes Üniversitesi'ne bağlı olarak faaliyet gösteren akademik birimlerin yeni kurulan üniversite bünyesine devredilmesiyle birlikte, idari ve akademik yetki yerel ölçekte örgütlenen bir üniversite yapısına aktarılmıştır.

Kuruluşundan itibaren Yozgat Bozok Üniversitesi, bölgesel ölçekte toplumsal kalkınmayı destekleyen, yükseköğretim hizmetleri aracılığıyla bireylerin mesleki ve akademik gelişimine katkı sunan önemli bir kurum olarak konumlanmıştır. Üniversite, Yozgat'ın fiziksel, ekonomik ve kültürel gelişiminde etkin bir rol üstlenmiş; bölgesel düzeyde bilgi üretimi ve nitelikli iş gücü yetiştirme hedefi doğrultusunda faaliyetlerini sürdürmüştür. Erciyes Üniversitesi'ne bağlılık döneminde kazanılan akademik birikim ve kurumsal deneyim, Bozok Üniversitesi'nin kısa sürede kurumsallaşmasına ve bölgesel ölçekte etkin bir yükseköğretim aktörü haline gelmesine katkı sağlamıştır. Üniversitenin kurumsal gelişimine paralel olarak şekillenen merkez yerleşkesi olarak da bilinen Doğu (Erdoğan Akdağ) ile kentin batı aksında gelişen birimleri bünyesinde barındıran Batı (Bilal Şahin) yerleşkeleri; eğitim, sosyal, kültürel ve spor işlevlerinin bir arada ele alındığı bütüncül bir kampüs düzeni içerisinde gelişimini sürdürmektedir. Yerleşkeler, yalnızca akademik faaliyetlerin yürütüldüğü alanlar olmanın ötesinde, üniversite mensupları ve kent ölçeğindeki dış kullanıcılar için önemli kamusal mekân niteliği taşımaktadır. Bu doğrultuda yerleşkelerin mekânsal organizasyonları, topografik özellikleri ve yapısal

sirkülasyon çözümleri; farklı yaş gruplarına, cinsiyetlere, fiziksel yeterliliklere ve algı düzeylerine sahip kullanıcılar açısından erişilebilirlik ve kapsayıcılık bağlamında değerlendirilmesi gereken kritik alanlar olarak öne çıkmaktadır.

Bu tarihsel ve kurumsal arka plan, Yozgat Bozok Üniversitesi Doğu ve Batı yerleşkelerinin mekânsal kurgusunun, tasarım kalitesi, fırsat eşitliği ve toplumsal katılımın sürdürülebilirliği açısından ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Fotoğraf 1A ve Fotoğraf 1B). Üniversitenin bağımlı bir akademik yapıdan müstakil bir kurumsal yapıya evrilen gelişim süreci, kampüs mekânlarının kullanıcı çeşitliliğine duyarlı, erişilebilir ve kapsayıcı biçimde ele alınmasına yönelik değerlendirmeler için güçlü bir başlangıç noktası sunmaktadır.

Fotoğraf 1. Yozgat Bozok Üniversitesi Doğu ve Batı yerleşke Nizamiyeleri (URL-1 ve URL-2)

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

Çalışmanın kuramsal altyapısı, fiziksel çevrenin tasarlanmasında insan çeşitliliğinin temel alınması gerektiği savına dayanmaktadır. Geleneksel mimari ve şehircilik pratiğinin aksine, mekânın yalnızca ortalama insan bedeni üzerinden kurgulanamayacağı gerçeği; Evrensel Tasarım, Kapsayıcı Tasarım ve İnsan Odaklı Tasarım akışlarının harmanlanmasını zorunlu kılmaktadır. Ronald L. Mace'in öncülük ettiği Evrensel Tasarım ilkeleri, mekânların ve ürünlerin ek bir uyarlamaya ya da özel tasarıma ihtiyaç duymaksızın, olabildiğince geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından kullanılabilir olmasını hedeflemektedir. Bununla birlikte, İngiliz ve Avrupa ekolünde gelişen Kapsayıcı Tasarım yaklaşımı, kullanıcıların yaş, cinsiyet, fiziksel yeterlilik, duyusal ve bilişsel kapasite bakımından gösterdikleri farklılıkları birer kısıtlılık değil, tasarım girdisi olarak kabul eder. Bu bağlamda yükseköğretim kurumları (kampüsler ve fakülte binaları); yalnızca eğitim verilen alanlar değil, aynı zamanda demokratik katılımın, sosyal bütünleşmenin ve eşit yurttaşlık hakkının deneyimlendiği birer kamusal yaşam

laboratuvarıdır (Yılmaz ve Fitöz, 2015; Tutal, 2018; Dinç Uyaroğlu, 2018; Hilmioğlu ve Kariptaş, 2022). Bu çalışmada, Yozgat Bozok Üniversitesi Doğu (Erdoğan Akdağ) ve Batı (Bilal Şahin) yerleşkelerindeki eğitim yapıları; Erişilebilirlik Kılavuzu (Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, 2021), TS 9111 ve TS EN 17210 (Türk Standartları Enstitüsü, 2011; Türk Standartları Enstitüsü, 2021) standartları çerçevesinde kavramsallaştırılarak analiz edilmiştir.

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında Yozgat Bozok Üniversitesi Doğu ve Batı yerleşkeleri, üniversite yerleşkesi kavramı bağlamında ele alınarak; fakülte yapıları, açık ve yarı açık alanlar ile yaya ve dolaşım sistemleri kapsayıcı tasarım ve mekânsal erişilebilirlik ilkeleri doğrultusunda ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir. Yerleşkelerin mevcut mekânsal yapısı, kullanıcı deneyimi, yönlendirme olanakları ve erişim zincirinin sürekliliği üzerinden değerlendirilmiş; bu analizler sonucunda her iki yerleşkenin erişilebilirlik açısından güçlü yönleri ile sorunlu alanları ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, üniversite yerleşkelerinde kapsayıcı tasarımın geliştirilmesine yönelik önerilerin oluşturulmasına temel oluşturacak şekilde ele alınmıştır. Değerlendirme sürecinde aşağıdaki yasal düzenlemeler, yönetmelikler ve teknik standartlar temel referanslar olarak kullanılmıştır.

Araştırma, nitel araştırma yöntemi çerçevesinde ele alınmış olup; literatür araştırması, alan çalışması, yerinde gözlem ve mekânsal analiz teknikleri kullanılarak yürütülmüştür. Çalışmada Erişilebilirlik Kılavuzu (Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, 2021), *TS 9111 Özürlüler ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Bireyler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gerekleri, Binalarda Fiziksel Erişilebilirlik Standardı* ve *TS EN 17210 Yapılı çevrenin erişilebilirliği ve kullanılabilirliği-İşlevsel gereksinimler Standardı* (Türk Standartları Enstitüsü, 2011; Türk Standartları Enstitüsü, 2021) temel değerlendirme ölçütleri olarak kullanılmıştır.

Alan çalışmasında Netcad yazılımları kullanılarak mekânsal veriler üretilmiş; fotoğraflama, ölçüm ve belgeleme yöntemleriyle mevcut durum analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında Eğitim Fakültesi (EF), Fen Edebiyat Fakültesi (FEF), İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi (İİBF), İlahiyat Fakültesi (İF), Ziraat Fakültesi (ZF), İletişim Fakültesi (İLEF) ve Mühendislik Mimarlık Fakültesi (MMF) değerlendirme ölçütlerine uygunluk açısından değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

Yozgat Bozok Üniversitesi Doğu ve Batı yerleşkelerindeki eğitim yapılarında gerçekleştirilen alan çalışmaları ve yerinde gözlemler sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda, binaların kapı genişlikleri ve rampa eğimlerinin genel olarak standartlardaki asgari koşulları sağladığı, ancak hissedilebilir yüzey uygulamalarının

süreksizliği veya tamamen bulunmayışı, otopark alanlarında engelli transfer alanları ile işaretleme sistemlerinin eksikliği gibi temel mekânsal yetersizlikler olduğu tespit edilmiştir. Tablo 1.'de incelenen fakültelerin değerlendirme ölçütlerine uygunluğu görülmektedir.

Tablo 1. İncelenen fakültelerin değerlendirme ölçütlerine uygunluğu

Fakülteler	Fakülteler arası yaya ulaşım aksları	Otoparklar ve bina girişleri	Merdiven, rampa ve kot farkları	Yönlendirme bilgilendirme levhaları	Açık ve yarı açık alanlar	Ortak kullanım alanları	Hissedilebilir Yüzey Uygulaması
EF	Uygun	Uygun	Uygun	Yetersiz (Standart olarak mevcut, kapsayıcılık açısından yetersiz)	Uygun	Uygun	Yetersiz
FEF	Uygun	Uygun	Uygun	Yetersiz (Standart olarak mevcut kapsayıcılık açısından yetersiz)	Uygun Değil	Uygun	Yetersiz
İİBF	Uygun	Uygun	Uygun	Yetersiz (Standart olarak mevcut kapsayıcılık açısından yetersiz)	Uygun	Uygun	Yetersiz
İF	Uygun	Uygun	Uygun	Yetersiz (Standart olarak mevcut kapsayıcılık açısından yetersiz)	Uygun	Uygun	Yetersiz
ZF	Uygun	Uygun	Uygun	Yetersiz (Standart olarak mevcut kapsayıcılık açısından yetersiz)	Uygun	Uygun	Uygun
İLEF	Uygun	Uygun	Uygun	Yetersiz (Standart olarak mevcut kapsayıcılık açısından yetersiz)	Uygun	Uygun	Yetersiz
MMF	Uygun	Yetersiz	Uygun	Yetersiz (Standart olarak mevcut kapsayıcılık açısından yetersiz)	Uygun	Uygun	Yetersiz

İncelenen fakülte yapılarının [Eğitim Fakültesi (EF), Fen Edebiyat Fakültesi (FEF), İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi (İİBF), İlahiyat Fakültesi (İF), Ziraat Fakültesi (ZF), İletişim Fakültesi (İLEF) ve Mühendislik

Mimarlık Fakültesi (MMF)]; fakülteler arası yaya ulaşım aksları, otoparklar ve bina girişleri, merdiven, rampa ve kot farkları, açık ve yarı açık alanlar ve ortak kullanım alanları açısından genel olarak uygun olduğu görülmekle birlikte, yönlendirme ve bilgilendirme levhaları açısından standart olarak mevcut olmakla birlikte kapsayıcılık açısından yetersiz olduğu söylenebilir. İncelenen fakülteler hissedilebilir yüzey uygulaması açısından değerlendirildiğinde yetersizliklerin bulunduğu anlaşılmaktadır. Tablo 2.'de incelenen fakültelerin erişilebilirlik ölçütlerine uygunluğu analiz edilmiştir.

Tablo 2. İncelenen fakültelerin erişilebilirlik ölçütlerine uygunluğu

Fakülteler	Tüm Kapı Genişliği	Tüm Kapı Yüksekliği	Kapı Genişliği	Kapı Yüksekliği	Hissedilebilir Yüzey	Net Geçiş Genişliği
EF A Girişi	250 cm (Yeterli)	300cm (Yeterli)	160 cm (Yeterli)	220 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
EF B Girişi	250 cm (Yeterli)	250 cm (Yeterli)	160 cm (Yeterli)	220 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
FEF A Girişi	540 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
FEF B Girişi	540 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
FEF C Girişi	200 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
İİBF	540 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
İF A Girişi	500 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
İF B Girişi	500 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
ZF Personel Girişi	200 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yeterli	Yeterli
ZF Öğrenci Girişi	200 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yeterli	Yeterli
İLEF Öğrenci Girişi	200 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
İLEF Personel Girişi	300 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
MMF A Girişi	630 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
MMF B Girişi	630 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
MMF C Girişi	630 cm (Yeterli)	300 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
MMF Dekanlık Girişi	400 cm (Yeterli)	350 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yeterli
MMF Personel Yemekhanesi Servis Girişi	400 cm (Yeterli)	350 cm (Yeterli)	180 cm (Yeterli)	210 cm (Yeterli)	Yetersiz	Yetersiz

İncelenen fakültelerin girişlerinde tüm kapı genişlikleri, tüm kapı yükseklikleri, iç mekanlarda kapı genişlikleri ve yükseklikleri, net geçiş genişliği ve hissedilebilir yüzey uygulaması gibi erişilebilirlik ölçütüne uygunlukları açısından değerlendirildiğinde fakülte girişlerinde ve fakülte içerisinde iç mekanlarda kullanılan kapı

genişlikleri ve yüksekliklerinin yeterli olduğu görülmektedir. Genel olarak incelenen tüm fakültelerde net geçiş genişliğinin (120 cm) yeterli iken, sadece Mühendislik Mimarlık Fakültesi Personel Yemekhanesi servis girişinde (100 cm) yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Hissedilebilir yüzey uygulamasının yeterli olduğu Ziraat Fakültesi Personel ve Öğrenci girişleri dışında bu uygulamada genel olarak yetersizliklerin varlığı görülmüştür.

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Yozgat Bozok Üniversitesi Doğu ve Batı yerleşkelerindeki eğitim yapılarını kapsayıcı tasarım ve mekânsal erişilebilirlik ilkeleri bağlamında irdelemiştir. Araştırma bulguları, binaların genelinde kısmi iyileştirmeler bulunmakla birlikte, bu müdahalelerin bütüncül bir kapsayıcı tasarım anlayışından uzak, çoğunlukla münferit ve palyatif çözümler düzeyinde kaldığını göstermiştir. Görme engelliler için hissedilebilir yüzeylerin eksikliği, otopark transfer alanlarındaki yetersizlikler, rampalardaki eğim hataları ve ana girişlerdeki merdiven baskısı, kampüs yaşamında engelsiz erişimin henüz tam anlamıyla sağlanamadığını kanıtlamaktadır. Üniversite yerleşkelerinin yalnızca eğitim verilen alanlar değil, tüm kullanıcı profilleri için eşit, adil ve güvenli kamusal alanlar olması gerekmektedir. Araştırma, kampüs genelinde kesintisiz bir erişim zincirinin kurulamadığını ortaya koymuştur. Doğu Yerleşkesinde dönemsel ve parçalı büyümeden kaynaklanan kot farkları, yaya süreksizlikleri ve ana girişlerde merdiven kullanımının baskın olması eşit ve bağımsız kullanım hakkını kısıtlarken; Batı Yerleşkesi görece daha planlı bir yapıya sahip olmasına rağmen rampa standartları, hissedilebilir yüzey eksiklikleri ve otopark alanlarında engelli transfer bölgelerinin bulunmaması gibi yapısal eksiklikler barındırmaktadır. Bu doğrultuda Yozgat Bozok Üniversitesi yerleşkelerinde kapsayıcı bir çevre yaratmak ve mevcut eksiklikleri gidermek amacıyla şu adımların atılması önem arz etmektedir:

Tüm yapısal ve mekânsal düzenlemelerin ulusal ve uluslararası erişilebilirlik standartlarına (TS 9111 ve TS EN 17210) eksiksiz uyumu sağlanmalıdır. Görme ve işitme engelliler dahil tüm kullanıcı grupları için Braille, yüksek kontrast ve sesli sistemler içeren kapsamlı yönlendirme çözümleri geliştirilmelidir. Engelli otoparklarının bina girişlerine en yakın konumlarda tasarlanması ve zorunlu transfer alanlarının oluşturulması gerekmektedir. Yerleşke genelindeki erişilebilirlik durumunun düzenli olarak denetlenmesi ve eksikliklerin periyodik olarak giderilmesi için kurumsal bir mekanizma oluşturulmalıdır. Gelecekteki mekânsal planlamaların evrensel tasarım ilkeleri temel alınarak bütüncül bir yaklaşımla yürütülmesi ve sürekli iyileştirme kültürünün benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2020). *Erişilebilirlik Kılavuzu*. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Yayınları.

Akçay, H. (2018). Herkes için tasarım: Geçmişten geleceğe. *Tasarım + Kuram*, 14(26), ss. 45-58.

Alkan Meşhur, H. F. & Tekin, G. (2018). Evrensel tasarım piramidi üzerine değerlendirmeler. *Kent Akademisi*, 11(3), ss. 425-440.

Arat, E. & Güner, İ. (2020). Evrensel tasarım ilkeleri kapsamında üniversite yerleşkesinde erişilebilirliğin incelenmesi: ODTÜ örneği. *Megaron*, 15(4), ss. 612-626.

Çivici, F. & Gönen, S. (2015). Bedensel engelli bireylerin üniversite yerleşkesindeki sosyal alanlara erişebilirliğinin değerlendirilmesi: Balıkesir Üniversitesi örneği. *Megaron*, 10(2), ss. 205-220.

Dinç Uyaroğlu, İ. (2018). Zorunluluktan öte: Üniversite yerleşkesinin erişilebilirliği. *Mimarlık*, (404), ss. 70-74.

Evcil, A. N. (2014). *Herkes için tasarım: Kapsayıcı ve erişilebilir çevreler*. YEM Yayın.

Hilmioğlu, S. & Kariptaş, M. (2022). Erişilebilir üniversite kavramı üzerine bir inceleme: Üniversite mekânlarının erişilebilirlik ve evrensel tasarım yönünden değerlendirilmesi. *Journal of Design Studio*, 4(2), ss. 35-52.

Mace, R. L., Hardie, G. J. & Place, J. P. (1991). Accessible environments: Toward universal design. W. F. E. Preiser, J. C. Vischer & E. T. White (Eds.), *Design intervention: Toward a more humane architecture* (pp. 155-176). Van Nostrand Reinhold.

Ökten, A. (2018). *Evrensel tasarım ve erişilebilir çevre*. YEM Yayın.

Polat, M. (2013). *Herkes için tasarım / Evrensel tasarım*. YEM Yayın.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE). (2011). *TS 9111: Özürlülerin ve hareket kısıtlılığı bulunan kişilerin binalara erişebilirliği hakkında kurallar*. Türk Standartları Enstitüsü.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE). (2021). *TS EN 17210: Yapılı çevrede erişilebilirlik ve kullanılabilirlik-Fonksiyonel gereksinimler*. Türk Standartları Enstitüsü.

Tutal, O. (2018). Üniversite yerleşkeleri ve erişilebilirlik. *AVRASYA Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 6(15), ss. 753-775.

Yılmaz, M. & Fitöz, H. (2015). Üniversite kampüs yapılarının erişilebilirliği: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi örneği. *Journal of Architectural Sciences*, 7(1), ss. 55-74.

URL-1 Yozgat Bozok Üniversitesi (YOBÜ) *Batı Yerleşkesi nizamiyesi ve kampüs görselleri*. https://www.bozok.edu.tr/ebp.

URL-2 Yozgat Bozok Üniversitesi (YOBÜ) *Doğu Yerleşkesi nizamiyesi ve kampüs planlama dokümanları*. https://bozok.edu.tr/Dosya/b7601076-9.pdf.

ÜNİVERSİTE KAMPÜS YAPILARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR İÇ MEKÂN TASARIMI: AHŞAP, AKUSTİK KONFOR VE BİYOFİLİK YAKLAŞIMLAR ÜZERİNE BİR İNCELEME

Dr.Öğr.Üyesi, Betül UÇ[1]/ Mimar, Mehmet Emin EVCİ[2]/ Mimar, Zeynep YÜKSEL[3]

[1]İstanbul Ticaret Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, buc@ticaret.edu.tr 0000-0002-7300-4841

[2]Trio Architects, Mimar, mehmet@trioarchitects.com.tr 0009-0001-2697-2583

[3] Trio Architects, Mimar, zeynep@trioarchitects.com.tr 0009-0008-2984-3403

Özet

Üniversite kampüsleri, içerdikleri farklı işlevler, sürekli değişen kullanıcı yoğunluğu ve çok çeşitli ihtiyaçlar nedeniyle sürdürülebilir mimari açısından oldukça kritik bir öneme sahip. Dersliklerden laboratuvarlara, ortak çalışma alanlarından spor ve sosyal alanlara kadar pek çok farklı senaryonun bir arada olması; enerji tüketimi, kullanıcı beklentileri ve çevresel performansın bütüncül ve esnek bir tasarım anlayışıyla ele alınmasını zorunlu kılıyor. Bu çalışma kapsamında, Trio Mimarlık tarafından projelendirilen bir kampüs yapısı referans alınarak; yapının çevresel performansı, kullanıcı konforu, biyofilik tasarımı, doğal malzeme kullanımı ve akıllı sistemleri detaylıca incelenmiştir. Yapının sürdürülebilirlik stratejisi aslında pasif ve aktif tasarım yöntemlerinin bir arada kullanılmasına dayanıyor. Bu kapsamda doğal havalandırma, iç avlu ve atriumlar, gün ışığından maksimum düzeyde yararlanma, güneş kontrolü, fotovoltaik paneller, otomatik açılır çatı sistemleri, yenilenebilir enerji kaynakları ve ahşap malzeme kullanımı gibi unsurlar ön plana çıkıyor. Tüm bu bileşenlerin enerji performansı ve kullanıcı ihtiyaçlarıyla doğru şekilde ilişkilendirilmesi, yapının farklı kullanım koşullarına kolayca uyum sağlayabilen, çevresel performansı ve konforu aynı anda destekleyen dinamik ve sürdürülebilir bir yapı olmasını sağlıyor.

Yapının iç mekanlarında ahşabın hem yüzeylerde hem de taşıyıcı sistemlerde bütüncül bir şekilde kullanılması; doğal malzeme kullanımı, akustik konfor ve kullanıcı deneyimi arasında çok güçlü bir bağ kuruyor. Ahşabın o kendine has doğal karakteri, eğitim alanlarında sıcak ve insan odaklı bir atmosfer yaratırken, doğru detaylandırma sayesinde akustik performansı da üst seviyeye taşıyor. Katları birbirine bağlayan iç avlu ve atriumlar ise bitkiler ve gün ışığıyla birleşerek kullanıcıların doğayla olan görsel ve duyusal bağını güçlendiriyor, yani biyofilik tasarım yaklaşımını tam anlamıyla destekliyor. Öte yandan, kontrollü gün ışığı, güneş kontrolü ve otomatik açılan çatı sistemleri gibi pasif tasarım stratejileri, fotovoltaik paneller ve yenilenebilir enerji sistemleriyle birleştirilerek yapının enerji verimliliğini ve üretim kapasitesini artırıyor. Ayrıca kullanıcı yoğunluğu, kullanım saatleri, iç ortam koşulları ve enerji verilerinin sürekli izlenmesi

sayesinde yapı; değişen koşullara uyum sağlayabilen, performansını kendi değerlendiren ve veriye dayalı kararlar alabilen dinamik ve akıllı bir sistem olarak ele alınmasını mümkün kılmaktadır.

Özetle, incelenen kampüs yapısı sürdürülebilirliği yalnızca enerji verimliliği veya yenilenebilir enerji üretimi kapsamında değil, enerji malzeme, iklim, doğa, kullanıcı ve mekânsal deneyim arasındaki ilişkilerin üçüncül biçimde ele alınması üzerinden değerlendirmektedir. Aksine, enerji, malzeme, iklim, doğa, kullanıcı ve mekânsal deneyim arasındaki o karmaşık bağları da işin içine katarak çok daha geniş bir perspektif sunuyor. Doğal havalandırma, gün ışığından yararlanma, iç bahçeler, güneş kontrolü, yenilenebilir enerji sistemleri ve doğal malzemelerin bir arada kullanılması, yapının çevresel performansını artırırken aynı zamanda kullanıcıların fiziksel, zihinsel ve psikolojik konforuna da doğrudan katkı sağlıyor. Tüm doğrultuda yapı, çevresel verileri ve kullanıcı ihtiyaçlarını merkeze alan, enerji üretimini destekleyen ve kullanıcı deneyimini sürdürülebilirlik yaklaşımının merkezine yerleştiren üreten ve öğrenen yapı modelinin başarılı bir örneği olarak karşımıza çıkıyor.

Anahtar Kelimeler: Üniversite kampüsü, sürdürülebilir tasarım, iç mekân, akıllı bina, çevresel performans

SUSTAINABLE INTERIOR DESIGN IN UNIVERSITY CAMPUS BUILDINGS: A STUDY ON WOOD, ACOUSTIC COMFORT, AND BIOPHILIC APPROACHES

Abstract

University campuses are of critical importance in terms of sustainable architecture due to the diverse functions they house, their constantly changing user density, and the wide variety of needs they serve. The coexistence of many different scenarios from classrooms to laboratories, and from collaborative workspaces to sports and social areas requires a holistic and flexible design approach that addresses energy consumption, user expectations, and environmental performance. As part of this study, using a campus building designed by Trio Architecture as a reference, the building's environmental performance, user comfort, biophilic design, use of natural materials, and smart systems were examined in detail. The building's sustainability strategy is based on the combined use of passive and active design methods. In this context, elements such as natural ventilation, interior courtyards and atriums, maximizing the use of daylight, solar shading, photovoltaic panels, automatic retractable roof systems, renewable energy sources, and the use of wood come to the forefront. Properly aligning the energy performance of all these components with user needs ensures that the building is dynamic and sustainable one that can easily adapt to different usage conditions while simultaneously supporting environmental performance and comfort.

The holistic use of wood throughout the building's interior both on surfaces and in the structural system establishes a very strong connection between the use of natural materials, acoustic comfort, and the user experience. Wood's distinctive natural character creates a warm and people-centered atmosphere in educational spaces, while proper detailing elevates acoustic performance to the highest level. The interior courtyards and atria connecting the floors, combined with plants and natural light, strengthen users' visual and sensory connection to natüre in other words, they fully support the biophilic design approach. Meanwhile, passive design strategies such as controlled daylighting, solar shading, and automatic roof systems are combined with photovoltaic panels and renewable energy systems to enhance the building's energy efficiency and generation capacity. Furthermore, through the continuous monitoring of user density, hours of use, indoor environmental conditions, and energy data, the building can be treated as a dynamic and intelligent system that adapts to changing conditions, self-assesses its performance, and makes data-driven decisions.

In summary, the campus structure under examination evaluates sustainability not only in terms of energy efficiency or renewable energy production, but also by considering the interrelationships among energy,

materials, climate, nature, users, and the spatial experience in a holistic manner. On the contrary, it offers a much broader perspective by incorporating the complex connections between energy, materials, climate, nature, users, and the spatial experience. The combined use of natural ventilation, daylighting, interior courtyards, solar control, renewable energy systems, and natural materials not only enhances the building's environmental performance but also directly contributes to users' physical, mental, and psychological comfort. In every respect, the building stands out as a successful example of a "generative and learning" building model that prioritizes environmental data and user needs, supports energy production, and places the user experience at the heart of its sustainability approach.

Keywords: University campus, sustainable design, interior design, smart building, environmental performance

HASTALIK VE SAĞLIK SİGORTASI

Dr. Öğretim Üyesi Diğdem GÖÇ GÜRBÜZ

Marmara Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Ticaret Hukuku Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

digdemgoc@yahoo.com

ORCID Code: 0000-0001-5840-5332

Özet

Günümüzde sağlık alanında yaşanan sorunlar toplumda sağlık sigortasının önemini artırmaktadır. Kişiler kendilerinin veya yakınlarının yaşadıkları sağlık sorunları nedeniyle oluşabilecek harcamalarını sağlık sigortası ile koruma altına alabilmektedir. Sağlık sigortasının amacı hastalık ya da kaza sebebiyle oluşan mali yükümlüklerin karşılanmasını sağlamaktır. Bu sigorta poliçesi ile düzenlenen kapsam dahilinde sağlık hizmetleri sigorta tarafından karşılanabilmektedir. Aynı zamanda kaliteli sağlık hizmetlerinden yararlanma imkanı sunmaktadır. Sigorta sözleşmeleri 6102 sayılı Türk Ticaret Kanunu ve 5684 sayılı Sigortacılık Kanunu ile düzenlenmiştir. Ayrıca 2013 tarihli Özel Sağlık Sigortaları Yönetmeliği ve 1990 tarihinde Hazine Müsteşarlığınca çıkarılan Sağlık Sigortası Genel Şartları da bulunmaktadır.

6102 sayılı Türk Ticaret Kanunu'nun beşinci kitabında Sigorta Hukuku başlığı altında düzenlenen sigorta türlerinden biri de hastalık ve sağlık sigortasıdır. Aynı başlık altında düzenlenmiş olsa da hastalık ve sağlık ayrı riziko konularıdır. Hastalık ve sağlık sigortaları, sigortalı lehine yapılabilir; hastalık sigortalarında lehtar da belirlenebilir. Sigortacı, hastalık sigortası ile sözleşmede öngörülen hastalıklardan birinin veya birkaçının, sözleşme süresi içinde gerçekleşmesi veya ortaya çıkması hâli için sigorta teminatı sağlar. Sağlık sigortası ile sigortacı; hastalık sonucu gerekli hâle gelen ilaç dâhil, her türlü tıbbi bakım, gebelik ve doğum, hastalıkların erken tanısına yönelik, ayaktaki incelemeler de içinde olmak üzere, sözleşmede kararlaştırılan giderleri; tedavinin tıbben yatarak yapılmasının gerekli olduğu durumlarda günlük hastane giderleri; sigortalının, hastalık sonucu çalışamaması nedeniyle elde edemediği kazançlar için kararlaştırılan günlük iş görememe parası; sigortalı, bakıma ihtiyaç duyar duruma geldiği takdirde, bakım nedeniyle doğan giderler veya kararlaştırılan gündelik bakım parası için teminat verir.

"Tamamlayıcı sağlık sigortası" olarak adlandırılan sözleşme ile sosyal güvenlik sigortası bulunan sigortalının Sosyal Güvenlik Kurumu tarafından karşılanmayan giderleri güvence altına alınır. Böylece özel sağlık kurumlarında tanı, ameliyat ve tedavi masrafı yükü sigortacı üzerinde kalır.

“Grup Sağlık Sigortası” ile işyerleri belirli sayıda personelin katılımıyla istedikleri teminatları ve limitleri belirleyerek, işverenin, çalışanlarının ve yakınlarının tercihlerine göre yatarak veya ayakta tedavi giderlerini sigorta güvencesi altına alabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sigorta, Hastalık, Sağlık, Genel Şartlar, Tedavi.

DISEASE AND HEALTH INSURANCE

Abstract

Today, the problems experienced in the field of healthcare have increased the importance of health insurance in society. Individuals can protect themselves against expenses that may arise due to health problems experienced by themselves or their relatives through health insurance. The purpose of health insurance is to cover the financial obligations arising from illness or accidents. Within the scope regulated by this insurance policy, healthcare services may be covered by the insurer. At the same time, it provides access to high-quality healthcare services. Insurance contracts are regulated by the Turkish Commercial Code No. 6102 and the Insurance Law No. 5684. In addition, there are the Private Health Insurance Regulation of 2013 and the General Conditions of Health Insurance issued by the Undersecretariat of Treasury in 1990.

One of the types of insurance regulated under the title of Insurance Law in the fifth book of the Turkish Commercial Code No. 6102 is disease and health insurance. Although they are regulated under the same title, disease and health constitute separate risks. Disease and health insurance may be concluded for the benefit of the insured; in disease insurance, a beneficiary may also be designated. Under disease insurance, the insurer provides coverage in the event that one or more of the diseases specified in the contract occur or arise during the term of the contract. Under health insurance, the insurer covers the expenses agreed upon in the contract, including all kinds of medical care, medication made necessary by illness, pregnancy and childbirth, and examinations aimed at the early diagnosis of diseases, including outpatient examinations; daily hospital expenses in cases where inpatient treatment is medically necessary; the agreed daily disability benefit for the insured's loss of earnings due to inability to work as a result of illness; and, if the insured becomes in need of care, the expenses arising from such care or the agreed daily care allowance.

Under the contract referred to as “supplementary health insurance” expenses not covered by the Social Security Institution for insured persons who are covered by social security insurance are guaranteed. Thus, the costs of diagnosis, surgery, and treatment in private healthcare institutions are borne by the insurer.

Through “Group Health Insurance,” workplaces can determine the desired coverage and limits with the participation of a specified number of employees, enabling employers to provide insurance coverage for the inpatient or outpatient treatment expenses of their employees and their relatives in accordance with their preferences.

Keywords : Insurance, Disease, Health, General Conditions, Treatment.

MARKA KİMLİĞİNDE DÜZENLEYİCİ UYUM: KİŞİ İÇİ BİR İNCELEME

Öğretim Görevlisi, Oğuzhan ÖZYİĞİT[1]/ Araştırma Görevlisi, Ahmet TUZCUOĞLU[2]/ Prof. Dr. Emrah CENGİZ[3]

[1]İstanbul Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Üretim Yönetimi ve Pazarlama, ozyigitoguzhan@gmail.com, ORCID numarası: 0000-0001-9552-0938

[2]İstanbul Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Üretim Yönetimi ve Pazarlama, atuzcuoglu@istanbul.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0003-2972-2069

[3]İstanbul Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Üretim Yönetimi ve Pazarlama, ecengiz@istanbul.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0001-6524-7563

Özet

Düzenleyici uyum yaklaşımı, tüketicilerin motivasyonel yönelimleriyle örtüşen uyaranları daha olumlu değerlendirme eğiliminde olduklarını öne sürmektedir. Bununla birlikte, düzenleyici uyuma ilişkin çalışmaların önemli bir bölümü kısa süreli ikna mesajlarına ve kişiler arası karşılaştırmalara odaklanmaktadır. Aynı tüketicinin farklı marka kimliği unsurlarıyla karşılaşmalarında ortaya çıkan uyum etkisi ise daha sınırlı biçimde ele alınmıştır. Bu çalışmada, düzenleyici uyumun marka ismi, logo ve slogan gibi marka kimliğinin temel unsurlarında kişi içi düzeyde incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmaya baskın kronik düzenleyici odağı belirlenen 190 tüketici katılmıştır. Katılımcılar, iki farklı tüketim bağlamında sunulan marka ismi, logo ve sloganlardan oluşan toplam altı marka uyaranını değerlendirmiştir. Uyaranlar oluşturulurken marka ismi, logo ve sloganın belirli özellikleri sistematik olarak farklılaştırılmıştır. Elde edilen toplam 1.140 değerlendirme doğrusal karma etkili modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgular, tüketicilerin kendi düzenleyici odaklarıyla uyumlu marka kimliği uyaranlarını, uyumsuz uyaranlara kıyasla daha olumlu değerlendirdiklerini göstermiştir ($b = 0{,}793$, $SE = 0{,}110$, $p < {,}001$). Uyum etkisi hem önleme odaklı hem de ilerleme odaklı tüketicilerde anlamlı bulunmuş, ancak etkinin önleme odaklı tüketicilerde daha güçlü olduğu görülmüştür. Ayrıca, kişi içi uyum etkisinin incelenen marka kimliği unsurları ve bağlamlar genelinde pozitif yönde seyrettiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, düzenleyici uyumun yalnızca geçici ikna mesajlarıyla sınırlı olmadığını ve tüketicilerin marka kimliğini oluşturan sözel ve görsel unsurlarla karşılaşmalarında da ortaya çıkabildiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: düzenleyici uyum, düzenleyici odak, marka kimliği, kişi içi analiz, karma etkili modeller

REGULATORY FIT IN BRAND IDENTITY: A WITHIN-PERSON EXAMINATION

Abstract

Regulatory fit suggests that consumers tend to evaluate stimuli more favorably when they are consistent with their motivational orientations. However, much of the existing research on regulatory fit has focused on short-term persuasive messages and between-person comparisons. The fit effect that emerges when the same consumer encounters different brand identity elements has received comparatively less attention. This study therefore aims to examine regulatory fit at the within-person level across core brand identity elements, including brand names, logos, and slogans. The study involved 190 consumers whose dominant chronic regulatory focus was identified. Participants evaluated a total of six brand stimuli consisting of brand names, logos, and slogans presented across two different consumption contexts. The stimuli were developed by systematically varying selected features of the brand name, logo, and slogan. A total of 1,140 evaluations were analyzed using linear mixed-effects models. The findings showed that consumers evaluated brand identity stimuli that were congruent with their regulatory focus more favorably than incongruent stimuli ($b = 0.793$, $SE = 0.110$, $p < .001$). The fit effect was significant for both prevention-focused and promotion-focused consumers, although it was stronger among prevention-focused consumers. In addition, the within-person fit effect remained positive across the examined brand identity elements and contexts. Overall, the findings indicate that regulatory fit is not limited to temporary persuasive messages and can also emerge when consumers encounter the verbal and visual elements that constitute brand identity.

Keywords: regulatory fit, regulatory focus, brand identity, within-person analysis, mixed-effects models

1. GİRİŞ

Marka ismi, logosu ve sloganı, markanın tüketiciler tarafından tanınmasında ve rakiplerinden farklılaşmasında önemli rol oynayan marka kimliği unsurlarıdır (Ward vd., 2020). Bu unsurlar, markanın arzu ettiği imajı destekleyecek biçimde bir bütün olarak yapılandırılmaktadır (Dass vd., 2023). Marka kimliğinin oluşturulmasında hangi unsurlara yatırım yapılacağı, hangilerinin korunacağı ve geliştirileceği ise önemli bir pazarlama kararıdır (Ward vd., 2020).

Buna karşın, kimlik alternatiflerinin yalnızca tüketicilerden elde edilen ortalama beğeni puanları üzerinden değerlendirilmesi, tüketicilerin motivasyonel yönelimlerinden kaynaklanan farklılıkların gözden kaçmasına neden olabilir. Marka kimliği unsurları, tüketicilerin motivasyonel yönelimlerine bağlı olarak farklı biçimde değerlendirilebilir.

Düzenleyici odak kuramı, tüketicilerin marka kimliği ipuçlarına verdikleri tepkilerdeki farklılaşmayı açıklamak için uygun bir kuramsal çerçeve sunmaktadır. İlerleme odağı idealler, kazanımlar ve gelişimle; önleme odağı ise güvenlik, sorumluluk ve kayıplardan kaçınmayla ilişkilidir (Higgins, 1997). Kişinin hedefe yönelme biçimi kendi düzenleyici yönelimiyle uyumlu olduğunda ortaya çıkan "doğru hissetme" deneyimi, değerlendirilen nesneye aktarılabilmekte ve onun algılanan değerini artırabilmektedir (Higgins, 2000, 2005). Bu nedenle marka kimliği ipuçlarının yalnızca genel olarak ne ölçüde beğenildiği değil, tüketicinin motivasyonel yönelimiyle ne ölçüde uyum sağladığı da önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, tüketicilerin düzenleyici odakları ile marka kimliği unsurları arasındaki uyumun markaya yönelik tutum üzerindeki etkisini incelemektir. Bu kapsamda marka ismi, logo ve slogan gibi farklı kimlik unsurlarının tüketicinin motivasyonel yönelimiyle uyumunun markaya yönelik değerlendirmelerdeki rolü ele alınmaktadır.

1.1. Kuramsal Çerçeve

Düzenleyici uyum, kişinin hedeflerini kendi düzenleyici yönelimiyle uyumlu bir biçimde takip etmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu uyum, kişinin yaptığı şeyin kendisine "doğru geldiği" yönünde bir deneyim yaşamasına ve bu deneyimden kaynaklanan değerin değerlendirilen nesneye aktarılmasına yol açabilmektedir (Higgins, 2000, 2005). Düzenleyici uyumdan kaynaklanan değerin başka bir nesnenin değerlendirilmesine aktarılabildiği ampirik olarak da gösterilmiştir (Higgins vd., 2003). Benzer biçimde, "doğru hissetme" deneyiminin kaynağına ilişkin yapılan atıflar, uyumun ikna üzerindeki etkisini değiştirebilmektedir (Cesario vd., 2004).

Düzenleyici uyum yalnızca sözel mesajların içeriğiyle sınırlı değildir. Mesaj kaynağının sözel olmayan sunum biçiminin tüketicinin düzenleyici yönelimiyle uyumlu olması da daha olumlu tutumlara yol açabilmektedir (Cesario ve Higgins, 2008). Benzer şekilde mesajların farklı biçimlerde çerçevelenmesi de bireyin düzenleyici yönelimiyle etkileşerek ikna sürecini etkileyebilmektedir (Cesario vd., 2013). Marka kimliği unsurları da tüketiciler açısından farklı çağrışımlar taşıyabilmektedir. Marka isimlerindeki fonetik özelliklerin büyüklük, ağırlık, hız ve güç gibi ürün özelliklerine ilişkin çıkarımları ve marka değerlendirmelerini etkileyebildiği gösterilmiştir (Klink, 2000; Lowrey ve Shrum, 2007; Yorkston ve Menon, 2004). Benzer biçimde, logo biçimleri de farklı çağrışımlar yaratmakta; yuvarlak formlar yumuşaklık, köşeli formlar ise sertlik algısıyla ilişkilendirilmektedir (Jiang vd., 2016). Mesaj çerçevelemesi açısından ise kazanım odaklı ifadeler ilerleme odağıyla, kayıptan kaçınmaya yönelik ifadeler önleme odağıyla daha uyumlu bir yapı göstermektedir (Aaker ve Lee, 2001; Lee ve Aaker, 2004). Bu bulgular, marka ismi, logosu ve sloganı gibi kimlik unsurlarının taşıdığı çağrışımların tüketicinin düzenleyici yönelimiyle uyumunun markaya yönelik değerlendirmeleri etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Düzenleyici uyum yaklaşımına göre, tüketiciler kendi motivasyonel yönelimleriyle uyumlu marka kimliği ipuçlarını daha olumlu değerlendirebilir. Ancak bu etkinin önleme ve ilerleme odaklı tüketicilerde aynı düzeyde ortaya çıkıp çıkmadığı net değildir. Bu çalışmada, düzenleyici uyumun markaya yönelik tutum üzerindeki etkisi ve söz konusu etkinin düzenleyici odak türüne göre farklılaşıp farklılaşmadığı incelenmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki hipotez geliştirilmiştir:

H1. Aynı tüketici için, düzenleyici odakla uyumlu marka kimliği uyaranlarına yönelik tutum, uyumsuz marka kimliği uyaranlarına yönelik tutumdan daha olumludur

2. YÖNTEM

Araştırma çevrim içi deneysel bir tasarımla yürütülmüştür. Ölçüm modelinin değerlendirilmesinde 192 katılımcıdan elde edilen veriler kullanılmıştır. İlerleme ve önleme puanları eşit olduğu için baskın düzenleyici odak atanamayan iki katılımcı, odak temelli analizlere dahil edilmemiş ve bu analizler 190 katılımcı üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Her katılımcı, kahve ve öğrenci yurdu bağlamlarında marka ismi, logosu ve sloganı olmak üzere toplam altı marka kimliği uyaranını değerlendirmiştir. Marka isimleri ön ve arka ünlülerin kullanımıyla oluşturulmuş; logo uyaranlarında köşeli ve yuvarlak biçimler, sloganlarda ise kayıptan kaçınma ve kazanım çerçeveleri kullanılmıştır. Her kimlik unsuru için hazırlanan iki versiyondan biri katılımcılara bağımsız ve rastgele

atanmıştır. Ön testte (N = 42), uyaran versiyonlarının hedeflenen manipülasyon boyutlarında anlamlı biçimde farklılaştığı doğrulanmıştır. Katılımcıların 186'sı en az bir uyumlu ve bir uyumsuz uyaranla karşılaşmış, tüm 190 katılımcı analizlere dahil edilmiştir.

Kronik düzenleyici odak, deney öncesinde Regulatory Focus Questionnaire ile ölçülmüş ve standartlaştırılmış ilerleme–önleme puan farkına göre baskın düzenleyici odak belirlenmiştir (Higgins vd., 2001). Markaya yönelik tutum, her uyaranın ardından kötü–iyi, beğenmeme–beğenme ve olumsuz–olumlu olmak üzere üç maddeden oluşan yedi noktalı anlamsal farklılık ölçeğiyle ölçülmüştür (Spears ve Singh, 2004). Ölçeklerin güvenirlik katsayıları α = ,779–,904 arasında değişmiştir.

Veriler R programı ile analiz edilmiştir. Ölçüm modelinin değerlendirilmesinde 192 katılımcıdan elde edilen veriler kullanılmıştır. Sekiz faktörlü doğrulayıcı faktör analizi, literatürde önerilen kabul edilebilir uyum sınırları içerisinde sonuç vermiştir (χ^2/df = 1,149, CFI = ,982, TLI = ,979, RMSEA = ,028, SRMR = ,049). Bileşik güvenirlik değerleri ,805–,906, ortalama açıklanan varyans (AVE) değerleri ise ,508–,763 arasında değişmiş; tüm HTMT değerleri ,90'ın altında kalmıştır. Bu sonuçlar ölçümlerin güvenirlik, yakınsak geçerlik ve ayrışma geçerliği açısından kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

Toplam 1.140 değerlendirmede 577 uyumlu ve 563 uyumsuz karşılaşma elde edilmiştir. Veriler doğrusal karma etkili modellerle analiz edilmiş; modellerde katılımcı düzeyinde rastgele kesişim ile marka kimliği unsuru ve bağlam için sabit etkiler yer almıştır. Uyum etkisini katılımcıların tesadüfen daha fazla uyumlu uyaranla karşılaşmasından kaynaklanabilecek farklılıklardan ayırmak amacıyla uyum, kişi düzeyi ve karşılaşma düzeyi bileşenlerine ayrılmıştır.

3. BULGULAR

Analizlere dahil edilen 190 katılımcının %73,4'ü 18–25 yaş aralığında, %62,0'si erkektir; katılımcıların 121'i önleme, 69'u ise ilerleme odaklı olarak sınıflandırılmıştır. İlk olarak, markaya yönelik tutumdaki değişimin ne kadarının katılımcılar arasındaki farklılıklardan, ne kadarının aynı katılımcının farklı uyaranlara verdiği tepkilerden kaynaklandığı incelenmiştir. Sonuçlar, toplam varyansın %26,5'inin katılımcılar arasındaki farklılıklardan, %73,5'inin ise aynı katılımcının farklı değerlendirmeleri arasındaki değişimden kaynaklandığını göstermiştir (ICC = ,27).

Betimsel sonuçlarda, düzenleyici odakla uyumlu marka kimliği uyaranlarına yönelik ortalama tutum puanı 4,54 iken, uyumsuz uyaranlarda bu değer 3,80 olarak gerçekleşmiştir. Karma etkili model sonuçları da bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir. Aynı tüketici, kendi düzenleyici odağıyla uyumlu bir marka

kimliği uyaranını uyumsuz bir uyarana kıyasla ortalama 0,79 puan daha olumlu değerlendirmiştir (b = 0,793, SE = 0,110, p < ,001, %95 GA [0,577, 1,009]). Böylece H1 desteklenmiştir.

Tablo 1. Düzenleyici uyumun markaya yönelik tutum üzerindeki etkisi.

Sonuç	**Değer**
Uyumlu uyaranlarda ortalama tutum	4,54
Uyumsuz uyaranlarda ortalama tutum	3,80
Kişi içi uyum etkisi (b)	0,793
Standart hata (SE)	0,110
%95 güven aralığı	[0,577, 1,009]
p	< ,001

Uyum etkisinin düzenleyici odak türüne göre farklılaşıp farklılaşmadığı, modele uyum × odak etkileşimi eklenerek incelenmiştir. Etkileşim anlamlı bulunmuştur (b = −0,538, SE = 0,227, p = ,018). Basit eğim analizleri, uyum etkisinin önleme odaklı tüketicilerde b = 0,988 (SE = 0,136, p < ,001), ilerleme odaklı tüketicilerde ise b = 0,449 (SE = 0,182, p = ,013) olduğunu göstermiştir. Uyum etkisi her iki grupta da anlamlıdır; ancak önleme odaklı tüketicilerde yaklaşık iki katı büyüklüktedir. Bu etkileşim, hücre ve katılımcı düzeyinde sabit etkiler eklendiğinde, aykırı değerler korunduğunda ve analiz yalnızca her iki koşulu da gören 186 katılımcıyla tekrarlandığında da anlamlılığını korumuştur; yalnızca slogan uyaranları çıkarıldığında sınırda kalmıştır (p = ,052).

Katılımcıların tesadüfen daha fazla uyumlu uyaran görmüş olmalarının sonucu açıklayıp açıklamadığı da kontrol edilmiş ve bu etkinin anlamlı olmadığı görülmüştür (b = 0,329, p = ,31). Ayrıca isim, logo ve sloganın kahve ve öğrenci yurdu bağlamlarındaki altı ayrı değerlendirmesinde uyum etkisinin tamamı pozitif yönde bulunmuş ve çoklu karşılaştırma düzeltmesi sonrasında da anlamlılığını korumuştur. Bu bulgular, düzenleyici uyumun markaya yönelik tutum üzerindeki olumlu etkisinin belirli bir marka kimliği unsuruna veya bağlama özgü olmadığını göstermektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma, tüketicilerin kendi düzenleyici odaklarıyla uyumlu marka kimliği uyaranlarını uyumsuz uyaranlara göre daha olumlu değerlendirdiğini göstermiş ve H1 desteklenmiştir. Bu sonuç, düzenleyici uyumun kişide bir "doğru hissetme" deneyimi yaratarak değerlendirmeye ek değer kazandırdığı yönündeki kuramsal açıklamalarla uyumludur (Higgins, 2005; Higgins ve Pinelli, 2020). Uyumdan kaynaklanan bu deneyimin değerlendirilen nesneye aktarılabildiği önceki çalışmalarda da gösterilmiştir (Higgins vd., 2003; Cesario vd., 2004; Avnet ve Higgins, 2006). Ayrıca düzenleyici uyumun daha akıcı bilgi işleme yoluyla daha olumlu değerlendirmelere yol

açabildiği (Lee ve Aaker, 2004) ve etkinin sözel içerikle sınırlı kalmayıp sözel olmayan ipuçları aracılığıyla da ortaya çıkabildiği gösterilmiştir (Cesario ve Higgins, 2008). Mevcut çalışma, bu yaklaşımı marka ismi, logosu ve sloganı gibi farklı marka kimliği unsurları bağlamında ele almaktadır.

Çalışmanın kuramsal açıdan ayırt edici yönlerinden biri, düzenleyici uyumu yalnızca kişiler arası farklılıklar üzerinden değil, aynı tüketicinin farklı marka kimliği uyaranlarına yönelik değerlendirmeleri üzerinden incelemesidir. Markaya yönelik tutum varyansının %73,5'inin kişi içi düzeyde gerçekleşmesi ve uyumlu uyaranların aynı tüketici tarafından daha olumlu değerlendirilmesi, düzenleyici uyumun tüketicinin farklı marka karşılaşmaları boyunca değişen bir değerlendirme örüntüsü oluşturabileceğine işaret etmektedir. Bu bulgu, tüketicilerin kendi düzenleyici kaygılarıyla uyumlu bilgilere seçici biçimde yöneldiğini gösteren Wang ve Lee (2006) ile de uyumludur.

Yönetsel açıdan bulgular, marka ismi, logo ve slogan alternatiflerinin yalnızca genel ortalama beğeni puanlarıyla değerlendirilmesinin bazı tüketici farklılıklarını gizleyebileceğini düşündürmektedir. Marka ön testlerinde tüketicilerin düzenleyici odaklarının da dikkate alınması, hangi alternatifin hangi motivasyonel profilde daha olumlu değerlendirildiğinin belirlenmesini sağlayabilir. Böylece marka yöneticileri yalnızca "hangi seçenek daha çok beğenildi?" sorusuna değil, "hangi seçenek hangi tüketiciler için daha uygun?" sorusuna da yanıt arayabilir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle düzenleyici odak deneysel olarak manipüle edilmemiş, katılımcıların kronik yönelimi olarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, blok sırasının sabit olması ve her koşulun sınırlı sayıda uyaranla temsil edilmesi bulguların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır.

Gelecek çalışmaların farklı marka ismi, logosu ve sloganı setleriyle, farklı kültürel bağlamlarda ve deneysel olarak oluşturulan düzenleyici odak koşullarında bulguları yeniden sınaması yararlı olacaktır. Ayrıca "doğru hissetme", işleme akıcılığı ve seçici dikkat gibi süreçlerin doğrudan ölçülmesi, düzenleyici uyumun markaya yönelik tutumu hangi mekanizmalar aracılığıyla etkilediğinin daha açık biçimde ortaya konmasına katkı sağlayabilir. Satın alma niyeti, seçim ve gerçek davranış gibi sonuç değişkenlerinin incelenmesi ise düzenleyici uyumun marka değerlendirmelerinin ötesindeki etkilerinin anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Aaker, J. L., & Lee, A. Y. (2001). "I" seek pleasures and "we" avoid pains: The role of self-regulatory goals in information processing and persuasion. *Journal of Consumer Research, 28*(1), 33–49. https://doi.org/10.1086/321946

Avnet, T., & Higgins, E. T. (2006). How regulatory fit affects value in consumer choices and opinions. *Journal of Marketing Research, 43*(1), 1–10. https://doi.org/10.1509/jmkr.43.1.1

Cesario, J., Grant, H., & Higgins, E. T. (2004). Regulatory fit and persuasion: Transfer from "feeling right." *Journal of Personality and Social Psychology, 86*(3), 388–404. https://doi.org/10.1037/0022-3514.86.3.388

Cesario, J., Corker, K. S., & Jelinek, S. (2013). A self-regulatory framework for message framing. *Journal of Experimental Social Psychology, 49*(2), 238–249. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2012.10.014

Cesario, J., & Higgins, E. T. (2008). Making message recipients "feel right": How nonverbal cues can increase persuasion. *Psychological Science, 19*(5), 415–420. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02102.x

Dass, M., Kohli, C., & Acharya, M. (2023). An investigation into slogan design on creating slogan–brand alignment: Message clarity and creativity enhance while jingles and rhymes weaken alignment. *Journal of Advertising Research, 63*(1), 43–60. https://doi.org/10.2501/JAR-2023-004

Higgins, E. T. (1997). Beyond pleasure and pain. *American Psychologist, 52*(12), 1280–1300. https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.12.1280

Higgins, E. T. (2000). Making a good decision: Value from fit. *American Psychologist, 55*(11), 1217–1230. https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.11.1217

Higgins, E. T. (2005). Value from regulatory fit. *Current Directions in Psychological Science, 14*(4), 209–213. https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00366.x

Higgins, E. T., Friedman, R. S., Harlow, R. E., Idson, L. C., Ayduk, O. N., & Taylor, A. (2001). Achievement orientations from subjective histories of success: Promotion pride versus prevention pride. *European Journal of Social Psychology, 31*(1), 3–23. https://doi.org/10.1002/ejsp.27

Higgins, E. T., Idson, L. C., Freitas, A. L., Spiegel, S., & Molden, D. C. (2003). Transfer of value from fit. *Journal of Personality and Social Psychology, 84*(6), 1140–1153. https://doi.org/10.1037/0022-3514.84.6.1140

Higgins, E. T., & Pinelli, F. (2020). Regulatory focus and fit effects in organizations. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 7*, 25–48. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-012119-045404

Jiang, Y., Gorn, G. J., Galli, M., & Chattopadhyay, A. (2016). Does your company have the right logo? How and why circular- and angular-logo shapes influence brand attribute judgments. *Journal of Consumer Research, 42*(5), 709–726. https://doi.org/10.1093/jcr/ucv049

Klink, R. R. (2000). Creating brand names with meaning: The use of sound symbolism. *Marketing Letters, 11*(1), 5–20. https://doi.org/10.1023/A:1008184423824

Lee, A. Y., & Aaker, J. L. (2004). Bringing the frame into focus: The influence of regulatory fit on processing fluency and persuasion. *Journal of Personality and Social Psychology, 86*(2), 205–218. https://doi.org/10.1037/0022-3514.86.2.205

Lowrey, T. M., & Shrum, L. J. (2007). Phonetic symbolism and brand name preference. *Journal of Consumer Research, 34*(3), 406–414. https://doi.org/10.1086/518530

Spears, N., & Singh, S. N. (2004). Measuring attitude toward the brand and purchase intentions. *Journal of Current Issues & Research in Advertising, 26*(2), 53–66. https://doi.org/10.1080/10641734.2004.10505164

Wang, J., & Lee, A. Y. (2006). The role of regulatory focus in preference construction. *Journal of Marketing Research, 43*(1), 28–38. https://doi.org/10.1509/jmkr.43.1.28

Ward, E., Yang, S., Romaniuk, J., & Beal, V. (2020). Building a unique brand identity: Measuring the relative ownership potential of brand identity element types. *Journal of Brand Management, 27*(4), 393–407. https://doi.org/10.1057/s41262-020-00187-6

Yorkston, E., & Menon, G. (2004). A sound idea: Phonetic effects of brand names on consumer judgments. *Journal of Consumer Research, 31*(1), 43–51. https://doi.org/10.1086/383422

DİJİTAL MEDYADA SAĞLIK İLETİŞİMİ: YOUTUBE'DA YAYINLANAN SAĞLIK VİDEOLARININ BETİMSEL ANALİZİ

Öğr. Gör. Dr. Mustafa GÜLSÜN

Muş Alparslan Üniversitesi, Temel İletişim, m.gulsun@alparslan.edu.tr, 0000-0002-1202-6246

Özet

Dijital iletişim teknolojilerinin günlük yaşamın önemli bir parçası hâline gelmesi, sağlıkla ilgili bilgi ve mesajların bireylere ulaştırılma biçimlerini de değiştirmiştir. Özellikle YouTube gibi video temelli platformlar, sağlık bilgisinin geniş kitlelere aktarılmasına, uzman görüşlerinin görünürlük kazanmasına ve sağlık konusunda farkındalık oluşturulmasına olanak sağlayan yeni iletişim ortamları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte dijital ortamda sunulan sağlık bilgilerinin hangi konulara odaklandığı, nasıl aktarıldığı ve bireyleri hangi sağlık davranışlarına yönlendirdiği, sağlık iletişimi açısından üzerinde durulması gereken bir konu hâline gelmiştir. Bu çalışmada, YouTube'da yayımlanan sağlık videolarının sağlık iletişimi açısından incelenmesi ve bu içeriklerde öne çıkan iletişim biçimlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Araştırmada betimsel analiz yöntemi kullanılmış; doğrudan sağlık bilgisi veren, hastalıklar ve sağlık riskleri konusunda bilgilendirme yapan, koruyucu sağlık davranışlarını destekleyen ve sağlık farkındalığı oluşturmayı amaçlayan 15 YouTube videosu incelenmiştir. Örneklemde epilepsi, kanser, obezite, Alzheimer, KOAH, akciğer kanseri, tüberküloz, diyabet, inme, kuduz, fiziksel aktivite, yaşlı sağlığı, hipertansiyon ve rahim ağzı kanseri gibi farklı sağlık konularına yönelik içerikler yer almaktadır. Bulgular, videolarda özellikle hastalıklar hakkında temel bilgi verme, riskler konusunda farkındalık oluşturma, erken tanı ve korunmaya yönelik mesajlar sunma biçimlerinin öne çıktığını göstermektedir. Ayrıca sağlık bilgilerinin önemli ölçüde hekim ve diğer sağlık profesyonelleri aracılığıyla aktarılması, incelenen içeriklerde uzmanlık ve kurumsal güvenilirliğin belirgin bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanında bazı videolarda yalnızca hastalığa ilişkin bilgi verilmediği, izleyicilerin koruyucu sağlık hizmetlerinden yararlanmaya ve sağlıklı yaşam davranışlarına yönlendirildiği görülmüştür. Özellikle yaşlı sağlığı gibi belirli gruplara yönelik içerikler, YouTube'un farklı sağlık gereksinimlerine sahip hedef kitlelere ulaşma açısından da kullanılabildiğini göstermektedir. Sonuç olarak YouTube, sağlık kurumları ve sağlık profesyonelleri açısından sağlık bilgisinin yayılması, farkındalık oluşturulması ve koruyucu sağlık davranışlarının desteklenmesi bakımından işlevsel bir iletişim kanalı olarak değerlendirilebilir. Ancak sağlık içeriklerinin dijital ortamda kolayca erişilebilir olması tek başına yeterli değildir; bu içeriklerin bilimsel açıdan doğru, anlaşılır ve hedef kitlenin ihtiyaçlarına uygun biçimde hazırlanması, sağlık iletişiminin niteliği açısından önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Sağlık iletişimi, dijital medya, YouTube

HEALTH COMMUNİCATİON İN DİGİTAL MEDİA: A DESCRİPTİVE ANALYSİS OF HEALTH VİDEOS POSTED ON YOUTUBE

Abstract

The increasing integration of digital communication technologies into everyday life has also changed the ways in which health-related information and messages are delivered to individuals. In particular, video-based platforms such as YouTube have become important communication environments that enable health information to reach wider audiences, increase the visibility of expert opinions, and raise awareness of health-related issues. At the same time, the topics addressed in digital health content, the ways in which health information is presented, and the types of health behaviors encouraged through these contents have become important issues in the field of health communication. This study aims to examine health-related videos published on YouTube from a health communication perspective and to identify the main communication approaches reflected in these contents. A descriptive analysis was conducted on 15 YouTube videos that provide direct health information, inform viewers about diseases and health risks, promote preventive health behaviors, and aim to raise health awareness. The sample includes videos addressing a range of health issues, including epilepsy, cancer, obesity, Alzheimer's disease, chronic obstructive pulmonary disease, lung cancer, tuberculosis, diabetes, stroke, rabies, physical activity, older adult health, hypertension, and cervical cancer. The findings indicate that providing basic information about diseases, raising awareness of health risks, and emphasizing early diagnosis and prevention are among the most prominent communication approaches in the videos examined. The findings also show that health information is largely presented by physicians and other health professionals, highlighting the role of professional expertise and institutional credibility in the communication of health information. In addition, some of the videos go beyond providing information about diseases and encourage viewers to make use of preventive health services and adopt healthier lifestyle behaviors. Content addressing specific groups, particularly older adults, also demonstrates that YouTube can be used to reach audiences with different health needs. Overall, the findings suggest that YouTube serves as a functional communication channel for health institutions and professionals in disseminating health information, raising awareness, and supporting preventive health behaviors. However, the accessibility of health content alone is not sufficient. The scientific accuracy, comprehensibility, and suitability of such content to the needs of its intended audience are also important for the quality and effectiveness of health communication.

Keywords: Health communication, digital media, YouTube

1. GİRİŞ

Sağlık, bireyin yaşamını doğrudan etkileyen ve günlük yaşamındaki kararlarla yakından ilişkili olan temel bir konudur. Sağlığın korunması ve geliştirilmesi yalnızca sağlık hizmetlerine erişimle değil, bireylerin doğru ve anlaşılır sağlık bilgisine ulaşabilmeleriyle de ilişkilidir. Bu noktada sağlık iletişimi, sağlıkla ilgili bilgi ve mesajların bireylere ve topluma aktarılmasında önemli bir işlev üstlenmektedir.

Dijital teknolojilerin gündelik yaşamın bir parçası hâline gelmesiyle birlikte sağlık bilgilerinin sunulduğu ortamlar da değişmiştir. İnternet ve sosyal medya platformları, bireylerin sağlıkla ilgili bilgi aradığı ve farklı içeriklerle karşılaştığı önemli iletişim alanlarına dönüşmüştür. Özellikle video içerikleri, sağlık bilgilerinin görsel ve işitsel unsurlarla birlikte aktarılmasına olanak sağlaması nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu açıdan YouTube, sağlık kurumları ve sağlık profesyonellerinin geniş kitlelere ulaşabildiği önemli bir dijital iletişim ortamıdır.

YouTube'da hastalıklar, korunma yolları, erken tanı, sağlıklı yaşam ve farkındalık gibi farklı sağlık konularında çok sayıda video yayımlanmaktadır. Ancak bu içeriklerin yalnızca hangi konuları ele aldığı değil, sağlık bilgisinin nasıl sunulduğu ve izleyiciye hangi mesajların aktarıldığı da önem taşımaktadır. Bu nedenle dijital ortamda yayımlanan sağlık videolarının sağlık iletişimi açısından değerlendirilmesi, günümüzde sağlık bilgisinin nasıl dolaşıma girdiğini anlamak açısından önemlidir.

Bu doğrultuda çalışma, YouTube'da yayımlanan sağlık videolarının konu, anlatım ve iletişim amacı bakımından nasıl şekillendiğini betimlemeye odaklanmaktadır. İncelenen içeriklerde hastalık bilgilendirmesi, koruyucu sağlık, farkındalık, sağlıklı yaşam ve belirli grupların sağlık ihtiyaçları gibi farklı başlıkların bir arada bulunması, dijital sağlık iletişiminin tek bir iletişim biçiminden oluşmadığını göstermektedir. Dolayısıyla araştırma, YouTube'u sağlık bilgisinin yalnızca yayımlandığı bir mecra olarak değil, sağlıkla ilgili mesajların üretildiği, düzenlendiği ve izleyiciyle buluşturulduğu bir iletişim alanı olarak değerlendirmektedir.

2. SAĞLIK İLETİŞİMİ

Dünya Sağlık Örgütü sağlığı, yalnızca hastalık ya da sakatlığın bulunmaması olarak değil; bireyin fiziksel, ruhsal ve sosyal açıdan tam bir iyilik hâli içinde olması şeklinde tanımlamaktadır. Bu yönüyle sağlık, bireyin en temel ve vazgeçilmez haklarından biri olarak kabul edilmektedir (Polan & Taylor, 2023).

Sağlık iletişimi ise, bireylerin ve toplumların sağlık düzeyini geliştirmeye yönelik kişilerarası ve kitle iletişimi süreçlerini kapsayan önemli bir halk sağlığı alanıdır. Hastalıkların önlenmesi, sağlığın geliştirilmesi ve bireylerin doğru sağlık kararları alabilmesi açısından sağlık iletişimi; sağlık çalışanı-hasta ilişkilerinden sağlık

kampanyalarına, risk iletişiminden medyada sağlık temsillerine kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Günümüzde bireylerden kendi sağlıklarını yönetmeleri ve çeşitli sağlık kararlarına aktif biçimde katılmaları beklenmektedir. Ancak bu kararların sağlıklı biçimde alınabilmesi, bireylerin erişilebilir, anlaşılır ve ihtiyaçlarına uygun sağlık bilgilerine ulaşabilmelerine bağlıdır (Ishikawa & Kiuchi, 2010: 2).

Sağlıkla ilgili bilgi ve mesajların bireylere doğru biçimde ulaştırılması ise sağlık iletişiminin temel işlevini oluşturmaktadır. Bireylerin kendi aralarında gerçekleştirdikleri bilgi paylaşımının yanı sıra, kitle iletişim araçları ve dijital medya aracılığıyla sunulan sağlık içerikleri de sağlık algısını, bilgi düzeyini ve sağlık davranışlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Sağlık mesajlarının nasıl algılandığı ve yorumlandığı; bireylerin sağlık hizmetlerinden yararlanma biçimlerini, sağlık hizmetlerinden duydukları memnuniyeti ve sağlıklı yaşam davranışlarını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle sağlık iletişiminin temel amacı, etkili iletişim stratejileri aracılığıyla bireylerde olumlu sağlık davranışlarını desteklemek, sağlık konusunda farkındalık oluşturmak ve sonuçta hem bireysel hem de toplumsal sağlığın geliştirilmesine katkı sağlamaktır (Koçak & Bulduklu, 2013: 5).

Sağlık iletişimi, günümüzde iletişim araştırmalarının önemli çalışma alanlarından biri olmasına karşın, bağımsız bir disiplin olarak gelişimi oldukça yenidir. 20. yüzyıla kadar daha çok salgın hastalıklar konusunda toplumu bilgilendirmeye yönelik sınırlı bir işlev üstlenen sağlık iletişimi, modern tıbbın yaygınlaşması, İkinci Dünya Savaşı sonrasında toplum sağlığının ön plana çıkması ve sağlık alanına yapılan yatırımların artmasıyla birlikte kurumsal bir nitelik kazanmıştır. Özellikle 1970'li yıllarda ABD'de kavramsallaşan sağlık iletişimi, 1990'lı yıllardan itibaren uluslararası iletişim araştırmalarının da etkisiyle hızla gelişen bir disiplin hâline gelmiştir (Yılmaz & Günay, 2022: 77).

İletişim teknolojilerinin hızla değişmesi, sağlık mesajlarının hedef kitlelerin kullandığı yeni iletişim kanallarına uygun biçimde geliştirilmesini gerekli hâle getirmektedir. Tüm bu zorluklara rağmen sağlık iletişimi, iletişim süreçlerini anlamaya ve insan davranışlarında olumlu değişimler oluşturmaya yönelik kuramsal ve uygulamalı yaklaşımı sayesinde giderek önem kazanan bir alan hâline gelmiştir. Özellikle günümüzde birçok halk sağlığı sorununun insan davranışlarıyla doğrudan ilişkili olması, sağlık iletişiminin disiplinlerarası çalışmalar yoluyla bireysel ve toplumsal sağlığın geliştirilmesindeki rolünü daha da önemli kılmaktadır (Rimal & Lapinski, 2009).

Günlük yaşamda bireyler, geleneksel ve dijital pek çok iletişim kanalı aracılığıyla sağlıkla ilgili mesajlarla sürekli karşılaşmaktadır. Eczaneler, açık hava reklamları, basılı yayınlar, radyo, televizyon ve internet gibi farklı mecralar, sağlık bilgilerinin toplumla buluşturulmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Özellikle sağlık

iletişimi kapsamında yürütülen kampanyalar; bireylerin sağlık risklerinin farkına varmalarını, sağlıklı yaşam davranışlarını benimsemelerini, erken tanının önemini kavramalarını ve güncel tanı ile tedavi yöntemleri hakkında bilgi edinmelerini desteklemektedir. Bu yönüyle sağlık iletişimi, farklı iletişim araçlarını kullanarak sağlıkla ilgili bilgi ve mesajların hedef kitleye etkili biçimde ulaştırılmasını sağlayan önemli bir süreçtir (Öztürk & Vardarlıer, 2020: 36).

Günümüzde sağlık iletişiminin en yaygın biçimde yürütüldüğü mecraların başında dijital medya gelmektedir.

3. **DİJİTAL MEDYA**

Dijital medya, metin, ses, görüntü, video ve fotoğraf gibi sayısal olarak kodlanmış içeriklerin bilgisayar ve internet tabanlı ortamlar aracılığıyla üretilmesi, paylaşılması ve tüketilmesini ifade etmektedir. İnternet teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte yaygınlaşan dijital medya, geleneksel analog medyadan farklı olarak çift yönlü ve etkileşimli bir iletişim yapısı sunmaktadır. Bu yapı, kullanıcıların yalnızca içerik tüketmesine değil, aynı zamanda içerik üretmesine, iletişimi zamandan bağımsız biçimde sürdürmesine ve içerikleri kaydederek yeniden erişebilmesine olanak tanımaktadır. Bu özellikleri sayesinde dijital medya, bireylerin iletişim alışkanlıklarını dönüştüren ve toplumsal yaşam üzerinde giderek daha belirgin etkiler yaratan bir iletişim ortamı hâline gelmiştir (Karaboğa, 2019: 2043).

Bireylere eğlence, bilgi, sosyal etkileşim ve pazarlama içeriklerine anında erişim olanağı sunarken, kullanıcıların yalnızca içerik tüketen değil aynı zamanda içerik üreten aktörler hâline gelmesini de sağlamaktadır. Mobil uygulamalar, çok oyunculu video oyunları, YouTube ve video blogları bu dönüşümün öne çıkan örnekleri arasında yer almaktadır (Reid Chassiakos et al, 2016).

Dijital medya, teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli çeşitlenen ve farklı içerik türlerini bir araya getiren çok boyutlu bir iletişim ortamıdır. Bu nedenle literatürde dijital medyanın tek bir sınıflandırması bulunmamakta, farklı araştırmacılar çeşitli ölçütlere göre farklı kategoriler önermektedir. Genel olarak dijital medya; metin, görsel, ses ve video tabanlı içeriklerin yanı sıra etkileşimli uygulamalar, e-kitap ve e-yayınlar, artırılmış ve sanal gerçeklik teknolojileri ile sosyal medya platformlarını kapsamaktadır. Bu mecralar, kullanıcıların yalnızca bilgiye erişmesini değil, aynı zamanda içerik üretmesini, paylaşmasını ve diğer kullanıcılarla etkileşim kurmasını da mümkün kılmaktadır. Akıllı cihazlar ve internet teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte dijital medya, iletişimden eğitime, eğlenceden pazarlamaya kadar pek çok alanda günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası hâline gelmiş; kullanıcı deneyimini daha katılımcı, erişilebilir ve çok yönlü bir yapıya dönüştürmüştür (Akarcan, 2024: 49).

Dijital medyanın yaygınlaşması yalnızca teknolojik gelişmelerle değil, bu teknolojilere yönelik toplumsal beklentiler ve kullanım alışkanlıklarıyla da yakından ilişkilidir. Yeni teknolojilerin geliştiricileri ve yatırımcıları, bu yeniliklerin toplum tarafından benimsenmesini desteklemek amacıyla çeşitli stratejiler ve altyapı yatırımları planlamaktadır. Ancak bir teknolojinin ne ölçüde kabul göreceğini önceden kesin olarak öngörmek mümkün değildir. Bu noktada Fischer'in telefonun Amerika'daki yaygınlaşmasına ilişkin değerlendirmesi dikkat çekicidir. Fischer'e göre telefon, toplumsal yaşamı tek başına dönüştüren bir unsur olmaktan ziyade, mevcut yaşam biçimleri ve kullanıcı alışkanlıkları doğrultusunda benimsenmiştir. Benzer şekilde dijital medya teknolojilerinin de yaygınlaşması, sahip oldukları teknik özelliklerden çok bireylerin günlük yaşam pratikleri ve ihtiyaçlarıyla ne ölçüde örtüştüğüne bağlı olarak şekillenmektedir (Sönmezer & Büyükbaykal, 2024: 757).

Dijital medya, kullanıcıların bilgi üretmesine, paylaşmasına ve karşılıklı etkileşim kurmasına olanak tanıyan yapısıyla sağlık iletişiminde önemli bir bilgi ve iletişim ortamı olarak öne çıkmaktadır. Web 2.0 teknolojilerinin sağladığı etkileşimli yapı sayesinde sağlıkla ilgili içerikler farklı sosyo-demografik gruplara hızlı, düşük maliyetli ve geniş ölçekte ulaştırılabilmekte; YouTube, Instagram ve X gibi sosyal medya platformları sağlık bilgisinin yayılması, deneyim paylaşımı ve toplumsal farkındalığın artırılmasında etkin biçimde kullanılmaktadır (Tamer Gencer, Daşlı & Biçer, 2019: 45).

4. BULGULAR

Araştırma kapsamında YouTube'da yayımlanan sağlık videoları, sağlık iletişimi perspektifinden betimsel olarak incelenmiştir. Örneklem oluşturulurken doğrudan sağlık bilgisi veren, hastalıklar ve sağlık riskleri hakkında bilgilendirme yapan, koruyucu sağlık davranışlarını destekleyen ve sağlık konusunda farkındalık oluşturmayı amaçlayan videolar dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda örneklemde Epilepsi Nedir?, KETEM'ler ile Kanserde Erken Teşhis, Obezite Hakkında Bilmeniz Gerekenler, Alzheimer Nedir? Uzmanına Sorduk, KOAH Nedir?, Akciğer Kanseri Nedir?, Tüberküloz Nedir?, Diyabet Nedir?, İnme Nedir?, Meme Kanseri Farkındalık Ayı, Kuduz Nedir?, Fiziksel Aktivitenin Önemi, Yaşlı Sağlığı, Hipertansiyon Nedir? ve Rahim Ağzı (Serviks) Kanseri Nedir? başlıklı 15 sağlık videosu değerlendirilmiştir. Bu videoların tamamı sağlık kurumlarının bilgilendirme içerikleri arasında yer almakta ve önemli bir bölümü sağlık profesyonellerinin açıklamalarına dayanmaktadır.

4.1. İncelenen Videoların Konu Dağılımı

Videoların konu dağılımına bakıldığında içeriklerin büyük ölçüde hastalıklar, hastalıklardan korunma ve sağlıklı yaşam davranışları etrafında toplandığı görülmektedir. Örneklem içerisinde kanser, kronik hastalıklar, bulaşıcı hastalıklar, nörolojik hastalıklar, kalp-damar sağlığı ve sağlıklı yaşam gibi farklı sağlık alanlarına yönelik içerikler bulunmaktadır.

Kanser konusu örneklemde belirgin bir ağırlığa sahiptir. KETEM'ler ile Kanserde Erken Teşhis, Akciğer Kanseri Nedir?, Meme Kanseri Farkındalık Ayı ve Rahim Ağzı (Serviks) Kanseri Nedir? başlıklı videolar farklı kanser türleri ve erken tanı konusunda bilgilendirme yapmaktadır. Özellikle KETEM videosunda erken tanının önemi, ücretsiz tarama hizmetleri ve başvuru süreci hakkında bilgi verildiği görülmektedir.

Kronik hastalıklar bakımından ise **"**Obezite Hakkında Bilmeniz Gerekenler", "KOAH Nedir?", "Diyabet Nedir?" ve "Hipertansiyon Nedir?" başlıklı videolar öne çıkmaktadır. Bu içeriklerde hastalıkların tanımlanması, risk faktörlerinin açıklanması ve bireylerin sağlıklarını korumalarına yönelik bilgilendirmeler ön plana çıkmaktadır. Sağlık kurumlarının bilgilendirme listelerinde bu konuların uzmanlar tarafından hazırlanmış içerikler olarak yer aldığı görülmektedir.

4.2. Hastalık Bilgilendirmesine Dayalı Sağlık İletişimi

İncelenen videoların önemli bir bölümünde temel iletişim yaklaşımının hastalık hakkında anlaşılır bilgi verme olduğu görülmektedir. **"**Epilepsi Nedir**?"** videosu bu açıdan belirgin bir örnek oluşturmaktadır. Videoda epilepsinin ne olduğu, nöbet sırasında doğru ilk yardımın nasıl yapılması gerektiği ve hangi uygulamalardan kaçınılması gerektiği açıklanmaktadır. İçeriğin Prof. Dr. İsmet Melek tarafından hazırlanmış olması, sağlık bilgisinin uzman kaynağı üzerinden aktarılması bakımından dikkat çekmektedir.

Benzer biçimde **"**Alzheimer Nedir? Uzmanına Sorduk", "Tüberküloz Nedir?", "KOAH Nedir?", "İnme Nedir?" ve "Hipertansiyon Nedir**?"** başlıklı içeriklerde de sağlık sorunlarının temel özelliklerinin açıklanmasına dayalı bir iletişim biçimi görülmektedir. Erzurum İl Sağlık Müdürlüğünün sağlık bilgilendirme video listesinde bu içeriklerin önemli bir bölümünün ilgili uzmanların isimleriyle birlikte sunulması, uzmanlık bilgisinin sağlık mesajlarının temel kaynağı olarak kullanıldığını göstermektedir.

4.3. Sağlık Bilgisinin Uzmanlar Aracılığıyla Sunulması

Araştırmada dikkat çeken bulgulardan biri, sağlık bilgilerinin önemli ölçüde sağlık profesyonelleri aracılığıyla aktarılmasıdır. Örneğin **"**Epilepsi Nedir**?"** videosunda Prof. Dr. İsmet Melek, **"**KETEM'ler ile Kanserde Erken

Teşhis**”** videosunda ise KETEM Sorumlu Hekimi Dr. Serpil Özbek sağlık mesajlarını doğrudan izleyiciye aktarmaktadır.

Erzurum İl Sağlık Müdürlüğünün video listesinde de Alzheimer, diyabet, inme, meme kanseri, kuduz, fiziksel aktivite, yaşlı sağlığı ve kalp-damar hastalıkları gibi konuların uzman hekimlerin isimleriyle birlikte sunulduğu görülmektedir.

Bu durum, incelenen içeriklerde sağlık bilgisinin kişisel deneyim ya da gündelik önerilerden ziyade kurumsal ve uzmanlık temelli bir kaynaktan aktarılmasının tercih edildiğini göstermektedir. Dolayısıyla örneklem, YouTube'un sağlık iletişiminde kurumsal uzmanlık bilgisinin geniş kitlelere aktarılması amacıyla kullanılabildiğini ortaya koymaktadır.

4.4. Sağlık Mesajlarının Bilgilendirici Niteliği

İncelenen videoların başlıkları ve içerik amaçları birlikte değerlendirildiğinde, bilgilendirici anlatım biçiminin örneklem genelinde baskın olduğu görülmektedir. “Nedir?”, “hakkında bilmeniz gerekenler” ve “uzmanına sorduk” gibi başlıklandırmalar, izleyiciye doğrudan sağlık bilgisi sunma amacını açık biçimde ortaya koymaktadır.

Örneğin **“**Obezite Hakkında Bilmeniz Gerekenler**”** içeriğinde obezitenin nedenleri, risk faktörleri, beslenme ve fiziksel aktivite gibi farklı boyutlar ele alınmaktadır. Bu durum, sağlık iletişimi mesajının yalnızca hastalığın tanımını vermekle sınırlı kalmayıp bireyin sağlık davranışlarıyla ilişkilendirildiğini göstermektedir.

5. SONUÇ

Genel olarak değerlendirildiğinde, incelenen YouTube videolarında bilgilendirme, farkındalık oluşturma, koruyucu sağlık davranışlarını destekleme ve sağlık hizmetlerine yönlendirme amaçlarının öne çıktığı görülmektedir. İçeriklerin önemli bölümünde sağlık profesyonellerinin kullanılması, sağlık bilgisinin kurumsal ve uzmanlık temelli bir kaynak üzerinden aktarılmasına olanak sağlamaktadır.

Bununla birlikte videoların yalnızca bilgi vermesi, sağlık iletişiminin etkili olduğu anlamına gelmemektedir. Sağlık mesajının açık, anlaşılır ve hedef kitlenin ihtiyaçlarına uygun biçimde sunulması da önem taşımaktadır. Bu nokta çalışmanın kuramsal çerçevesinde ele alınan sağlık okuryazarlığı yaklaşımıyla ilişkilendirilebilir. Bireyin sağlık bilgisine ulaşabilmesi kadar bu bilgiyi anlayabilmesi ve günlük yaşamında kullanabilmesi de sağlık iletişiminin başarısı açısından önemlidir.

Sonuç olarak araştırma kapsamında incelenen videolar, YouTube'un sağlık iletişiminde özellikle uzman bilgisine dayalı sağlık enformasyonunun yayılması, koruyucu sağlık konusunda farkındalık oluşturulması ve

bireylerin sağlık davranışlarının desteklenmesi açısından işlevsel bir mecra olarak kullanıldığını göstermektedir. Bununla birlikte dijital ortamda sağlık içeriklerinin yaygınlaşması, içeriklerin yalnızca erişilebilir olmasını değil; bilimsel doğruluk, anlaşılabilirlik ve iletişim sorumluluğu açısından da değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu değerlendirme, çalışmanın özetinde vurgulanan sağlık içeriklerinin kalite ve güvenilirlik bakımından farklılık gösterebildiği yönündeki temel yaklaşımla da uyumludur.

KAYNAKLAR

Akarcan, M. (2024). Dijital Medya Bağımlılığının Getirdiği Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *Karadeniz Kamu ve Sosyal Bilimler Dergisi* , *7* (1), 47-54. https://doi.org/10.52704/bssocialscience.1383503

Ishikawa, H., & Kiuchi, T. (2010). Health literacy and health communication. *BioPsychoSocial medicine*, *4*(1), 18.

Karaboğa, M. T. (2019). Dijital Medya Okuryazarlığında Anne ve Baba Eğitimi. *OPUS International Journal of Society Researches*, *14*(20), 2040-2073. https://doi.org/10.26466/opus.601942

Koçak, A., & Bulduklu, Y. (2013). Sağlık İletişimi: Yaşlıların Televizyonda Yayınlanan Sağlık Programlarını İzleme Motivasyonları. *Selçuk İletişim*, *6*(3), 5-17. https://doi.org/10.18094/si.72403

Öztürk, C., & Vardarlıer, P. (2020). Sağlığın Geliştirilmesi Ve Sağlık İletişimi: Sağlık Kurumlarının Sosyal Medya Mecra Kullanımının İncelenmesi. *Modern Leisure Studies*, *2*(1), 33-56. https://izlik.org/JA32JS22TW

Polan, E., & Taylor, D. (2023). Journey Across The Life Span: Human Development And Health Promotiion. FA Davis.

Reid Chassiakos, Y. L., Radesky, J., Christakis, D., Moreno, M. A., Cross, C., Hill, D., ... & Swanson, W. S. (2016). Children and adolescents and digital media. *Pediatrics*, *138*(5).

Rimal, R. N., & Lapinski, M. K. (2009). Why health communication is important in public health. *Bulletin of the World Health Organization*, *87*, 247-247a.

Sönmezer, Z. ve Ilgaz Büyükbaykal, AC (2024). Dijital Medya ve Teknolojinin Kolektif Kullanımı. *Türk Çevrimiçi Tasarım Sanatı ve İletişim Dergisi*, *14* (3), 753-762. https://doi.org/10.7456/tojdac.1464676

Tamer Gencer, Z., Daşlı, Y. ve Biçer, EB (2019). Sağlık İletişiminde Yeni Yaklaşımlar: Dijital Medya Kullanımı. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi* , *22* (1), 42-52. https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.466855

Yılmaz, D., & Günay, M. A. (2022). Türkiye'de Sağlık İletişimi: Sağlık Çalışanları Üzerine Yapılmış Bir Araştırma. *İnönü University Faculty Of Communication Electronic Journal (Inıf E-Dergi)*, *7*(1), 75-91. Https://Doi.Org/10.47107/İnifedergi.977601

ÇEVRE, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE DİN İLİŞKİSİ BAĞLAMINDA İLAHİYAT EĞİTİMİ: HOLLANDA, TÜRKİYE VE BOSNA-HERSEK ÖRNEĞİ

Arş. Gör. Dr. Hilal KÖŞKER GÜVEN[1]/

[1]Karabük Üniversitesi İlahiyat Fakültesi, Temel İslam Bilimleri Bölümü, Tefsir ABD,

hilalkosker@karabuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-6563-3755

Özet

Teknolojik gelişmeler, sanayileşme, tüketim alışkanlıkları, iklim değişiklikleri ve çevre problemleri günümüz dünyasının huzursuz edici gerçeklerindendir. İnsanların bir kısmı bu konuda duyarlı bir yaklaşım sergilerken kimileri görmezden gelmeyi tercih etmekte, kimilerinin ise mevcut durum hakkında en ufak bir bilgisinin dahi olmadığı görülmektedir. Tıpkı insanlar gibi ülkelerin de bu konudaki tutumları farklılıklar sergilemektedir. Çalışmada Hollanda, Türkiye ve Bosna-Hersek'teki ilahiyat ve din çalışmaları alanlarında çevre problemlerinin nasıl ve ne ölçüde ele alındıkları incelenmektedir. Her üç ülkenin öne çıkan üniversitelerindeki ilahiyat fakülteleri, çevre, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve din ilişkisi konularında sunmuş oldukları dersler ve araştırma enstitüleri özelinde ele alınmaktadır.

Çalışma üç ülke ile sınırlandırılmıştır. Hollanda'da bulunan Vrije Universiteit Amsterdam, University of Groningen, Leiden University ve Utrecht University; Türkiye'de İstanbul Üniversitesi, Marmara Üniversitesi, Ankara Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Bayburt Üniversitesi; Bosna-Hersek'te ise Saraybosna Üniversitesi, Zenica Üniversitesi ve Bihać Üniversitesi örnek olarak seçilmiştir. Çalışmanın ana kaynaklarını zikredilen üniversitelerin web sitelerinde bulunan bilgi paketleri ve ders içerikleri oluşturmaktadır.

Bu çalışma, Hollanda, Türkiye ve Bosna-Hersek'teki ilahiyat fakültelerindeki çevre ve din konusundaki lisans ve lisansüstü düzeydeki dersler arasındaki benzerlik ve farklılıkları inceleyerek, üç ülke arasındaki akademik yaklaşımları karşılaştırma fırsatı sunmaktadır. Bu karşılaştırmanın söz konusu ülkelerdeki ilahiyat eğitiminin çevre, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve din ilişkisi konusunda güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyarak, bu alandaki eğitim programlarının geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Araştırma bulguları, Hollanda'nın incelenen üç ülke arasında konuyu en kurumsallaşmış biçimde ele aldığını, çevre-din ilişkisinin lisans, yüksek lisans ve doktora düzeyinde müstakil dersler ve araştırma merkezleriyle desteklendiğini ortaya koymaktadır. Türkiye'de ilahiyat fakültelerinin büyük çoğunluğunda konuya dair bir derse rastlanmazken, mevcut lisansüstü programlar da ilahiyat alanının dışında kalmaktadır. Bosna-Hersek örneği bu iki uç arasında bir konum sergilemekte; müstakil bir ders bulunmamakla birlikte, etik, fıkıh ve din

eğitimi gibi derslerin içine çevre temalarının kısmen entegre edildiği görülmektedir. Çalışma, ilahiyat eğitiminde çevre bilincinin kazandırılmasına yönelik müfredat geliştirme çalışmalarının güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: çevre, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik, din, ilahiyat

THEOLOGICAL EDUCATION IN THE CONTEXT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ENVIRONMENT, CLIMATE CHANGE AND RELIGION: THE CASE OF THE NETHERLANDS, TÜRKİYE AND BOSNIA AND HERZEGOVINA

Abstract

Technological developments, industrialization, consumption habits, climate change and environmental problems are among the disquieting realities of today's world. While some people display a sensitive approach to this issue, others prefer to ignore it, and still others appear to have no awareness whatsoever of the current situation. Just like individuals, countries too exhibit differing attitudes toward this issue. This study examines how and to what extent environmental problems are addressed within the fields of theology and religious studies in the Netherlands, Türkiye, and Bosnia and Herzegovina. The theology faculties of the leading universities in each of the three countries are examined specifically in terms of the courses and research institutes they offer on the relationship between environment, climate change, sustainability, and religion.

The study is limited to three countries. The following universities were selected as examples: in the Netherlands, Vrije Universiteit Amsterdam, University of Groningen, Leiden University, and Utrecht University; in Türkiye, Istanbul University, Marmara University, Ankara University, Sakarya University, Van Yüzüncü Yıl University, Istanbul Technical University, and Bayburt University; and in Bosnia and Herzegovina, the University of Sarajevo, the University of Zenica, and the University of Bihać. The study's primary sources consist of the information packages and course content available on the websites of the aforementioned universities.

By examining the similarities and differences among undergraduate and graduate courses on environment and religion in the theology faculties of the Netherlands, Türkiye, and Bosnia and Herzegovina, this study offers an opportunity to compare the academic approaches across the three countries. This comparison is expected to reveal the strengths and weaknesses of theological education in these countries with respect to environment, climate change, sustainability, and religion, thereby contributing to the development of educational programs in this field.

The research findings reveal that, among the three countries examined, the Netherlands addresses the subject in the most institutionalized manner, with the environment-religion relationship supported by dedicated courses and research centers at the undergraduate, graduate, and doctoral levels. In Türkiye, the vast majority of theology faculties offer no course on the subject, and the existing graduate programs also fall outside the field of theology. The case of Bosnia and Herzegovina occupies a position between these two extremes; although no

dedicated course exists, environmental themes are found to be partially integrated into existing courses such as ethics, Islamic jurisprudence (fiqh), and religious education. The study indicates that curriculum development efforts aimed at instilling environmental awareness in theological education need to be strengthened.
Keywords: environment, climate change, sustainability, religion, theology

1. GİRİŞ

Yüzyılın en büyük ekolojik ve etik açmazlarından biri olan küresel iklim değişikliği, yalnızca teknik ve bilimsel bir mesele olmayıp; ekonomik, sosyal, hukuki ve ahlaki boyutları bulunan çok katmanlı küresel bir krizdir.(Kavut, 2025, s. 228) Felsefi ve teolojik bir temelden yoksun, sığ ve yalnızca teknolojik çözümlere dayanan geleneksel yaklaşımlar doğadaki bozulmayı ve yok oluşu durdurmada tek başına yetersiz kalmaktadır.(İğci & Çobanoğlu, 2019, s. 135) Bu bağlamda, toplumların iklim kriziyle mücadele kapasitesi, geliştirdikleri makro düzeydeki kurumsal yönetim modelleriyle olduğu kadar, çevreye karşı sorumluluğu ahlaki bir ödev olarak aşılayan eğitim politikaları ve değer sistemleriyle de doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda çalışmamızda Avrupa'nın sürdürülebilirlik alanında öncü ülkelerinden olan Hollanda, iklim krizinden en yoğun etkilenen Akdeniz Havzası'nda yer alan bir ülke olarak Türkiye ve coğrafi hassasiyeti yüksek bir geçiş ekonomisi olan Bosna-Hersek örnek olarak incelenecektir.

Su yönetimi, kıyı koruma ve sel riskleriyle mücadele alanında güçlü bir tarihsel birikimi bulunan Hollanda, iklim değişikliği ile mücadeleyi en üst idari düzeyde proaktif bir yaklaşımla kurumsallaştırmıştır. Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde iklim konusunu bağımsız bir bakanlık olarak örgütleyen nadir örneklerden biri olup, bu süreçleri İklim ve Yeşil Büyüme Bakanlığı (*Ministerie van Klimaat en Groene Groei*) bünyesinde yürütmektedir.(Tekingündüz vd., 2026, s. 83) Ülke, yasal bir çerçeve sunan İklim Kanunu ile sera gazı salımlarını sistematik olarak azaltmayı ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşmayı taahhüt etmiştir.(Güler, 2026, s. 232) Ayrıca, Hollanda'daki iş yeri kültüründe çevre dostu çalışan davranışları ve yeşil insan kaynakları yönetimi uygulamaları, kurumsal liderlik ve ulusal yeşil anlaşmalar (*Green Deal*) aracılığıyla sistematik olarak içselleştirilmiş durumdadır.(Elden, 2025, s. 1118)

İklim krizini kuraklık, su kıtlığı, orman yangınları ve ekstrem hava olaylarıyla doğrudan deneyimleyen Türkiye (Baş & Çobanoğlu, 2024, s. 308), özellikle Paris Anlaşması'na taraf olmasının ardından kurumsal yapılanmasını hızlandırmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın adı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı olarak değiştirilmiş ve ulusal koordinasyonu sağlamak amacıyla İklim Değişikliği Başkanlığı ihdas edilmiştir. Ayrıca yerel yönetimlerin yetki ve sorumluluklarını genişleten ve emisyon ticaret sisteminin yasal altyapısını oluşturan 7552 sayılı İklim Kanunu, Türkiye'nin yeşil dönüşümünde en kritik yasal adımı teşkil etmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'deki iş yerlerinde sürdürülebilirlik uygulamaları çoğunlukla yerleşik bir kurumsal kültürden ziyade, bireysel farkındalık ve gönüllülük esasına dayanmaktadır.(Elden, 2025, s. 1118)

Coğrafi yapısı ve altyapı yetersizlikleri nedeniyle sel, taşkın ve aşırı kuraklık gibi ekstrem hava olaylarına karşı oldukça kırılgan olan Bosna-Hersek, iklim krizinden kaynaklı olarak GSYİH'sinde yılda %1,5'e varan ciddi ekonomik kayıplarla karşı karşıyadır. Topraklarının %20'sinden fazlası doğrudan sel riski altında bulunan ülke, iklim şoklarına karşı direnç kazanmak ve sera gazı emisyonlarını azaltmak adına uluslararası donörlerin desteğiyle 2020-2030 İklim Değişikliğine Uyum ve Düşük Emisyonlu Gelişme Stratejisi ile Ulusal Uyum Planı'nı (NAP) yürürlüğe koymuştur. Gelişmekte olan bir Balkan ekonomisi olarak Bosna-Hersek'te iklim politikalarının sektörel politikalara entegre edilmesi süreci henüz gelişim aşamasındadır.(*World Bank Group*, t.y.)

İklim kriziyle mücadelede kalıcı ve sürdürülebilir bir toplumsal dönüşüm sağlamanın en etkili yolu şüphesiz eğitimdir.(Baş & Çobanoğlu, 2024, s. 322; Duran, 2023, s. 101) Çalışmamızda ülkelerin Çevre, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik konularına ilahiyat fakülteleri bünyesinde nasıl ve ne ölçüde yer verdikleri ele alınacaktır.

1.1. Hollanda'daki İlahiyat Eğitimince Çevre, İklim Değişikliği ve Din İlişkisi

Hollanda'da din ve ilahiyat alanında eğitim veren fakülteler bünyesinde gerek linsans gerekse lisansüstü düzeyde çevre, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve din ilişkisi konularında dersler verildiği görülmektedir. İlk olarak, din ve sürdürülebilirlik alanında ülkenin en kurumsallaşmış üniversitelerinden biri olan Vrije Universiteit Amsterdam'ı ele almak istiyoruz. Vrije Universiteit Amsterdam'da Din ve İlahiyat Fakültesi bünyesinde fakülte genelinde ve üniversitenin tüm lisans öğrencilerine açık disiplinlerarası *"Religion and Sustainable Development"* (Din ve Sürdürülebilir Kalkınma) dersi verilmektedir. *Theology and Religious Studies* İlahiyat ve Din Çalışmaları yüksek lisans programı kapsamında Sürdürülebilir Kalkınma Bağlamında İncil Yorumu ve Tefsir isminde bir ders bulunmaktadır. Ders içeriğinde sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle ilgili temaların İncil metinlerinde ve bunların yorumlarında ve uygulamalarında nasıl rol oynadığını anlamaya dair çalışmalar yer almaktadır. Yine İlahiyat ve Din Çalışmaları yüksek lisans programı kapsamında Din ve Sürdürülebilir Kalkınma, bir uzmanlaşma alanı sunulmaktadır. Doktora seviyesinde ise ACRSD bünyesinde din, iklim değişimi, çevre ve sürdürülebilir kalkınma odaklı disiplinlerarası doktora projeleri yürütülebilmektedir. Bu vesile ile ACRSD yani Amsterdam Centre for Religion and Sustainable Development hakkında da bilgi vermek isterim. Amsterdam Din ve Sürdürülebilir Kalkınma Merkezi (ACRSD), üniversite bünyesinde faaliyet gösteren ve din, teoloji, bilimsel disiplinler ve toplumsal ortaklar arasında dinamik bir etkileşim amaçlayan, kapsamlı bir ulusal ve uluslararası iletişim ağına sahip bir merkez. Bu merkeze ek olarak

Amsterdam Sürdürülebilirlik Enstitüsü(*ACRSD*, t.y.; *Amsterdam Sustainability Institute (ASI)*, t.y.) ve Çevre Çalışmaları Enstitüsü (*Institute For Environmental Studies Ivm*, t.y.) de burada zikredilmesi gerektiğini düşündüğümüz enstitülerdendir. Vrije Universiteit Amsterdam bünyesinde bulunan ve çevre krizlerinin disiplinler arası yaklaşımlar gerektirdiği düşüncesiyle hareket eden bu iki enstitü, direkt olarak din başlığına yer vermemekle birlikte interdisipliner çalışmalara teşvik etmeleri açısından ilahiyat ve din çalışmalarını da kapsayan bir araştırma alanı sunmaktadır.

Hollanda'da değinmek istediğimiz ikinci üniversite University of Groningen (RUG) dir. Groningen Üniversitesi Din, Kültür ve Toplum Fakültesi (Faculty of Religion, Culture and Society), dinin çağdaş ekolojik krizler ve iklim adaletindeki rolüne geniş yer vermektedir. Fakülte internet sayfasında fakülteye dair ilk tanıtım cümlesi ''Çatışmalarda, radikalleşmede, göçte ve iklim değişikliğinde dinin rolü nedir?'' sorusu ile başlamaktadır. (*University of Groningen*, t.y.) Din Çalışmaları Fakültesi lisans programında doğrudan iklim krizi ve ekoloji bağlantılı dersler yer almaktadır. Öne çıkan derslerden biri *"Climate Change, End Times and Sustainable Futures"* (İklim Değişikliği, Ahir Zaman ve Sürdürülebilir Gelecekler) dersidir. Yüksek lisans seviyesinde de İlahiyat ve Din Çalışmaları çatısı altında dini toplulukların çevre hareketlerindeki ve küresel ekolojik tartışmalardaki rolleri incelenmektedir.

Ülkenin en köklü üniversitelerinden biri olan Leiden University'de Çevre Beşeri Bilimleri (*Universiteit Leiden Environmental Humanities*, t.y.) ve Asya/İslam Araştırmaları (*Universiteir Leiden Asian Studies*, t.y.) bölümlerinde doğu dinleri, İslam, yerli gelenekler ve ekoloji kesişiminde yüksek lisans seviyesinde dersler ve seminerler düzenlenmektedir.

Utrecht Üniversitesi'nde din-çevre ilişkisi, tek bir müstakil program yerine disiplinler arası bir araştırma yapısı üzerinden ele alınmaktadır. Din Bilimleri (Religious Studies) bölümünün araştırma odakları arasında iklim eylemi (SDG 13) doğrudan yer almakta, bölümün İslam, Hristiyanlık ve seküler gelenekler üzerine yürüttüğü çalışmalar bu çerçevede değerlendirilmektedir. (*Utrecht University OFR - Religious Studies*, t.y.) Ayrıca üniversite bünyesinde faaliyet gösteren Network for Environmental Humanities (Çevresel Beşeri Bilimler Ağı), ekoloji, sürdürülebilirlik ve çevresel adalet sorularına disiplinler arası bir bakış sunarak din bilimleri de dahil olmak üzere farklı beşeri bilim alanlarından araştırmacıları bir araya getirmektedir. (*Utrecht University Network for Environmental Humanities*, t.y.)

Özetle, Hollanda'nın öne çıkan üniversitelerinde İlahiyat ve Din çalışmalarında çevre, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik konularında lisans, yüksek lisans ve doktora seviyesinde geniş bir yelpazede dersler verildiği,

ayrıca üniversiteler bünyesindeki enstitüler ve araştırma merkezleriyle de bu çalışmaların ve din alanını da içerisine alan interdisipliner çalışmaların desteklendiği görülmektedir.

1.2. Türkiye'deki İlahiyat Eğitimince Çevre, İklim Değişikliği ve Din İlişkisi

Türkiye örneğine bakıldığında; Türkiye'nin en önde gelen ilahiyat fakültelerinden olan İstanbul Üniversitesi, Marmara Üniversitesi ve Ankara Üniversitesi ilahiyat fakültelerinin oldukça zengin bir seçmeli dersler havuzuna sahip olmakla birlikte bu ders seçenekleri arasında din ve çevre ilişkisine dair herhangi bir derse rastlanmamaktadır. (*Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi*, t.y.; *İstanbul Üniversitesi Eğitim Bilgi Sistemi*, t.y.; *Marmara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi*, t.y.)

Sakarya Üniversitesi İlahiyat Fakültesi ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi İlahiyat fakültelerinde Çevre ve Din isimli bir seçmeli ders mevcuttur. Bu derslerde ekolojik krizin teolojik kaynakları, Kur'an ve hadislerde çevre bilinci, kutsal metinlerde doğa algısı, küresel çevre etiği ve dini toplulukların çevreye bakışı konularının ele alındığı görülmektedir. (*Sakarya Üniversitesi İlahiyat Fakültesi*, t.y.; *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi*, t.y.)

Türkiye'deki bazı üniversitelerde lisansüstü seviyede çevre, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik alanlarında yüksek lisans programları bulunmaktadır fakat bu programlar ilahiyat alanından uzaktadır. Örneğin, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Sürdürülebilirlik Tezli Yüksek Lisans Programı isminde %100 İngilizce bir yüksek lisans programı bulunmaktadır. Program ilahiyat ve sosyal bilimler alanlarından öğrenci kabul etmeyip sadece mühendislik, mimarlık ve temel bilim fakültelerinden mezun olmuş öğrencilere yöneliktir. (*İTÜ Program Bilgi Paketi*, t.y.) Ankara Üniversitesi'nde Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik Yüksek Lisans Programı mevcuttur. Program her alandan lisans mezunu öğrencilere açık interdisipliner bir programdır. Geniş seçmeli dersler havuzu bulunan bu programda iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik çok sayıda alanda ele alınmakla birlikte konunun din ile ilişkisine dair herhangi bir ders sunulmamaktadır. (*Ankara Üniversitesi İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik (YL)*, t.y.)

Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde Çevre Bilimleri Lisansüstü Programı bulunmaktadır. Program dört yıllık lisans mezuniyetine sahip tüm öğrencilerin başvurularına açık olmakla birlikte biyoloji, kimya, fizik, eğitim, ormancılık, ekonomi, sosyoloji, psikoloji, iş ve halk sağlığı, hukuk gibi dalların araştırmalarına açık olarak nitelendirilmektedir. Programın ilgili olduğu alanlar içerisinde ilahiyat zikredilmezken sunulan ders seçenekleri arasında da din ile ilintili bir derse rastlanmamaktadır. (*Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü - Çevre Bilimleri Yüksek Lisans Programı Ders İçerikleri*, t.y.)

Bayburt Üniversitesi'nde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne bağlı İklim Değişikliği ve Politikaları Tezli Yüksek Lisans programı bulunmaktadır. (*Bayburt Üniversitesi Bilgi Paketi / Ders Kataloğu*, t.y.) Program dört yıllık fakülte mezunu tüm öğrencilerin başvurusuna açıktır. Program iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve çevre konularını pek çok farklı alanla ilişkilendiren dersler sunmakta fakat bunlar içerisinde din başlığına rastlanmamaktadır.

Tüm bu veriler, Türkiye'de İlahiyat alanında çevre ve din, sürdürülebilirlik ve din gibi başlıklarda ve çevre, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik konularını içeren lisans düzeyinde ders seçeneklerinin oldukça kısıtlı olduğu, alana dair lisansüstü dersler ve müstakil programların ise lisans düzeyine kıyasla birkaç alternatif sunduğu fakat bunların da ilahiyat dışı alanlarda olduğunu göstermektedir.

1.3. Bosna-Hersek'teki İlahiyat Eğitimince Çevre, İklim Değişikliği ve Din İlişkisi

Bosna-Hersek'e gelecek olursak, ilk olarak Saraybosna Üniversitesi İslam İlimleri Fakültesi'ne baktığımızda 4. sömestrda verilen Etik dersinde çevre etiğine de yer verildiği görülmektedir. (*Faculty of Islamic Studies in Sarajevo*, t.y.) Lisansüstü seviyede ise Çağdaş Dini Akımlar ve Güncel Fıkıh Problemleri derslerinde biyociddiyet ve çevre etiği konuları ele alınmaktadır. (*University of Sarajevo Faculty of Islamic Studies*, t.y.)

Zenica Üniversitesi İslam Pedagoji Fakültesi'nde 8. sömestrde verilen Ortaokul Din Eğitimi Metodolojisi dersinde 14 haftalık ders izlencesinin bir haftası islam ve ekoloji konusuna ayrılmış görünmektedir. Çevre bilinci ve çevre eğitimi pedagojisi, Toplum ve Çevre Eğitimi ile Sosyal Pedagoji modüllerinde ele alınmaktadır. (*Islamska Zajednica U Bih Univerzitet U Zenici Islamski Pedagoški Fakultet U Zenici*, t.y.)

Bihać Üniversitesi İslami Pedagoji Fakültesi'nde Din öğretmenliği ve sosyal pedagoji müfredatında ekolojik bilinç kazandırma yöntemlerinin ders içeriklerine entegre edildiği görülmektedir. Ayrıca 7. sömestrda Sosyal Ekoloji dersi verilmektedir. (*IPF Bihac*, t.y.) Daha yoğun İslami ilimler derslerini bünyesinde toplayan İslam Dini programı müfredatında ise 4. sömestrda İnsan Ekolojisi dersi bulunmaktadır. (*IPF Bihac Islamic Religion*, t.y.)

Saraybosna Üniversitesi Katolik İlahiyat Fakültesi'nin (KBF) zorunlu müfredatında yer alan Bioetika dersinde de çevre etiği ve ekoloji müstakil bir ünite olarak ele alınmaktadır. (*Univerzitet U Sarajevu – Katolički Bogoslovni Fakultet Opis Predmeta*, t.y.)

Sonuç

Üç ülke örneği bir arada değerlendirildiğinde, çevre, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve din ilişkisinin ilahiyat eğitimine yansıma biçimi ve derecesi bakımından belirgin bir farklılaşmanın söz konusu olduğu görülmektedir.

Hollanda örneği, konunun hem lisans hem yüksek lisans hem de doktora düzeyinde müstakil dersler, uzmanlaşma alanları ve disiplinlerarası doktora projeleriyle sistematik biçimde işlendiği, ayrıca ACRSD gibi merkezler ve sürdürülebilirlik enstitüleriyle kurumsal bir altyapıya kavuşturulduğu bir model sunmaktadır. Bu haliyle din-çevre ilişkisi, ilahiyat müfredatının merkezi bir bileşeni hâline gelmiş görünmektedir. Türkiye örneğinde ise tablo oldukça farklıdır: ülkenin önde gelen ilahiyat fakültelerinde konuya dair bir ders bulunmazken, yalnızca birkaç üniversitede seçmeli ders düzeyinde ve sınırlı içerikte bir varlık gösterdiği, lisansüstü düzeyde ise iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik programlarının mevcut olmasına rağmen bunların ilahiyat alanının tamamen dışında konumlandığı anlaşılmaktadır. Bu durum, Türkiye'de konunun disiplinler arası bir köprü kuramadığını, ilahiyat ile çevre bilimleri arasındaki temasın kurumsal düzeyde henüz tesis edilemediğini göstermektedir. Bosna-Hersek örneği ise bu iki uç arasında bir konum sergilemektedir; müstakil bir ders veya program bulunmamakla birlikte, Etik, Fıkıh, Din Eğitimi Metodolojisi ve Sosyal Pedagoji gibi mevcut derslerin içine çevre ve ekoloji temalarının kısmi olarak yedirildiği, konunun bağımsız bir başlık olmaktan çok mevcut müfredatın bir alt bileşeni olarak ele alındığı görülmektedir. Bu üç örnek bir bütün olarak değerlendirildiğinde, Hollanda'nın kurumsallaşmış ve çok katmanlı bir yaklaşım benimsediği, Bosna-Hersek'in konuyu sınırlı ölçüde de olsa mevcut ders içeriklerine entegre ettiği, Türkiye'nin ise ilahiyat eğitimi ile çevre-iklim gündemi arasında en zayıf bağın kurulduğu ülke konumunda olduğunu söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

ACRSD. (t.y.). Amsterdam Centre for Religion and Sustainable Development. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://vu.nl/en/about-vu/research-institutes/amsterdam-centre-for-religion-and-sustainable-development

Amsterdam Sustainability Institute (ASI). (t.y.). Amsterdam Sustainability Institute (ASI). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://vu.nl/en/about-vu/research-institutes/asi

Ankara Üniversitesi İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik (YL). (t.y.). Ankara Üniversitesi İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik (YL). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.ankara.edu.tr/programlar/3/928/4562-2207#lessons

Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi. (t.y.). Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.divinity.ankara.edu.tr/ilahiyat-dersleri/

Baş, H., & Çobanoğlu, R. (2024). Türkiye'de İklim Değişikliği Eğitimi: Bloom Taksonomisine Göre Bir Program Analizi Çalışması. *Sinop Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *8*(Eğitim Bilimleri Özel Sayısı), 306-325.

Bayburt Üniversitesi Bilgi Paketi / Ders Kataloğu. (t.y.). Bayburt Üniversitesi Bilgi Paketi / Ders Kataloğu. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://ubs.bayburt.edu.tr/ogrenci/ebp/organizasyon.aspx?kultur=tr-TR&Mod=2&ustbirim=22&birim=26&altbirim=-1&program=347&organizasyonId=217&mufredatTurId=932001#:~:text=Bayburt%20Üniversitesi%20Lisansüstü%20Eğitim%20Enstitüsü%20İklim%20Değişikliği,puanı%20olarak%20en%20az%2055%20şartı%20aranır

Duran, M. (2023). Erken Çocukluk Eğitiminde İklim Değişikliği. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (32), 100-114.

Elden, B. (2025). Yeşil Çalışan Davranışları Bağlamında Türkiye ve Hollanda'nın Karşılaştırmalı Analizi. *Uluslararası Akademik Birikim Dergisi*, *8*(5), 1110-1121.

Faculty of Islamic Studies in Sarajevo. (t.y.). Faculty of Islamic Studies in Sarajevo. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://fin.unsa.ba/wp-content/uploads/2025/12/FIS-UNDERGRADUATE-STUDY-GUIDE-2005.pdf

Güler, E. (2026). İklim Değişikliği Kanunları ve Türkiye'de İklim Değişikliği Kanununa Göre Yerel Yönetimler. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *16*(1), 225-248.

Institute For Environmental Studies Ivm. (t.y.). Institute For Environmental Studies Ivm. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://vu.nl/en/about-vu/research-institutes/institute-for-environmental-studies-ivm/more-about/research-domains-ivm

IPF Bihac. (t.y.). Social Pedagogy and Spiritual Care Course Structure Diagram with Credits. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://ipf.unbi.ba/en/academic/1st-cycle/social-pedagogy-and-spiritual-care?showall=1

IPF Bihac Islamic Religion. (t.y.). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://ipf.unbi.ba/en/academic/1st-cycle/islamic-religion?start=4

Islamska Zajednica U Bih Univerzitet U Zenici Islamski Pedagoški Fakultet U Zenici. (t.y.). Islamska Zajednica U Bih Univerzitet U Zenici Islamski Pedagoški Fakultet U Zenici. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.ipf.unze.ba/wp-content/uploads/2017/06/NPP-za-I-ciklus-na-Odsjeku-za-islamsku-vjeronauku-2014..pdf

İğci, T., & Çobanoğlu, N. (2019). İklim Değişikliğinin ve İklim Değişikliğiyle İlgili Küresel Anlaşmaların Çevre Etiği Bakımından Değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, *7*(2), 130-146.

İstanbul Üniversitesi Eğitim Bilgi Sistemi. (t.y.). İstanbul Üniversitesi Eğitim Bilgi Sistemi. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen http://ebs.istanbul.edu.tr/home/dersprogram/?id=1120&birim=ilahiyat__lisans_programi__(orgun_ogretim)&yil=2025

İTÜ Program Bilgi Paketi. (t.y.). İTÜ Program Bilgi Paketi. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.tyyc.itu.edu.tr/ProgramHakkinda.php?Program=SUS_SU_YL

Kavut, S. (2025). İklim Değişikliği ile Mücadelede Sivil Toplum Kuruluşlarının Rolü: Türkiye Örneği. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, *11*(2), 227-245.

Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü—Çevre Bilimleri Yüksek Lisans Programı Ders İçerikleri. (t.y.). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü - Çevre Bilimleri Yüksek Lisans Programı Ders İçerikleri. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://enve-eng.marmara.edu.tr/ders-icerikleri/

Marmara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi. (t.y.). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://ilahiyat.marmara.edu.tr/dosya/ilh/Bultendergi/2017%20mufredat.pdf

Sakarya Üniversitesi İlahiyat Fakültesi. (t.y.). Sakarya Üniversitesi İlahiyat Fakültesi. Geliş tarihi 13 Ağustos 2026, gönderen

https://ebs.sakarya.edu.tr/Ders/Detay/650038#:~:text=Daha%20yaşanabilir%20fiziki%20ve%20sosyal%20bir%20dünya,1%2C%20Çevre%20bilincinin%20önemini%20açıklar.%20Anlatım%2C%20Soru%2DCevap%2C

Tekingündüz, G., Dinçtürk, C., & Saranay Kaynar, S. (2026). Avrupa Birliği Ülkelerinde İklim Değişikliği Konusunda Kamu Kurumlarının Organizasyon Yapıları. *International Journal of Economic and Administrative Academic Research*, *6*(1), 80-93.

Universiteir Leiden Asian Studies. (t.y.). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.universiteitleiden.nl/en/education/study-programmes/master/asian-studies-research

Universiteit Leiden Environmental Humanities. (t.y.). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.universiteitleiden.nl/en/humanities/centre-for-the-arts-in-society/modern-contemporary-studies/research/environmental-humanities

University of Groningen. (t.y.). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.rug.nl/bachelors/religious-studies/?lang=en#!related

University of Sarajevo Faculty of Islamic Studies. (t.y.). University of Sarajevo Faculty of Islamic Studies. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://fin.unsa.ba/wp-content/uploads/2025/08/FIN-NPP-II-ciklus-Imamet-2025.pdf

Univerzitet U Sarajevu – Katolički Bogoslovni Fakultet Opis Predmeta. (t.y.). Univerzitet U Sarajevu – Katolički Bogoslovni Fakultet Opis Predmeta. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://kbf.unsa.ba/wp-content/uploads/2025/12/4.-Bioetika.pdf

Utrecht University Network for Environmental Humanities. (t.y.). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.uu.nl/en/research/network-for-environmental-humanities

Utrecht University OFR - Religious Studies. (t.y.). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://research-portal.uu.nl/en/organisations/ofr-religious-studies/

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi. (t.y.). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ders Öğretim Planı. Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://bilgipaketi.yyu.edu.tr/DereceProgramlari/Ders/1/8425/323850/989771/1

World Bank Group. (t.y.). Geliş tarihi 18 Ağustos 2026, gönderen https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Event/ECA/Vienna%20Climate%20Change%20Event/vienna-cc-drm-bourdeaux.pdf

MODERN ŞİİRİN PEŞİNDE: TEVFİK FİKRET'İN ŞİİRLERİNDE GÜNDELİK HAYAT

Doç. Dr. Emine TUĞCU[1]

Başkent Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türk Dili ve Edebiyatı, Yeni Türk Edebiyatı,

emine_tugcu@yahoo.com,

ORCID 0000-0001-9524-9121

Özet

Gündelik hayat genellikle "sıradanlığı" ifade eden buna bağlı olarak önemsiz, anlamsız, bayağı gibi daha çok olumsuz vasıflarıyla değerlendirilen anlam dağarcığı ile uzun süre ciddi bilimsel araştırmaların dışında tutulmuştur. Gündelik hayat kavramının önem kazanmaya başlaması ise modernlik deneyimi ile sıkı sıkıya ilişkilidir. Lefebvre'nin belirttiği gibi gündeliklik ve modernlik "zamanın ruhunun iki yüzü gibidir" ve eş zamanlı olarak ortaya çıkmıştır. Bu yüzden edebiyat metinleri üzerinden gündelik hayatın izlerini sürmek aynı zamanda bulunduğu toplumun modernleşme sürecini değerlendirmeye imkân tanır. Bu bildiride Tevfik Fikret'in şiirlerindeki gündelik hayata dair göstergeler, Türk şiirinin modernleşme sürecini değerlendirmek üzere tartışılacaktır. Tanzimat döneminde modernleşmeye bağlı olarak askeri, bürokrasi, ekonomi, eğitim ve adalet gibi yapılarda yenilenme, modern kavramların edebiyatta var olan mazmunların anlam katmanları genişletilerek kullanılmasına yol açmıştır. Aldığı eğitim ve estetik zevk olarak geleneğe bağlı Tanzimat şairleri yeni dünya düzenine şiirlerinde yer açarken divan edebiyatının yapısal kodlarını kullanmışlardır. Batılı tarzda eğitimden geçen, modern edebiyatla doğrudan beslenen Servet-i Fünûn şairleri ise şiirlerinde gündelik hayata yer verirken mazmun kullanımını terk ederek doğrudan yeni imajlar kurmuşlardır. Kurdukları yeni imajlarda ise sınıfsal farklılıklar belirleyici bir rol oynamıştır. Sadece üst sınıf yaşantısı değil yoksulluğa bağlı yaşam tarzları ve buna ilişkin nesneler belirginleşmiştir. Tevfik Fikret'in şiirleri de bu kırılmayı gösterebilecek önemli bir kaynak niteliğindedir.

Anahtar kelimeler: Tevfik Fikret, modern şiir, gündelik hayat, modernleşme

IN PURSUIT OF MODERN POETRY: EVERYDAY LİFE İN THE POETRY OF TEVFİK FİKRET

Abstract

Everyday life—generally associated with "ordinariness" and, consequently, evaluated through a lexicon of largely negative attributes such as "insignificant," "meaningless," and "vulgar"—has long been excluded from serious scholarly research. The growing importance of the concept of everyday life, however, is closely linked to the experience of modernity. As Lefebvre notes, everyday life and modernity are "like two sides of the spirit of the times" and emerged simultaneously. For this reason, tracing the traces of everyday life through literary texts also makes it possible to assess the modernization process of the society in which they are found. In this paper, references to everyday life in Tevfik Fikret's poems will be discussed in order to assess the process of modernization in Turkish poetry. During the Tanzimat period, the renewal of institutions such as the military, bureaucracy, economy, education, and the judiciary—linked to modernization—led to the incorporation of modern concepts into literature by expanding the layers of meaning in existing themes. The Tanzimat poets, who were rooted in tradition in terms of their education and aesthetic sensibilities, employed the structural conventions of Divan literature while making room for the new world order in their poetry. The Servet-i Fünûn poets, on the other hand, who had received a Western-style education and drew directly from modern literature, incorporated everyday life into their poetry while abandoning the use of mazmun and instead creating new imagery directly. Class differences played a decisive role in the new images they created. Not only the lifestyle of the upper class but also lifestyles associated with poverty and the objects related to them became prominent. Tevfik Fikret's poems also serve as an important source for illustrating this shift.

Keywords: Tevfik Fikret, modern poetry, everyday life, modernization

1. GİRİŞ

Gündelik hayat genelde "sıradanlığı" ifade eden buna bağlı olarak önemsiz, anlamsız, bayağı gibi daha çok olumsuz vasıflarıyla değerlendirilen anlam dağarcığı ile uzun süre ciddi bilimsel araştırmaların dışında tutulmuştur. Avrupa'da on sekizinci ve on dokuzuncu yıllarda sanayi devrimine bağlı olarak gelişen kentleşmenin toplumsal hayattaki dönüştürücü etkisi, gündelik hayat kavramının da akademik düzlemde tartışılmasına zemin hazırlamıştır. Özellikle toplum ve kültür kuramcıları, toplumsal araştırmalarında gündelik hayata odaklanan çalışmalarıyla bu kavramın ideolojik, tarihi, ekonomik ve kültürel yönlerini açığa çıkarmaya çalışmışlardır. Gündelik hayat kavramının önem kazanmaya başlaması ise modernlik deneyimi ile sıkı sıkıya ilişkilidir. Lefebvre'nin belirttiği gibi gündeliklik ve modernlik "zamanın ruhunun iki yüzü gibidir" ve eş zamanlı olarak ortaya çıkmıştır: "Gündeliklik ve modernlik, karşılıklı olarak birbirini belirtir ve gizler, meşrulaştırır ve telafi eder. Herman Broch'un ifadesiyle, dönemin evrensel gündelik hayatı modernliğin arka yüzüdür, zamanın ruhudur." (2020, s. 37) Dolayısıyla gündelik hayata odaklanan çalışmalar aynı zamanda modernlik deneyiminin çözümlenmesi için işlevsel bir öneme sahiptir. Bunun için gündelik olanın ne olduğuna ilişkin belirsizliğin de sürdüğünü belirtmek gerekir. Çünkü gündelik olan "epik bir görünüme, maskelere, kostümlere ve dekorlara bürünmüş olarak sahneye çıkar. (Lefebvre, 2020, s. 11) Bunlarım çözümlenmesi de toplumsal olgulara bağlıdır:

> Her şeyden önce hayatın hangi veçhe, hâl ve faaliyetlerinin gündelik ve onunla ilişkili olarak çalışma veya boş zamana dair şeylerden oldukları, anlam ve değerlerinin ne oldukları kavrama bağlı toplumsal olgulardır. Bu olguların kendilerini, onlara dair anlamlandırma, sınıflandırma kategorilerini ve onların yeniden üretimini mümkün kılan faaliyet ve süreçleri var eden şey, araştırmacıların bu olgulardan ne anladıkları değil, faillerin bu olgulardan ne anladıkları, onları nasıl yarattıkları, yeniden ürettikleri ve yorumladıklarıdır. (Kurtoğlu, 2021, s. 234)

Türk edebiyat tarihine bakıldığında on dokuzuncu yüzyılda devlet eliyle yürütülen modernleşme hareketinin siyasal, sosyo-kültürel ve ekonomik alanlarda getirdiği yenilikler elbette şiirin de yeni bir anlayışla yazılmasını beraberinde getirmiştir. Ancak Namık Kemal ve Ziya Paşa'nın Osmanlı divan şiirinin reddiyesine dair söylemlerinin aksine yeni şiir tarzı, divan edebiyatının zihniyet dünyasının içinden doğmuştur. Kayahan Özgül'ün dediği gibi yenileşen şiir, gerçekliği örten pusuyu dağıtır ve sosyal faydaya yönelir. On sekizinci yüz yıl şairleri şiirin sosyal bir ileti olduğunu fark etmişlerdir ancak on dokuzuncu yüz yıl şairi fikri iletmek için milleti alıcı olarak seçerken önceki asrın şairlerinden farklı bir yol izler. (Özgül, 2006, s. 253) Zira matbuatın

gelişmesiyle kitap kültürünün oluşması ve gazete ile dergilerde yazmanın öneminin kavranması bir kamuoyu oluşturmak için elverişli bir ortam sağlar. Edebiyatın alıcısı artık sokaklardadır ve sokaklardaki insanın yaşam deneyimi de edebiyatın yeni malzemesini oluşturur.

2. TEVFİK FİKRET'İN ŞİİRLERİNDE GÜNDELİK HAYAT

Tanzimat döneminde modernleşmeye bağlı olarak askeri, bürokrasi, ekonomi, eğitim ve adalet gibi yapılarda yenilenme, modern kavramların edebiyatta var olan mazmunların anlam katmanları genişletilerek kullanılmasına yol açmıştır. Aldığı eğitim ve estetik zevk olarak geleneğe bağlı şairlerin yeni dünya düzenine şiirlerinde yer açarken divan edebiyatının yapısal kodlarını kullanmaları olağandır. Batılı tarzda eğitimden geçen, modern edebiyatla doğrudan beslenen Servet-i Fünûn şairleri, şiirlerinde gündelik hayata yer verirken mazmun kullanımını terk ederek doğrudan yeni imajlar kurar. Kurdukları yeni imajlarda ise sınıfsal farklılıklar belirleyici bir rol oynar. Sadece üst sınıf yaşantısı değil, yoksulluğa bağlı yaşam tarzları ve buna ilişkin nesneler belirginleşir. Divan şiirinde estetik bir obje olan Tanzimatla modernleşmenin göstergesi olan deniz ulaşım aracı Tevfik Fikret'in "Balıkçılar" şiirinde yoksul yaşam şartlarının işaretleyicilerinden biri hâline gelir Anne, baba ve çocuktan oluşan karakter kadrosuyla geçimini denizden kazanan ailenin diyalogları ile örülen bu şiirde, çetin yaşam şartları karşısında açlığa karşı verilen mücadele anlatılır. Mehmet Kaplan, Tevfik Fikret'in "merhamet şiirleri" başlığı altında değerlendirdiği bu şiiri ve şiirdeki zihniyet dünyasını, Fransız edebiyatının bir tezahürü olarak ele alır. Franncois Coppée'nin etkisiyle onun "L'Epave" şiirinden yola çıktığını söyler. Ruşen Eşref ise şairin bir akşam üstü fırtınalı akşamüzeri sular kararırken denizde çalkalanan bir balıkçı kayığını gördüğünde bu şiiri yazdığını belirtir. (Kaplan, 1995, s. 146). Şiir gerçekten Coppée'nin bahsi geçen şiiriyle içerik ve biçim olarak benzerlik taşır ancak Tevfik Fikret bu şiirin fikrini olduğu gibi iletmez, dönüştürür. Coppée'nin şiirinde anne, kocasını bir deniz kazasında kaybetmiştir ve bu yüzden oğlunu denizden uzak tutmak ister ve onun papaz olması gerektiğini düşünür. Çocuk ise açık denizi arzulamaktadır, annesinin sözünü dinlemeyerek babası gibi başkalarını kurtarmak için kendi canını hiçe sayan bir kahramanlık gösterir, babasının makus talihini kırmayı başararak erginleşir. Tevfik Fikret'in şiirinde ise toplumsal bir eleştiri vardır, yoksulluk ve açlıkla mücadele eden bir ailenin ölüme meydan okuması anlatılırr. Baba yaşlı ve yorgun, anne ise hastadır. Evde yiyecek olmadığından küçük çocuk fırtınalı denize açılmak zorunda kalır.

"Şafak sökerken o, yalnız, bir eski tekneciğin
düğümlü, ekli, çürük ipleriyle uğraşarak
ilerliyordu; deniz aynı şiddetiyle şırak -

şırak dövüp eziyor köhne teknenin şişkin
siyah kaburgasını... Âh açlık, âh ümîd!
Kenarda, bir taşın üstünde bir hayâl-i sefid
eliyle engini güya işaret eyliyerek
diyordu: 'Haydi nasibin o dalgalarda, yürü! '
Yürür zavallı kırık teknecik, yürür; 'Yürümek,
nasibin işte bu! Hâlâ gözün kenarda... Yürü!'
Yürür, fakat suların böyle kahr-ı hiddetine
nasıl tahammül eder eski, hasta bir tekne?" (Tevfik Fikret, 1962, s. 146)

Şiirin merkezinde yer alan tekne; eski, köhne, kırık, hasta, siyah ve çürük iplerle bağlıdır. Bu nedenle tekne, dağılmak üzere olan aileyi temsil etmekte ve adeta acı çeken bir varlığa dönüşmektedir. Düğümlü, ekli çürük iplerse yoksulluğun işaretleyicidir, deniz de sadece tabiatın bir parçası değil yoksul insanları ezen bir düzenin sembolüdür. Döven, ezen, saldıran adeta yok edici bir mekanizmadır. Taş üzerindeki "hayâl-i sefid" ise ölümü çağrıştıran bir obje gibi konumlandırılır. Dalga teknenin kaburgalarını döverken hayat da insanı baskı altına almaktadır. Denizde veya kıyıda olmak artık güven vermemektedir her ikisinde de ölüm kaçınılmazdır. Dolayısıyla bu şiirde nesnelere yüklenen duygu durumları ile yaşam koşullarının acımasızlığı ve toplumsal çöküşün kaçınılmazlığı vurgulanmış olur. Gündelik hayatın göstergeleri tekne, ip, dalga ve kıyı gibi unsurlar bir dekorun parçaları olmaktan çok insanın yoksulluk karşısındaki çaresizliğini temsil etmektedir. Tevfik Fikret, yoksul sınıfın içinde bulunduğu trajediyi tabiata ve nesnelere yüklediği duygularla anlatma yolunu tercih ederek geleneksel şiirin kodlarını çözer ve dış dünyanın gerçekliğine yaslanan modern bir şiir kurar. Mehmet Kaplan'ın bu şiiri Fransız şiirinin taklidi olarak görmesi bu şiirin değerini gölgelemediği gibi Ruşen Eşref'in şiirin şairin gözlemine dayandığını söylemesi şiirin etki gücünü artırmaz. Tevfik Fikret, yeni dünya düzeninde ekonomik sorunların yol açtığı trajediyi tabiata ve gündelik hayata dair göstergelerle yeniden yorumlamış olur.

"Büyük İkramiye" şiirinde "Varsa hattâ beşerde bir vicdan,/ya gümüşdendir o ya altundan!" diyerek insanın vicdanını parayla ilişkilendirerek vicdanı metalaştırır.

"Para, derler ki akla reh-zendir;
bence hiç şübhe yok ki sendendir,
ey güzel cevher-i füsûn-perver,
rûhu ecsâda bağlıyan teller;

varsa hattâ beşerde bir vicdan
ya gümüşdendir o ya altundan!" (175)

Bu dizelerde para; insanın aklını, ruhunu ve vicdanını belirleyen bir değer ölçütü olarak ironik biçimde sunulur. "Vicdan"ın gümüş ve altınla tanımlanması, ahlaki değerlerin ekonomik değerlerle yer değiştirdiği bir toplumsal düzeni açığa çıkarır. Böylece söylemin görünürdeki övgüsel tonu, alttan alta işleyen bir toplumsal eleştiriye dönüşür.

Tevfik Fikret'in üst sınıfın yaşam pratiklerini gündelik hayat objeleri üzerinden ele aldığı şiirlerinde kadın kimliği de öne çıkar. "Bisiklet" şiirinde bisiklete binen bir kadını arzu duyulan estetik bir obje gibi yansıtır. Bisikletin hızı, kadının ince ve güzel vücudunu titretmektedir. Şiirdeki kadın figürünün hareketleri bu şiirde, başkalarına gösterilen bir deneyim hâline gelmesiyle eleştirilir. "Güzel değil mi şu hâlim bakın!" dizesi, bireyin kendi varoluşunu başkalarının bakışı ve onayı üzerinden anlamlandırmasını görünür kılar. Bu bağlamda kadın, yalnızca bisiklete binmiyor, bu eylemini seyirciye sunan bir performans sergiliyordur. Şiirin başlangıcında "uçmak" fiiliyle aşk ve hayatla ilişkilendirilen hareket, anlatıcının "fakat bu tehâlük nedir" sorusuyla anlam değiştirir ve sonunda "hayâtı birkaç adım fazla koşdurup yormak" biçiminde eleştirel bir niteliğe kavuşur. Hayatı daha yoğun, güzel ve görünür kılma çabası, belirli bir noktadan sonra hayatın kendisini tüketebilir. Bu da gündelik yaşamın temel paradokslarından birini açığa çıkarır.

"Uçar, uçar gibi kumlar, çemenler üstünde,
geçen şu tâze kadın bir nümûme-i hevsesât;
ayaklarında kanadlarla sanki aşk u hayât
uçar, uçar, gibi kumlar, çemenler üstünde
[…]
Uçub uçub gidiyor; sonra pür-gurûr u garâm
zemine resm ile bir nazlı hatt-ı istifhâm
"Güzel değil mi şu hâlim bakın!" diyor… Parlak

güzel, evet bu revişler, güzel bu câzibeler,
güzel; fakat bu tehâlük nedir, değilse eğer
hayâtı birkaç adım fazla koşdurup yormak?.." (171)

Şiirdeki modernleşme deneyimi, bireyin yaşamak ile yaşadığını göstermek, kendisi olmak ile başkalarının bakışında değer kazanmak arasındaki gerilim bisiklete binen kadın üzerinden yansıtılır. "Uçmak" olarak deneyimlenen hayatın "hayatı yoran bir koşu"ya dönüşmesi, modern gündelik yaşamın hız, gösteri ve onaya dayalı yapısına yönelik eleştirel bir okuma imkânı sunmaktadır.

3. SONUÇ

Türk edebiyat tarihlerinde Osmanlı modernleşmesi, genellikle roman, hikâye, tiyatro ve eleştiri gibi türlerin Batılı muadillerine uygun bir şekilde üretilmesini odak alarak incelenen bir kavram olmuştur. Kadim bir geleneğe sahip olan şiir türünün modernleşmesi ise daha çok yeni kavramların seküler bir yaklaşımla ele alınmasıyla irdelenmiştir. Özellikle Tanzimat dönemi şairleri vatan, hürriyet, adalet, eşitlik, gibi devlet yapılanmasıyla sıkı bağlantısı olan kavramlara yüce bir değer atfederek devletin içinde bulunduğu zor koşulları bu kavramlara yükledikleri anlamlarla çözmeye çalışmış bu minvalde de toplumsal bir bilinç inşa etmeye yönelmiştir. Edebiyat araştırmacıları da genel olarak bu kavramlar ışığında Türk şiirinin modernleşme deneyimine odaklanmıştır. Tevfik Fikret'in şiirlerinde ise modernleşmenin vaat ettiği ilerlemeyle bu ilerlemenin gündelik hayatta deneyimlenme biçimi arasındaki mesafe sorgulanır. Hasta, eski bir teknenin bütün kırılganlığına rağmen "yürümek" zorunda bırakılması, para karşısında maddileşen vicdan, güzelliğin hayatı yoran bir gösteriye dönüşmesi görünür hâle gelir. Dolayısıyla bu şiirlerde, modernleşmenin bireyin gündelik hayatını yeniden düzenlediği gösterilir fakat hayatın kırılganlıklarını, yoksunluklarını ve çelişkilerini de derinleştiren bir deneyim olarak temsil edilir. Modern bir deneyim olarak derinleşen ekonomik eşitsizlik ve maddi değerlerin insanın manevi dünyasına nüfuz etmesi, bireyin kendini görünür kılma, beğendirme ve hayatını bir performansa dönüştürmesi eleştirilir.

KAYNAKLAR

Kaplan, Mehmet (2016). *Şiir Tahlilleri I Tanzimat'tan Cumhuriyet'e Kadar*. İstanbul: Dergâh Yayınları.

Kaplan, Mehmet (1995). *Tevfik Fikret Devir-Şahsiyet-Eser*. İstanbul: Dergâh Yayınları.

Kurtoğlu, Ayşegül (2021). "Sosyolojik Bir Araştırma Nesnesi Olarak Gündelik Hayatın Kavramsallaştırılması ve İncelenmesi Sorunu." *Hacettepe Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, *38*(1), 222-237. https://doi.org/10.32600/huefd.706276

Lefebvre, Henri (2022). *Gündelik Hayatın Eleştirisi II: Gündelik Hayat Sosyolojisinin Temelleri*. (çev. Işık Ergüden), İstanbul: Sel Yayınları.

Lefebvre, Henri (2020). *Modern Dünyada Gündelik Hayat*. (çev. Işın Gürbüz). İstanbul: Metis Yayınları.

Özgül, Kayahan (2006). *Divan Yolundan Pera'ya Selâmetle: Modern Türk Şiirine Doğru*. Ankara: Hece Yayınları.

Tevfik Fikret (1962). *Rübâb-ı Şikeste ve Diğer Eserleri*. (haz. Fahri Uzun). İstanbul: İnkılâp.

THE REPRESENTATION OF MULTICULTURAL VALUES IN AZERBAIJANI LITERATURE

Leyla Hasanova

Azerbaijan State Pedagogical University, Faculty of Philology, Lecturer

Email: leylamuzi@gmail.com

ORCID ID: 0009-0006-9057-9205

Abstract

With its centuries-old history, rich cultural heritage, and remarkable diversity, Azerbaijani literature has long occupied an important place within the cultural landscape of the region. From ancient times onward, the Azerbaijani people have maintained friendly and peaceful relations with representatives of different nations, and this tradition of tolerance has found diverse forms of expression in literary works. The principles of multicultural coexistence, respect for different cultures and beliefs, and tolerance toward others can be traced throughout various periods of Azerbaijani literary history. This article examines the reflection of multicultural values in Azerbaijani literature and highlights their representation in the works of prominent Azerbaijani poets and thinkers, particularly Nizami Ganjavi.

Keywords: multiculturalism, Azerbaijani literature, tolerance, cultural diversity, literary heritage

Introduction. As is well known, the fundamental principles of multiculturalism are based on tolerance and respect for the freedom, religious beliefs, customs, and traditions of others. According to information presented in academic literature, the term *multiculturalism* itself is relatively recent and emerged in Canada in the late 1960s. It subsequently became established as a concept in academic and political discourse.

It is an undeniable historical fact that Azerbaijan has long been situated at the intersection of civilizations and cultures. In addition to serving as a bridge between Asia and Europe, the country has played an important role in the formation of cultural diversity. As a result, people living in this geographical space, regardless of their religion or language, have historically coexisted in an environment characterized by mutual understanding and tolerance.

One noteworthy aspect of this historical experience is that different ethnic minorities, ethnic groups, and representatives of various religious denominations who lived together for centuries did not generally experience conflicts based on religious or national differences. This can primarily be attributed to the tolerant attitude, hospitality, and humanism traditionally associated with the Azerbaijani people.

Multiculturalism and tolerance have historically been an integral part of the way of life of the Azerbaijani people. Today, these principles continue to characterize everyday life in Azerbaijan, regardless of citizens' ethnic identity, language, or religious affiliation. The strengthening of multiculturalism as a state policy has also been associated with the policies of National Leader Heydar Aliyev and the continuation of this political course by President Ilham Aliyev. Thus, multiculturalism can be viewed not only as an important element of Azerbaijani social life but also as one of the priority directions of state policy.

The practical measures undertaken to promote the academic study and international dissemination of Azerbaijani multiculturalism have placed important responsibilities on state institutions, non-governmental organizations, political figures, and, more broadly, Azerbaijani society and cultural and academic institutions. At the same time, the state provides both moral and material support to these organizations and institutions in order to facilitate the implementation of such initiatives at the highest level.

As a result of this attention and support, Azerbaijan's multicultural and tolerant environment is frequently presented as an example for the international community. These values are regarded as an important part of the country's historical and cultural heritage and have deep roots in the intellectual, philosophical, and artistic worldview of the Azerbaijani people.

Even the earliest examples of Azerbaijani literature reveal the profound roots of these values. The literary heritage of Nizami Ganjavi, one of the greatest poets of Azerbaijan and the wider world, is particularly significant in this regard. Multicultural values constitute one of the central dimensions of his literary and philosophical thought.

For Nizami Ganjavi, the highest criterion of human worth is humanity itself and the quality of interpersonal relations, which is closely connected with tolerance. Accordingly, the poet rejected racial, national, and religious discrimination. His works therefore include characters representing a wide range of peoples, including Turks, Arabs, Persians, Indians, Chinese, Ethiopians, Greeks, Georgians, and others.

Nizami's profound love for humanity and his universal outlook were shaped, among other factors, by the moral education and guidance he received within his family. The multicultural, ethical, and humanistic values expressed throughout his works can likewise be associated with this formative environment.

For example, *The Seven Beauties* presents an especially vivid representation of what may be described in contemporary terms as a multicultural environment. Nizami creates seven accomplished female characters representing different regions and cultural traditions—India, Byzantium, Slavic lands, the Maghreb, Khwarazm, China, and the Turkic world—and brings them together around the ruler Bahram. Each woman tells the ruler stories originating from different parts of the world.

The influence of these narratives on Bahram's personal development is also central to the poem. His gradual intellectual and moral transformation takes place within a multicultural environment, reinforcing the idea that multicultural interaction can play a significant role in the advancement and development of humanity.

Discussing multiculturalism in *The Seven Beauties*, academician Isa Habibbeyli notes that the stories narrated by the Chinese, Slavic, Byzantine, Indian, Khwarazmian, and Maghrebi beauties present significant moments in the destinies of different peoples and instructive events in a form comparable to Azerbaijani folk tales. *The Seven Beauties* vividly demonstrates the role and significance of multicultural values in enriching both individual and collective spiritual life.

The poem can therefore be understood as a poetic celebration of respect for different peoples and cultures. Regardless of national identity or religious affiliation, the work conveys profound respect for human beings as such. The elevation of humanity above all other considerations constitutes one of the central ideas of the Renaissance culture of the East.

The section of *The Seven Beauties* dealing with the construction of the seven domes and Bahram's desire to marry the daughters of the seven climates further emphasizes the relationship between the palace and cultural diversity. The seven domes symbolically represent seven lands, seven regions, and, consequently, seven distinct cultural traditions. Nizami writes:

The master remembered the tale once more,
The praises we had written of it before;
The palace belonged to those seven fair ones,
Like a painted world of seven different lands.
Love entered the Shah's heart at the sight
Of the seven images fashioned by the master.
Seven paths converged, and his heart was purified,
Until the seven treasures became his own.

The very title of the poem and the presence of seven beauties representing seven different regions further demonstrate Nizami's intention to acquaint his readers with the cultures, lifestyles, customs, and traditions of different countries and to cultivate appreciation for them.

The Seven Beauties also contains descriptions of the material and cultural heritage of various peoples and highlights their distinctive characteristics. This feature is likewise evident in Nizami's other works. Regardless of the nation or culture to which a particular positive quality belongs, Nizami recognizes it as valuable and encourages its appreciation and adoption.

Nizami Ganjavi's philosophical worldview, deeply rooted in multiculturalism and tolerance, is particularly evident in *The Iskandernameh*. An examination of his philosophical ideas suggests that although Nizami was a devout Muslim with profound knowledge of Islam, he also demonstrated considerable respect and sympathy toward other religions.

For this reason, he sought to choose for his literary works a figure whose name would be recognized throughout the world and who could be associated with respect for different religious traditions. From Nizami's perspective, Alexander the Great represented such a figure.

Nevertheless, in his poem, the poet transforms the historical Alexander into an artistic character and presents him as an ideal ruler corresponding to his own vision. His portrayal of Alexander as a just ruler reflects the broader ideal of rulership that Nizami himself wished to see realized.

A similar conception can be observed in the works of numerous poets and thinkers of the period. Many intellectuals of that era believed that the establishment of an ideal, democratic, and tolerant society depended upon the existence of a just ruler capable of creating and maintaining such a social order.

Multicultural Values in Later Azerbaijani Literature

The ideas of tolerance and equality among religions and nations also occupied an important place in Azerbaijani literature after Nizami Ganjavi. For instance, representatives of the Sufi movement in 13th-century Azerbaijani poetry opposed religious and racial discrimination and advocated equality among human beings.

In subsequent periods, progressive Azerbaijani thinkers such as Awhadi Maraghayi, Sheikh Mahmud Shabustari, and Mirza Fatali Akhundzadeh likewise sought through their works to promote equality and tolerance among people.

The fact that many ashugs, poets, and other artists who were welcomed and supported at the courts of Uzun Hasan and Shah Ismail Khatai belonged to different ethnic and religious communities is another clear indication of the importance traditionally attached to multicultural and tolerant values in Azerbaijani society.

It is essential to recognize that the preservation of multicultural and tolerant values is indispensable for maintaining stability and harmony within society. Pitting peoples and cultures against one another is entirely unacceptable. As the prominent Azerbaijani poet and thinker Abdulla Shaig expressed it, “we are all particles of the same sun.”

The late 1820s marked the beginning of one of the major historical tragedies experienced by the Azerbaijani people. Azerbaijan was divided into two parts, while Armenians were relocated to Azerbaijani territories from Iran, Iraq, Lebanon, and Syria. They subsequently pursued what the author describes as an aggressive policy of occupation. Despite these historical developments, Azerbaijani society maintained its multicultural and tolerant approach and continued to support the development of languages, religions, and cultures other than its own.

At present, one of the most comprehensive sources reflecting the significance of tolerance in Azerbaijani literature is the volume *Literary and Artistic Sources of Azerbaijani Multiculturalism*, prepared and published by scholars of Azerbaijani literary studies. The book contains numerous examples from the works of major Azerbaijani literary figures that embody multicultural values.

Conclusion

The relationship between literature and multiculturalism encompasses a broad range of complex and global issues, making it difficult to examine the subject comprehensively within a single article. Nevertheless, the representation of multicultural values constitutes an important and relevant area of Azerbaijani literary studies that deserves further scholarly investigation.

The history of Azerbaijani literature demonstrates that principles such as tolerance, respect for cultural diversity, equality among peoples and religions, and appreciation of humanity have been expressed in literary thought across different historical periods. From Nizami Ganjavi to later Azerbaijani poets and thinkers, literature has served as an important medium through which these values have been articulated and transmitted.

References

1. Guliyeva, S. (2015). *Multiculturalism Traditions in Azerbaijani Literature (Based on Nizami Ganjavi's "The Seven Beauties")*.
2. Soltanqizi, P. (2023). *Azerbaijani Literature: Multicultural Values and Tolerance*. Baku: Muallim.
3. Abdulla, K. (2021). *Nizami Ganjavi: Multicultural and Universal Values in the Works of Nizami Ganjavi*. Baku: Mutarjim.
4. Abdulla, K. (2016). *Literary and Artistic Sources of Azerbaijani Multiculturalism*. Baku: Mutarjim.

AZERBAYCAN ÇOCUK EDEBİYATINDA AHLAKİ-DİDAKTİK DÖNEMİN OLUŞUM TARİHİ

Doçent Doktor, AYGUN AHMADOVA
Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi, Edebiyat öğretim teknolojisi bölümü
(ahmadovaa708@gmail.com) ORCID: 0000-0002-2464-2513

ÖZET

"Azerbaycan çocuk edebiyatının ilk yaratıcısının kim olduğu sorusuna doğru cevabı ararken, bazı düşünürler (R. Afandizadeh, M. Rzaguluzadeh, vb.) makalelerinde ve notlarında bu konuya farklı bağlamlardan yaklaşmış, çeşitli görüşler öne sürmüş, ancak ikna edici, objektif ve bilimsel bir sonuca ulaşamamışlardır. Bu öznel görüşlerde H.Kh. Garadaghi, S.M. Ganizadeh, A. Shaig, M.T. Sidqi ve diğer yazarların isimleri ilk yaratıcılar olarak anılsa da, tarihsel ve bilimsel açıdan tam bir çözüme ulaşamamışlardır. M. Mammadov, "Pedagojik Ortam ve Çocuk Edebiyatı" adlı bilimsel araştırma çalışmasında, bu tür fikir ve görüşlere haklı olarak eleştirel bir tutum sergilemiştir. Yazar, bir dizi bilimsel kaynağa atıfta bulunarak, Azerbaycan çocuk edebiyatının oluşumu hakkındaki yanlış anlamaları ortaya koymuş ve özellikle temsiller olmak üzere didaktik-eğitimsel, ahlaki-öğretici, uyarıcı sanat eserlerini kabul etmenin kabul edilemez olduğunu haklı olarak göstermiştir." Ve çocukların anlayabileceği ve az çok kavrayabileceği anlamlarla örtüşen öyküler, çocuk edebiyatı örnekleri olarak kabul ediliyor.

Çünkü Azerbaycan çocuk edebiyatının oluşumunda siyasi-sosyal ve kültürel koşulların varlığı temel alınmalıdır. Buna çocuk edebiyatının özgün özelliklerini de eklersek, Azerbaycan çocuk edebiyatının tarihini derlemenin şan getirmediğini, aksine bu özgürlüğün ciddi bir sorun yarattığını ve okuyucunun zihnini bilimden uzaklaştırdığını söyleyebiliriz. Bu yanlış anlamalara karşı çıkan araştırmacılar şöyle yazıyor: “Yazarlar, sanki ele aldıkları konunun çocuk edebiyatı örneği olup olmadığını belirlemek gibi ciddi bir sorunla karşı karşıya değillermiş gibi, akıl yürütme ve analizlerinde çok dikkatsiz ve özgür davranıyorlar. Bu yaklaşım, Nizami'de çocukların anlayabileceği örnekler bulunursa, bu eserlerin hiçbir ek açıklama yapılmadan koşulsuz olarak çocuk edebiyatı örnekleri olarak analize dahil edilmesine yol açıyor.” Özgürlüğe izin veren şey, sorunun kendisine dokunmamak, çocuk edebiyatının bütün bir sistem, belirli tarihsel ve pedagojik koşullar tarafından yaratılan bir edebi alan, doğrudan çocuklar için yazılmış, okul ve pedagojik yaşamın ihtiyaçlarıyla bağlantılı olarak, çocukların psikolojisini dikkate alarak oluşturulmuş eserlerden oluşan edebi ve tarihsel sürecin bir dalı olduğu gerçeğini görmezden gelmektir. Sonuç olarak, "kendi bağımsız hak ve yasalarına" sahip olan çocuk edebiyatının yasalarına ve ilkelerine dokunmadan, klasik edebiyatta küçüklerin anlayabileceği kabul edilebilir görünen her şeyi çocuk edebiyatı adı altında sunuyorlar. Dolayısıyla, çocuk edebiyatına nereden başlanacağı sorusu, uygun bilimsel çözümünü beklemelidir.

Anahtar kelimeler: ikna edici, akıl yürütme, edebi alan, klasik edebiyat, izin veren

HISTORY OF THE FORMATION OF THE MORAL-DIDACTIC PERIOD IN AZERBAIJAN CHILDREN'S LITERATURE

ABSTRACT

"While searching for the correct answer to the question of who was the first creator of Azerbaijani children's literature, some thinkers (R. Afandizadeh, M. Rzaguluzadeh, etc.) approached this issue from different contexts in their articles and notes, put forward considerations, but could not achieve a convincing objective scientific result. Although the names of H.Kh. Garadaghi, S.M. Ganizadeh, A. Shaig, M.T. Sidqi and other writers were mentioned as the first creators in these subjective opinions, they did not find a complete solution from a historical and scientific point of view. In the scientific research work "Pedagogical Environment and Children's Literature", M. Mammadov rightly expressed a critical attitude to such ideas and considerations. The author, referring to a number of scientific sources, exposed misconceptions about the formation of Azerbaijani children's literature and rightly showed that it is unacceptable to accept didactic-educational, moral-instructive, admonishing works of art, especially representations and stories, that seem to be in line with the meaning of children and that they can more or less understand, as examples of children's literature. Because the existence of political-social and cultural conditions must be taken as a basis for the formation of Azerbaijani children's literature. If we add the specific features of children's literature to this, we can say that anthologizing the history of Azerbaijani children's literature does not bring glory, on the contrary, this freedom creates a serious problem and distracts the reader's mind from science.

Researchers who oppose these misconceptions write: “The authors act very carelessly and freely in their reasoning and analysis, as if they do not face such a serious problem as determining whether the subject they are talking about is an example of children's literature or not. This approach to the problem leads to the fact that if examples are found in Nizami that are suitable for children's understanding, then without any additional explanation, those works are unconditionally included in the analysis as examples of children's literature. What allows for freedom is not touching the problem itself, ignoring the fact that children's literature is a whole system, a literary field created by specific historical and pedagogical conditions, a branch of the literary and historical process consisting of works written directly for children, created in connection with the needs of school and pedagogical life, taking into account the psychology of children. As a result, without touching on the laws and principles of children's literature, which has "its own independent rights and laws", they present whatever they find in classical literature that seems acceptable for the understanding of the little ones under the name of children's literature. Thus, the question of where to start with children's literature must await its proper scientific solution.

Keywords: persuasive, reasoning, literary field, classical literature, allowing

GİRİŞ

«Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının ilk yaradıcısı kim olmuşdur sualına düzgün cavab axtararkən bəzi fikir sahibləri (R.Əfəndizadə, M.Rzaquluzadə və b.) məqalə və qeydlərində bu məsələyə müxtəlif kontekstdən yanaşmış, mülahizələr irəli sürmüş, lakin inandırıcı təsir bağışlayan obyektiv elmi nəticə əldə edə bilməmişlər. Bu subyektiv fikirlərdə H.X.Qaradağı, S.M.Qənizadə,A.Şaiq, M.T.Sidqi və digər qələm sahiblərinin adları ilkin yaradıcı kimi hallandırılsa da, tarixilik və elmi baxımdan öz bitkin həllini tapmamışdır. «Pedaqoji mühit və uşaq ədəbiyyatı» elmi-tədqiqat əsərində M.Məmmədov haqlı olaraq, bu cür fikir və mülahizələrə tənqidi münasibət bildirmişdir. Müəllif bir sıra elmi mənbələrə istinad edərək Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının təşəkkülü ilə bağlı yanlış fikirləri üzə çıxarmış, haqlı olaraq göstərmişlər ki, didaktik-tərbiyəvi, əxlaqi-ibrətamiz, öyüd-nəsihət səciyyəli, uşaqların anlamına uyğun görünən, onların az-çox dərk edə bildiyi bədii əsərləri, xüsusilə də təmsil və hekayələri ucdantutma uşaq ədəbiyyatı nümunəsi kimi qəbul etmək məqbul sayıla bilməz. Çünki Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının yaranması üçün mütləq siyasi-ictimai və mədəni şəraitin mövcudluğu əsas götürülməlidir. Uşaq ədəbiyyatının özünəxas xüsusiyyətlərini də buraya əlavə etsək, deyə bilərik ki, Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının tarixini qədimləşdirmək şan-şöhrət gətirmir, əksinə, bu sərbəstlik ciddi problem yaradır, oxucunun fikrini elmilikdən yayındırır. Bu yanlış fikirlərə qarşı çıxan tədqiqatçılar yazırlar: «Müəlliflər öz mülahizə və təhlillərində çox arxayın, sərbəst hərəkət edir, elə bil ki, haqqında danışdıqları predmetin uşaq ədəbiyyatı nümunəsi olub-olmamasını müəyyənləşdirmək kimi ciddi bir problemlə qarşılaşmırlar. Problemə bu cür yanaşma ona gətirib çıxarır ki, əgər Nizamidə uşaq fəhminə uyğun nümunələr tapılırsa, heç bir əlavə izahat olmadan, qeyd-şərtsiz həmin əsərlər uşaq ədəbiyyatı nümunəsi kimi təhlilə cəlb edilir. Sərbəstliyə imkan verən isə elə problemin özünə toxunmamaq, uşaq ədəbiyyatından bütöv bir sistem, konkret tarixi-pedaqoji şəraitin doğurduğu ədəbi sahə, ədəbiyyatın birbaşa uşaqlar üçün yazılmış əsərlərdən ibarət, ədəbi-tarixi prosesin məktəb və pedaqoji həyatın ehtiyacları ilə bağlı, uşaq psixologiyasını nəzərə alaraq yaradılmış qolu olduğunu nəzərdən qaçırmaqdır. Nəticədə, «öz müstəqil hüquq və qanunları» olan uşaq ədəbiyyatının həmin qanun və prinsiplərinə toxunmadan klassik ədəbiyyatda kiçiklərin anlamı üçün məqbul görünən hər nə tapırlarsa, uşaq ədəbiyyatı adı ilə təqdim edirlər. Beləliklə, uşaq ədəbiyyatını nədən başlamaq məsələsi öz düzgün elmi həllini gözləməli olur».

XIX əsrin zəngin ədəbi prosesini geniş tədqiqə cəlb etmiş prof. X.Məmmədov həmçinin, Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının tarixi-elmi nəzəri inkişaf yolunu incəliklə araşdırmış, əldə etdiyi zəngin arxiv materiallarına istinad edərək, milli uşaq ədəbiyyatı təşəkkülünün məhz XIX əsr maarifçi-şairi S.Ə.Şirvani (1835-1888) yaradıcılığı ilə bağlı olduğunu elmi faktlarla əsaslandıraraq sübut etmişdir. Tədqiqatçı haqlı olaraq yazır: «Seyid

Əzim Şirvani Azərbaycan ədəbiyyatı tarixində ilk sənətkardır ki, əsrin meydana çıxardığı ehtiyacı-uşaq ədəbiyyatı yaratmaq ideyasının zəruriliyini şüurlu şəkildə dərk etmiş, əski yaradıcılıq yolunda kəskin dönüş yaradaraq, ömrünün on dörd yetkin ilini milli məktəblərin dərs və oxu kitabı ilə təmin olunması işinə həsr etmişdir. Sələflərdən fərqli olaraq S.Ə.Şirvani uşaq ədəbiyyatının spesifikası məsələlərinə dərindən bələd olmuş, onları əməli yaradıcılıq fəaliyyətinə tətbiq etməklə orijinal uşaq əsərləri yarada bilmişdir.Məhz bu keyfiyyətlərə görə S.Ə.Şirvani milli uşaq ədəbiyyatımızın banisi olmaq hüququnu qazanmışdır».

XIX əsrdə dünyanın bir çox ölkələrində olduğu kimi, Azərbaycan da iqtisadi-siyasi və mədəni həyatda baş vermiş dəyişikliklər nəticəsində yeni inkişaf mərhələsinə qədəm qoydu. Ərazi ehtirası ilə vuruş meydanına atılmış Rusiya və İran dövlətləri arasında 10 fevral 1828-ci ildə bağlanmış Türkmənçay müqaviləsi bu ölkələr arasındakı münaqişəyə son qoydu və müharibənin qanunlarına uyğun olaraq, döyüş poliqonuna çevrilmiş Azərbaycanın şimal ərazisi Rusiyanın tərkibinə daxil edildi. Rusiya münbit torpaqlara, zəngin yeraltı sərvətlərə, maddi nemətlərə malik olan Azərbaycan ərazisi hesabına imperiyanı bir qədər də genişləndirmək məqsədi güdməsinə, özünün planlı işğalçılıq niyyətlərini həyata keçirməsinə baxmayaraq, zərurətdən meydana gəlmiş bir sıra mütərəqqi ictimai-siyasi və mədəni proseslər bir növ Azərbaycan xalqının xeyrinə oldu, yerli ziyalıların yorulmaz fəaliyyəti nəticəsində ədəbi-mədəni və pedaqoji mühitdə nəzərə çarpan dirçəliş və güclü inkişaf axını görünməyə başladı.

XIX əsrin dördüncü onilliyinə qədər Azərbaycanda yalnız molla məktəbləri və mədrəsələr fəaliyyət göstərirdi. Bu təhsil yerlərində ilk dəfə «Çərəkə» öyrədilir, bundan sonra «Qurani-Kərim» oxunur, təhsilin son mərhələsində isə əsasən, fars dilində yazılmış klassik ədəbiyyat nümunələrinə və digər populyar əsərlərə (S.Şirazinin «Bustan», «Gülüstan» və sair) yer verilirdi. Lakin zaman keçdikcə və mədəni inkişaf prosesi günbəgün irəlilədikcə, artıq dövrlə ayaqlaşmayan, insanların oyanmış təfəkküründə ibtidai təəssürat yaradan təhsil sistemi tədricən Qərbi Avropa ölkələrindən süzülüb gələn yeni, mütərəqqi təlim üsulları ilə əvəz olunmağa başladı. «Baş verən əlamətdar hadisələr içərisində yeni, dünyəvi məktəblərin açılması, məktəb və maarif hərəkatının canlanması xalqın həyatında daha əhəmiyyətli məna kəsb etdi. Bir sıra xalqlarda olduğu kimi, Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının təşəkkül taleyi də yeni pedaqoji həyatla sıx surətdə bağlandı. 1829-cu il avqustun 2-də Zaqafqaziya məktəblərinin ilk nizamnaməsi təsdiq edildi və bununla Azərbaycanda Avropa tipində məktəblər açmağın rəsmi tarixi başlandı». Bu tarixdən, Azərbaycan üzünü vaxtilə zəngin ədəbi-mədəni və elmi inkişaf yolu keçmiş qədim Şərqdən Avropaya çevirməli oldu. Şimali Azərbaycan və Rusiya arasında təbii olaraq yaranmış siyasiiqtisadi yaxınlıqla yanaşı, mədəni əlaqə imkanları genişləndi. Mədəni inkişaf

prosesinə çox ciddi meneçilik törədən feodal nizamsızlığı tədricən aradan qalxdıqca, ölkənin iqtisadi-mədəni həyatında yeni irəliləyiş duyulmağa başladı. Zaman keçdikcə, Azərbaycan üçün zəruri olan maarifçilik hərəkatı meydana gəldi, görkəmli alim və yazıçıların, maarifçi ziyalıların yaradıcılıq münasibətləri daha da möhkəmləndi. Azərbaycanın bəzi ərazilərində dövlət tərəfindən açılan, mütərəqqi yeni üsullu məktəblər üçün istər-istəməz dərslik və müntəxəbatların yazılma zərurəti meydana gəldi. Belə ki, sürətlə davam edən mədəni proseslərin nəticəsində Azərbaycanda maarifçilik hərəkatı yeni inkişaf mərhələsinə qədəm qoydu.

Dövrün maarif və mədəniyyətində müasirlik meylləri genişləndikcə, pedaqoji mühitin təbii olaraq canlanması xalq arasında xüsusi maraq yaratdı, savadsızlığın, mədəni geriliyin aradan qaldırılması üçün əsl mübarizə meydanı açıldı. Bütün bunlar zəruri tələbatdan irəli gəlirdi. Uzun illər İranın feodal mühiti şəraitində bu sahədə irəliləyiş əldə edə bilməyən Şimali Azərbaycan, zaman keçdikcə mütərəqqi Avropa maarifçiliyinin təsirindən doğan mühitdə inkişafa doğru istiqamət aldı. İllər ötdükcə Azərbaycanın iqtisadi-mədəni baxımdan inkişaf etmiş bir sıra şəhərlərində mütərəqqi məktəblərin sayı durmadan artır, Şuşada (1830), Nuxada (indiki Şəkidə) (1831), Bakıda (1832), Gəncədə (1833), Naxçıvanda (1837) və Şamaxıda (1838) dövlət tərəfindən təsis edilmiş rus təmayüllü qəza məktəbləri açılırdı. Bu məktəblərdə rus dili, hesab, coğrafiya və şəriət dərsləri tədris edilirdi. Həmin məktəblərin tədris planına bir fənn kimi Azərbaycan dili də daxil edilir və bu məktəblərin məsrəf xərci dövlətin hesabına ödənilirdi. XIX əsrin ilk qərinəsində Azərbaycan maarifçiliyinin inkişafında əvəzsiz xidmətlər göstərmiş, ensiklopedik biliyə malik olan A.Bakıxanov yaradıcılığa fars dilində yazdığı ilk elmi əsəri ilə-«Qanuni-Qüdsi» (1828) ilə başladı. Görkəmli maarifçi açılacaq məktəblərdə dərs vəsaitinin yoxluğunu hiss etdiyi üçün bu əsəri dərslik kimi nəzərdə tutmuş, məktəb şagirdlərinin fars dilinin qrammatik qanun və qaydalarını daha yaxşı yadda saxlaması üçün gətirdiyi misalların çoxunu şeir parçalarından tərtib etmişdir.

Bu zəruri əsər Zaqafqaziya və Rusiyada fars dilinin ilk qrammatikası hesab olunurdu. A.Bakıxanov, həmçinin, mütərəqqi mahiyyət daşıyan maarifçilik sistemini Azərbaycanda daha da inkişaf etdirmək məqsədilə bir alim kimi pedaqogikanın nəzəri məsələləri ilə də ciddi məşğul olmuşdur. Qələmə aldığı «Təhzib ül-əxlaq» əsərində müəllifin həyata fəlsəfi və əxlaqi baxışları, burada qoyulmuş mənəvi-əxlaqi və pedaqoji məsələlər sonralar yaranacaq uşaq ədəbiyyatının təşəkkülü və inkişafı üçün əsaslı rol oynamışdır. «Təhzib ül-əxlaq» fəlsəfi əsər olsa da, müəllif burada gənc nəslin bir şəxsiyyət kimi tərbiyə edilməsini və bu zəruri problemin həlli yollarını qarşısına əsas məqsəd kimi qoymuşdur. «Təhzübi-əxlaq» əsərindən sonra «Kitabi-nasayeh» («Nəsihətlər») dərsliyini qələmə alan Abbasqulu ağa onun yazılma səbəbini belə izah edirdi: «Mən nə qədər

axtardımsa, uşaqların təlimi üçün elə bir kitab tapa bilmədim ki, o asan anlaşılan bir dil ilə onların əxlaq gözəlliyinə dəlalət etsin. Bəzi işlənməkdə olan kitablar o qədər qarışıq-dolaşıq ibarələrlə yazılmışdır ki, müəllimlərin çoxu özləri onları dərk edə bilmirlər. Bəzi kitablar isə o qədər uzun və pərakəndədir ki, onları anlamaq çox çətindir. Bu kitablarda: «Uşaqlıqda öyrənilən elm daşa qazılmış şəkil kimidir» zərbülməsəlinin məzmunundan qəflət olunur. Əxlaq gözəlliyini hər zamandan artıq uşaq yaşlarında onlara öyrətmək lazımdır… Beləliklə, hicrətdən 1252-ci il keçən zamanda «Nəsayeh» nəsihətlər adlı aydın və sadə anlaşılan müxtəsər bir kitab yazdım. Qüdrətli allahın köməyinə ümid edirəm ki, bu əsər uşaqlara faydalı olub onların tərbiyəsinə getdikcə daha artıq təsir etsin». Bu ifadələrdən sonra görkəmli şair üzünü uşaqlara tutur: «Ey mənim əzizim! Sən insansan, Allah insanı dünyada hər şeydən yaxşı yaratmışdır. Görmürsənmi ki, heyvanlar o qədər böyük bədən və güc ilə insanın əlində əsirdirlər. Bu isə işi yaxşı bacarmaq səbəbindədir. İnsanlar arasında hər kəs çox bilikli və iş bilən olsa, həmişə hörmətli olar». Əsər 103 nəsihətdən ibarətdir və bu nəsihətlərin əsas qayəsi yeni nəslin mənəvi-əxlaqi tərbiyəsinin formalaşmasına istiqamət verməkdir. Özündən böyüklərə hörmət etmək, ata-ananı, qohum-əqrəbanı sevmək, onların sözünə danışıqsız qulaq asmaq, yetərincə danışmaq, lovğalanmamaq, xeyirxah hisslərlə yaşamaq və sair cəhətlər bu nəsihətlərin əsasını təşkil edir.

NƏTİCƏ Araşdırmalar göstərir ki, Nizami ənənələrini davam etdirən A.Bakıxanov ibrətamiz əhvalatların bədii təsviri ilə pedaqoji və fəlsəfi fikirlərini əks etdirir, uşaqları ədəbiyyat nümunələri ilə təmin etmək məqsədilə orijinal əsərlər qələmə alırdı. Onun bədii irsi içərisində «Mişkatül-ənvar» adlı farsca külliyatına daxil edilmiş mənzum hekayə və təmsilləri əsas yer tutur. A.Bakıxanov «Əmələn cəzası» adlı hind əfsanəsindən istifadə edərək Xeyirin Şərə, zəkanın, idrakın avamlığa, nadanlığa, düzlüyün yalan və iftiraya qalib gəldiyini yüksək sənətkarlıqla qələmə almışdır. Bu əsər onun epik mənzum əsərləri içərisində xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. N.Gəncəvidə olduğu kimi, bu mənzum hekayənin də əsas mövzusunu ədalətli şah probleminin həlli məsələsi təşkil edir, ədalətli və zalım şah surətləri qarşı-qarşıya qoyulur. Şairin fikrincə, hər bir dövlət başçısı zəka sahibi olmalı, xalqını, millətini sevməli, öz ölkəsinin ədalətlə idarə olunmasına çalışmalı, zülmə və haqsızlığa yol verməməlidir. «Hikmətin fəziləti» mənzum hekayəsində göstərir ki, müəllif dünyada ən xeyirli şey hünər və qabiliyyət, ən yaxşı iş isə xeyirxahlıqdır. «Məşvərətin şərtləri» adlı mənzum hekayəsində insan ali şüurunun qüdrəti tərənnüm olunur. «Uşaq və günəş» mənzum hekayəsinin isə məzmunu belədir: Qaranlıq bir evdə doğulan uşaq, elə orada da müəllimdən dərs alır. Müəllimi şamdan başqa işıq görməyən uşağa nə qədər Günəşin varlığından söz açsa da, uşaq dünyada şamdan işıqlı şey olmadığını israr edir. Yalnız bir gün qaranlıqdan çıxıb Günəşi görəndən sonra müəlliminin dediklərinə inanır. A.Bakıxanovun mənzum hekayələri içərisində «Haqq

söz»,«Qarı və Harun», «Yersiz minnət qoymaq» və sair əsərlər tərbiyəvi, dərin mənalı təsir gücü ilə oxucunun diqqətini cəlb edir, onun bütün mənzum əsərlərində maarifçilik ideyalarının təbliği və təqdir olunması aşkar şəkildə görünür.

KAYNAKLAR

1.İ.Qutqaşınlı. “Rəşid bəy və Sadət xanım” Dünya uşaq ədəbiyyatı kitabxanası.Bakı, 1990,s.36

2.A.Bakıxanov. “Hind əfsanəsi”- Бакы, 1991, s. 64

3. X.Məmmədov. XIX əsr Azərbaycan uşaq ədəbiyyatı.- Б., 1992, s.. 46.

4.M.Rzaquluzadə “Azərbaycan şura cocuk ədəbiyyatının naliyyətləri”İnqilab və Mədəniyyət 1935,№10-12,s.41-43

CHRİS KELLY'NİN ANALİZLERİ IŞIĞINDA ROUSSEAU'DA KİMLİK, KAHRAMANLIK VE TOPLUMSAL İNŞA

Dr. Öğr. Türkan HÜSEYNOVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Üniversitesi, Shamakhi bölümü, Dil, edebiyat ve onların öğretim teknolojisi bölümü, Dünya edebiyatı öğretmeni

Bakü Devlet Üniversitesi, Dünya edebiyatı bölümü doktora öğrencisi

turkan.huseynova.8989@mail.ru

https://orcid.org/0009-0008-0507-0880

Özet

Fransız aydınlanmacılarından Jean-Jacques Rousseau'nun dünyaca ünlü araştırmacılarından biri olan Profesör Chris Kelly'nin J.J. Rousseau, toplum, kimlik/özdeşleşme (identifikasyon) ve kahraman konuları hakkındaki düşünceleri; dünya felsefesi, edebiyat bilimi ve sosyoloji için son derece ilgi çekici konulardır. Kelly, Rousseau'ya göre bir toplumun veya topluluğun kendi kahramanlarıyla tanımlandığını ve tanındığını belirtir. Burada "identifikasyon" sözcüğünün ilk kez kullanıldığını görüyoruz. İdentifikasyon; tanımak, belirlemek ve özdeşleşmek anlamına gelir.

C. Kelly, Polonya'dan devlet ve toplum yapılanmasıyla ilgili Rousseau'ya başvurulduğunda, Rousseau'nun şu cevabı verdiğini kaydeder: Bunun için Polonyalılara eğitim sisteminde ve müfredatta Fransa tarihinden değil, Polonya tarihinden ve milli kahramanlarından bahsetmek gerekir. Bunlar doğrudan eğitime dahil edilmelidir; çünkü ancak bu sayede başarılı bir devlet ve toplum elde edilebilir.

Profesör, J.J. Rousseau'nun Fransa'da bir insanın başka bir insanla tanınması, belirlenmesi ve özdeşleşmesi fikrini dile getiren ilk kişi olduğunu belirtir. Doğrudur; matematik ve ilahiyatta "identifikasyon" terimi vardır, ancak sırf bu anlamda ve bağlamda Rousseau'dan önce böyle bir fikir bulunmuyordu. "Bir insan başkasıyla tanınır, belirlenir" cümlesi, dilbilgisi bakımından bile Rousseau'dan önce kullanılmamıştır.

"Kahraman derken Rousseau ilk olarak kimi kastediyor?" sorusuna Kelly şu yanıtı verir: İlk ve temel olarak siyasi liderleri kastediyor; çünkü onlar toplumla olan ilişkilerinde daha kritik figürlerdir.

J.J. Rousseau, kahramanın niteliğini ve kimliğini belirlerken dayanıklılık, cesaret ve adalet gibi geleneksel kahramanlık özelliklerinin yanı sıra daha çok "ruh gücü" (strength of soul) üzerinde durur. Profesör, bu noktada "ruh gücü" ile "erdem" (virtue) arasındaki ilişkiyle ilgili bir sorunun ortaya çıktığını belirtir. Ruh gücü, erdemin kaynağı ve tamamlayıcısıdır. Zayıflık; bağımlılığın ve manipülasyona açık olmanın sebebidir; zayıflık ile kölelik ise tüm kötülüklerin ve vahşiliklerin temelidir. Rousseau, eğer zayıflık ve bağımlılık erdemsizliğe

(günaha/kötülüğe) götürüyorsa, bu durumda ruh gücünün erdeme çıkan yol olduğunu ifade etmek ister. Nitekim Rousseau bazen erdemi ruh gücüyle eşdeğer tutuyorsa, bunun sebebi erdemi adalet uğruna istek ve arzularımızı kontrol altında tutmak olarak kavramasıdır — bunu başarmak ise gerçekten büyük bir güç gerektirir.

"Rousseau ilk olarak erdemle ilgilenir; fakat erdemin onun düşünce dünyasında çelişkili (ikili) bir konuma sahip olduğunu göstermek kolaydır. Rousseau için temel ve asli olan, insanın kendi varlığını hissetme deneyimidir. O; erdem, merhamet (şefkat) veya özgürlük gibi kavramları yalnızca bu hissi güçlendirdikleri ölçüde kabul eder. Ruh gücünün, sahibine varlığının niteliksel ve niceliksel olarak daha üstün bir duyumunu sunduğu söylenebilir." – Chris Kelly, *"Rousseau as Author"* kitabından alıntı.

Anahtar kelimeler: İdentifikasyon (Özdeşleşme), Ruh Gücü (Strength of Soul), **Siyasi Kahramanlık**

IDENTİTY, HEROİSM, AND SOCİAL CONSTRUCTİON İN ROUSSEAU İN LİGHT OF CHRİS KELLY'S ANALYSES

Turkan HUSEYNOVA

Lecturer of World Literature, Department of Language, Literature, and Teaching Technologies,

Shamakhi Branch of Azerbaijan State Pedagogical University

PhD Student in World Literature, Baku State University

turkan.huseynova.8989@mail.ru

https://orcid.org/0009-0008-0507-0880

Abstract

The thoughts of Professor Chris Kelly—one of the world-renowned scholars on the French Enlightenment thinker Jean-Jacques Rousseau—regarding J.J. Rousseau, society, identity/identification, and heroism are deeply engaging topics for global philosophy, literary studies, and sociology. Kelly notes that, according to Rousseau, a society or community is defined and recognized by its heroes. Here, we see the word "identification" being used in this context for the first time. Identification means to recognize, define, and identify with.

C. Kelly records that when Rousseau was consulted regarding state and society building in Poland, he responded that in order to achieve this, the Polish education system and curriculum should focus not on French history, but on Polish history and its national heroes. These must be directly incorporated into education, as a successful state and society can only be forged through this approach.

The Professor points out that J.J. Rousseau was the first person in France to express the idea of a human being being recognized, defined, and identified through another human being. It is true that the term "identification" existed in mathematics and theology, but prior to Rousseau, no such concept existed purely in this sense and context. The sentence "a person is recognized and defined through another" was not used prior to Rousseau, even from a grammatical standpoint.

To the question "Who does Rousseau mean first and foremost when he says 'hero'?", Kelly answers that he refers primarily and fundamentally to political leaders, as they are more critical figures in relation to society.

In determining the nature and identity of a hero, J.J. Rousseau emphasizes "strength of soul" over traditional heroic traits such as endurance, courage, and justice. The Professor notes that at this point, a question arises regarding the relationship between "strength of soul" and "virtue." Strength of soul is both the source and the complement of virtue. Weakness is the cause of dependency and manipulability, while weakness and slavery

form the foundation of all atrocities and evils. Rousseau implies that if weakness and dependency lead to vice (sin/evil), then strength of soul is the path leading to virtue. Indeed, if Rousseau sometimes equates virtue with strength of soul, it is because he understands virtue as keeping our desires and cravings under control for the sake of justice—and doing so truly requires great strength.

"Rousseau is interested first of all in virtue, but it is easy to show that virtue has an ambiguous [dual] position in his thought. What is basic for Rousseau is the experience of the sentiment of one's own existence. He accepts virtue, or compassion, or freedom, only to the extent that they enhance this sentiment. Strength of soul gives its possessor a qualitatively and quantitatively superior feeling of existence." – Excerpt from Chris Kelly's book, *"Rousseau as Author"*.

Keywords: Identification, Strength of Soul, Political Heroism

MİCHAEL SUGRUE'NUN PERSPEKTİFİNDEN "GENÇ WERTHER'İN ACILARI": ERKEN ROMANTİZM, STURM UND DRANG VE AYDINLANMA ELEŞTİRİSİ

Dr. Öğr. Türkan HÜSEYNOVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Üniversitesi, Shamakhi bölümü, Dil, edebiyat ve onların öğretim teknolojisi bölümü, Dünya edebiyatı öğretmeni

Bakü Devlet Üniversitesi, Dünya edebiyatı bölümü doktora öğrencisi

turkan.huseynova.8989@mail.ru

https://orcid.org/0009-0008-0507-0880

Özet

Prof. Dr. Michael Sugrue'nun (Princeton ve Johns Hopkins Üniversiteleri) Alman Romantizminin en seçkin temsilcisi Johann Wolfgang von Goethe'nin "Genç Werther'in Acıları" yapıtının hangi hususlar bakımından erken Romantizm, yani "Fırtına ve Coşku" (Sturm und Drang) hareketinin ilkelerini yansıttığını açıklayan son derece ilgi çekici bilimsel-teorik görüşleri bulunmaktadır; nitekim bu bilimsel araştırmada amacımız söz konusu görüşleri incelemektir.

Sugrue'nun yaklaşımına göre bu eser, Batı edebiyatının en başarılı örneklerinden biri olup Goethe'nin bir diğer başyapıtı olan "Faust" ile belirgin bir tezat oluşturmaktadır. Faust son derece karmaşık bir yapıya sahipken, Genç Werther'in Acıları son derece sade bir eserdir. Faust altmış yıllık bir sürecin ürünü ve Goethe'nin tüm yaşamının bir özeti mahiyetindeyken; Genç Werther'in Acıları yazarın gençlik yıllarının, erken döneminin (24 yaşının) bir ürünüdür. Bu yapıt, "Fırtına ve Coşku" hareketinin prensiplerini eksiksiz biçimde yansıtan ve Romantizm akımının temelini oluşturan başlıca metinlerden biridir.

Prof. Sugrue, Werther'in oldukça sıradan bir genç olduğunu, mütevazı bir yaşam sürdüğünü, yalnızca kendi iç dünyasıyla meşgul olup tamamen kendi duygularına odaklandığını vurgular. Werther; burjuva toplumuna, aristokrasiye ve sosyal aktiviteye tiksintiyle bakan, kendi dünyasında yaşayan ve Charlotte'a platonik bir aşkla bağlı olan bir gençtir. Eser boyunca onun Charlotte'a karşı beslediği bu platonik hislerin edebi tasvirine tanıklık edilir.

Werther, Aydınlanma dönemi edebiyatının archetype/temel figürlerinden biri sayılan Robinson Crusoe'dan farklı olarak, kadınlara ve çocuklara karşı son derece hassas, dikkatli ve sempatiktir. Oysa Robinson'da bu niteliklere rastlanmaz; nitekim o, Aydınlanma Çağı'nın bir kahramanı olarak kadınlardan uzak durur. Romantizm ise tam da Aydınlanma'nın bu soğuk rasyonalizmine/mantığına tepki göstererek kadın ve çocuk olgusuna duyarlılıkla yaklaşır.

Profesör, Werther'in karşıt kutbu olarak burjuva toplumunun temsilcisi ve sosyal aktivizmin sembolü olan Albert karakterini konumlandırır. Albert, her bakımdan Werther'in antitezidir.

Eserin kadın kahramanı ve Werther'in platonik aşkının odağı olan Charlotte ise insanlık tarihinin en güzel kadın karakterlerinden biridir. Werther'e göre o, her şeyin merkezidir; Troya'lı Helen'dir, masumiyetin ve kadınlığın prototipidir. Ancak profesörün ifadesiyle, bu fiziksel cazibesinin yanı sıra Charlotte, edebiyat dünyasının persona bakımından en derinliksiz, en niteliksiz ve en sıkıcı kadın figürlerinden biridir.

Werther'in doğaya duyduğu ilgi, halktan insanlara beslediği sempati ve makam sahibi kişilere karşı duyduğu nefret de Romantizm akımını biçimlendiren temel unsurlar arasındadır.

Prof. Sugrue, eserin mektup roman (epistolary) tarzında kaleme alındığını, kurgusunun kusursuz ve muazzam olduğunu belirtir. Yapıt, özgün dilinde ve nitelikli çevirilerinde son derece akıcı olup adeta okuyucuya kendisini okutmak için yalvarır. Eser boyunca Werther'in tekdüze duygularını sunmak sıkıcı olabileceğinden, Goethe mektup biçimini edebi bir araç olarak yetkinlikle kullanmıştır.

Anahtar kelimeler: Genç Werther'in Acıları, Erken Romantizm (Sturm und Drang), Michael Sugrue

THE SORROWS OF YOUNG WERTHER FROM THE PERSPECTİVE OF MİCHAEL SUGRUE: EARLY ROMANTİCİSM, STURM UND DRANG, AND THE CRİTİQUE OF ENLİGHTENMENT

Turkan HUSEYNOVA

Lecturer of World Literature, Department of Language, Literature, and Teaching Technologies,

Shamakhi Branch of Azerbaijan State Pedagogical University

PhD Student in World Literature, Baku State University

turkan.huseynova.8989@mail.ru

https://orcid.org/0009-0008-0507-0880

Abstract

Prof. Dr. Michael Sugrue (Princeton and Johns Hopkins Universities) offers highly compelling academic and theoretical insights regarding how Johann Wolfgang von Goethe's *"The Sorrows of Young Werther"*—a masterpiece by the prominent representative of German Romanticism—embodies the principles of Early Romanticism, namely the *Sturm und Drang* ("Storm and Stress") movement. Indeed, the primary objective of this study is to examine these scholarly views.

According to Sugrue's approach, this work stands as one of the most successful examples of Western literature and creates a striking contrast with Goethe's other masterwork, *"Faust."* While *Faust* possesses an extraordinarily complex structure, *The Sorrows of Young Werther* is exceptionally simple. Whereas *Faust* was the product of a sixty-year endeavor that encapsulates Goethe's entire lifespan, *The Sorrows of Young Werther* stems from his youth—written when he was just twenty-four years old. The text serves as one of the foundational works of the Romantic movement, fully reflecting the core ideals of *Sturm und Drang*.

Prof. Sugrue emphasizes that Werther is an ordinary young man who lives a modest life, engrossed solely in his inner thoughts and intensely focused on his own emotions. Werther views bourgeois society, aristocracy, and social activism with disgust; he lives in his own private world, platonically devoted to Charlotte. Throughout the novel, readers bear witness to the literary depiction of these platonic feelings toward her.

Unlike Robinson Crusoe—a prototypical figure of Enlightenment literature—Werther is exceptionally sensitive, attentive, and compassionate toward women and children. These qualities are absent in Crusoe, who, as a hero of the Enlightenment era, remains distant from women. Romanticism directly reacts against this cold rationalism of the Enlightenment by approaching the figures of women and children with deep emotional sensitivity.

The professor positions the character of Albert as Werther's polar opposite: a representative of bourgeois society and a symbol of social activism. Albert functions as Werther's complete antithesis.

Charlotte, the novel's heroine and the focal point of Werther's platonic love, is depicted as one of the most beautiful female characters in human history. To Werther, she is the center of everything, a Helen of Troy, and the ultimate prototype of innocence and womanhood. However, as the professor notes, alongside her physical charm, Charlotte is structurally one of the most shallow, featureless, and dull female figures in the literary world in terms of persona.

Furthermore, Werther's fascination with nature, his empathy for ordinary people, and his disdain for high-ranking officials serve as central elements shaping the Romantic movement.

Finally, Prof. Sugrue points out that the novel is composed in the epistolary style and possesses a flawless narrative structure. In its original language—as well as in high-quality translations—it flows effortlessly, practically begging the reader to read it. Recognizing that presenting Werther's uninterrupted internal monologues might become monotonous, Goethe skillfully utilized the epistolary format as an engaging literary device.

Keywords: The Sorrows of Young Werther, Early Romanticism (Sturm und Drang), Michael Sugrue

XIX ƏSRİN İKİNCİ YARISI AMERİKA ƏDƏBİYYATINDA REALİZM

Aynur Zahir qızı Bədəlova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin müəllimi

https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-9288-6218

badalovaaynurrr@gmail.com

Xülasə

XIX əsrin ikinci yarısı Amerika ədəbiyyatında realizmin formalaşması və inkişafı baxımından mühüm mərhələdir. Bu dövrdə Amerika cəmiyyətində baş verən siyasi, sosial və iqtisadi dəyişikliklər ədəbi düşüncəyə də təsir göstərmiş, yazıçıların həyata və insan obrazına münasibətində yeni meyillər yaratmışdır. Vətəndaş müharibəsindən sonra sənayeləşmənin sürətlənməsi, şəhərlərin böyüməsi, əhalinin artması, miqrasiya və orta təbəqənin mövqeyinin güclənməsi ədəbiyyatın mövzu dairəsini genişləndirmişdir. Realist yazıçılar romantik ədəbiyyatda üstünlük təşkil edən idealizə olunmuş qəhrəman və hadisələrdən daha çox gündəlik həyatın, adi insanın və onun sosial münasibətlərinin təsvirinə müraciət etmişlər. Realizmdə insan xarakterinin mürəkkəbliyi, qəhrəmanın yaşadığı mühitlə əlaqəsi, həyat hadisələrinin inandırıcı şəkildə təqdim olunması və təbii danışıq dilindən istifadə əsas xüsusiyyətlər kimi diqqəti cəlb edir. Məqalədə Amerika realizminin formalaşma şəraiti, poetik xüsusiyyətləri və əsas nümayəndələrinin yaradıcılığı araşdırılır. Mark Tven, Uilyam Din Hovells və Henri Ceymsin yaradıcılığı əsasında Amerika realizminin sosial, satirik və psixoloji istiqamətləri nəzərdən keçirilir. Eyni zamanda realizm və naturalizm arasındakı yaxınlıq və fərqlər haqqında fikir yürüdülür.

Açar sözlər: realizm, realist nəsr, hadisə, obraz.

Abstract

The second half of the 19th century is an important stage in the formation and development of realism in American literature. The political, social and economic changes that took place in American society during this period also affected literary thought and created new trends in writers' attitudes towards life and the image of man. After the Civil War, the acceleration of industrialization, the growth of cities, the increase in population, migration and the strengthening of the position of the middle class expanded the subject area of literature. Realist writers turned to the description of everyday life, ordinary people and their social relations rather than the idealized heroes and events that dominated romantic literature. In realism, the complexity of human character, the connection of the hero with the environment in which he lives, the convincing presentation of life events and the use of natural colloquial language attract attention as the main features. The article examines the conditions for the formation of American realism, poetic features and the work of its main representatives.

Based on the work of Mark Twain, William Dean Howells and Henry James, the social, satirical and psychological directions of American realism are considered. At the same time, the idea of the similarities and differences between realism and naturalism is discussed.
Keywords: realism, realistic prose, event, image.

Giriş

XIX əsrin ikinci yarısı Amerika ədəbiyyatında yeni bədii axtarışların gücləndiyi dövrdür. Bu mərhələdə ədəbiyyatın həyatla münasibətində müəyyən dəyişikliklər meydana gəlir. Romantik ədəbiyyatın ideal və qeyri-adi hadisələrə üstünlük verən təsvir üsulu tədricən öz yerini gündəlik həyatın daha konkret mənzərəsinə verirdi. Yazıçılar adi insanın həyatına, onun yaşadığı sosial mühitə, ailə və ictimai münasibətlərinə daha çox diqqət yetirməyə başlayırdılar. Amerika realizminin inkişafı ölkənin ictimai həyatında baş verən dəyişikliklərdən ayrı düşünülə bilməz. Vətəndaş müharibəsindən sonrakı dövrdə ABŞ-da sənaye sürətlə inkişaf edir, şəhərlər böyüyür, əhali artır, müxtəlif sosial qruplar arasında münasibətlər dəyişirdi. Savadlılığın genişlənməsi və yeni oxucu təbəqəsinin meydana çıxması da ədəbiyyatın inkişafına təsir göstərirdi. Beləliklə, dəyişən həyatın yeni mövzuları və problemləri ədəbiyyatın qarşısında yeni vəzifələr yaradırdı. Amerika realizminin xüsusiyyətləri haqqında danışarkən onun yalnız "gerçəkliyi olduğu kimi göstərmək" prinsipi ilə məhdudlaşmadığını nəzərə almaq lazımdır. Realist yazıçı üçün həyatın görünən tərəfləri ilə yanaşı, insan xarakterinin formalaşması, sosial münasibətlər və gündəlik davranışların arxasında dayanan səbəblər də əhəmiyyətlidir. Donna Kampbel realizmi *gerçəkliyin inandırıcı təsviri ilə əlaqələndirir və onun əsas diqqətini konkret həyat hadisələrinə, obrazlara və müşahidə edilə bilən nəticələrə yönəltdiyini göstərir* [1.]

Amerika realizminin yaranmasına təsir edən amillərdən biri XIX əsrin ikinci yarısında ölkənin sürətli inkişafı idi. Vətəndaş müharibəsindən sonra sənayeləşmə və şəhərsalma daha geniş vüsət almış, insanların həyat tərzi dəyişmişdi. Əhalinin müxtəlif regionlardan şəhərlərə köçməsi, miqrasiya proseslərinin artması və yeni sosial münasibətlərin meydana çıxması cəmiyyətin əvvəlki mənzərəsindən fərqli bir həyat yaratmışdı. Bu dəyişikliklər ədəbiyyatın mövzu dairəsində də özünü göstərirdi. Yazıçı artıq yalnız romantik qəhrəmanın qeyri-adi taleyini təsvir etmirdi. Adi insanın gündəlik həyatı da ədəbi təsvir üçün mühüm materiala çevrilirdi. İş, ailə, sosial münasibətlər, şəhər həyatı, maddi vəziyyət və insanın cəmiyyətdəki mövqeyi realist nəsrin diqqət mərkəzinə daxil olurdu. Realizmin mühüm xüsusiyyətlərindən biri də həyatın konkretliyinə üstünlük verilməsidir. Hadisələr mümkün qədər inandırıcı şəkildə təqdim edilir, obrazlar real həyat şəraitində göstərilir. Bu səbəbdən realist əsərdə süjetin qeyri-adiliyi əsas şərt deyil. Bəzən çox sadə bir hadisə insan xarakterini və onun sosial mühitini daha yaxşı göstərir. Kampbelin realist poetikaya aid etdiyi xüsusiyyətlər arasında da *gündəlik həyatın konkret detalları, hadisələrin inandırıcılığı və obrazın sosial mühitlə əlaqəsi xüsusi yer tutur* [1.]

Realist nəsrin əsas diqqət mərkəzlərindən biri insan obrazıdır. Burada obraz mürəkkəb xarakterə malik canlı insan kimi təqdim olunur. Realist yazıçı qəhrəmanı əvvəlcədən müəyyən edilmiş xüsusiyyətlər çərçivəsində saxlamır. Onun dəyişən münasibətlərini və qərarlarını izləyir. Riçard Keys Amerika romanının realist ənənəsindən bəhs edərkən *xarakterin süjetdən daha mühüm mövqeyə keçməsini realizmin əsas xüsusiyyətlərindən biri kimi nəzərdən keçirir* [3.] Bu fikir Amerika realist nəsrində obrazın necə dəyişdiyini anlamaq baxımından əhəmiyyətlidir. Qəhrəmanın başına gələn hadisələrdən çox, həmin hadisələrin onun xarakterində yaratdığı dəyişikliklər ön plana keçir. Beləliklə, realist obrazın həyatını müəyyən edən əsas amillərdən biri onun sosial mühitidir. İnsan cəmiyyətdən kənarda təsvir edilmir. Realizmin mühüm yeniliklərindən biri gündəlik həyatın ədəbi mövzu kimi qəbul edilməsidir. Əvvəlki dövrlərdə bədii əsər üçün qeyri-adi və dramatik hadisələr daha çox maraq doğururdusa, realist yazıçı adi həyatın özündə də kifayət qədər bədii material görürdü. Yazıçı həyatın müxtəlif tərəflərini müşahidə edir, sonra həmin müşahidələri obraz və hadisələr vasitəsilə bədii şəkildə ümumiləşdirir. Bu yanaşma Amerika realizminin sosial xarakterini də gücləndirmişdir.

Mark Tven Amerika realizminin ən tanınmış nümayəndələrindən biridir. Onun yaradıcılığının əsas xüsusiyyətlərindən biri realizmlə yumorun birləşməsidir. Yazıçı cəmiyyətdəki ziddiyyətləri yalnız ciddi və birbaşa tənqid yolu ilə göstərmir. O, gülüşdən, kinayə və satiradan istifadə etməklə sosial problemləri daha təsirli şəkildə təqdim edir. “Tom Soyerin macəraları”, “Şahzadə və dilənçi” və “Haklberri Finnin macəraları” kimi əsərlərində gündəlik həyatın müxtəlif tərəfləri uşaqların və yeniyetmələrin baxışından təqdim edilir. Bu baxış yazıçıya cəmiyyətdə qəbul olunmuş bir sıra münasibətləri kənardan göstərmək imkanı verir. Xüsusilə “Haklberri Finnin macəraları”nda qəhrəmanın gördükləri və düşündükləri vasitəsilə Amerika cəmiyyətinin sosial ziddiyyətləri üzə çıxır. Hak Finn obrazı realist qəhrəmanın xüsusiyyətlərini aydın şəkildə göstərir. Hak idealizə olunmuş qəhrəman deyil. O, yaşadığı mühitin təsiri altında formalaşmış, bəzən tərəddüd edən, bəzən isə öz müşahidələri əsasında qərar verən adi bir yeniyetmədir. Onun dünyanı dərk etməsi böyüklərin verdiyi hazır hökmlərlə həmişə üst-üstə düşmür. Hakın Cimlə birlikdə səyahəti zamanı qarşılaşdığı hadisələr onun cəmiyyət haqqında təsəvvürlərinin dəyişməsinə səbəb olur. O, hadisələrin içərisində dəyişir və öz münasibətini formalaşdırır. Bu xüsusiyyət Mark Tvenin realizmində insan xarakterinin inkişafına verilən əhəmiyyəti göstərir. Romanda Cim obrazı da sosial reallığın təsviri baxımından mühüm yer tutur. Cimin qorxuları, ailəsinə bağlılığı, azad olmaq arzusu və Hakla münasibəti onu canlı və fərdi xarakterə çevirir. Tven beləliklə, sosial problemi

konkret insan taleyi vasitəsilə göstərir. Bu baxımdan Cim obrazı romanın realist xüsusiyyətlərinin açılmasında mühüm rol oynayır.

Uilyam Din Hovells Amerika realizminin inkişafında xüsusi rol oynamışdır. Kampbel Hovellsin realist ədəbiyyatın yayılmasındakı rolunu xüsusi qeyd edir. Hovells üçün realist ədəbiyyat həyatın həqiqətinə yaxın olmalı idi. O, yazıçının həyata münasibətində səmimiliyi və müşahidəni vacib hesab edirdi. Bu baxımdan onun yaradıcılığı Amerika realizminin əsas prinsiplərini aydın şəkildə göstərir. Everett Karter *Hovellsin yaradıcılığını XIX əsrin ikinci yarısı Amerika ədəbi mühiti ilə əlaqədə araşdıraraq onun realizmin inkişafındakı mövqeyini xüsusi qeyd edir.* [1.] Yazıçının 1885-ci ildə nəşr olunan "Silas Laphamın yüksəlişi" romanı Amerika realizminin mühüm nümunələrindən biridir. Əsərin baş qəhrəmanı Silas Lapham boya istehsalı sahəsində qazandığı maddi uğur nəticəsində cəmiyyətdə mövqeyini yüksəltməyə çalışan iş adamıdır. Silas Lapham obrazının realist xarakteri onun ziddiyyətli xüsusiyyətlərində üzə çıxır. O, zəhməti və sahibkarlıq bacarığı sayəsində varlanan, öz imkanlarına inanan bir insandır. Lakin maddi baxımdan yüksəldikcə cəmiyyət daxilində daha yüksək mövqe qazanmaq arzusu da güclənir. Silas həm güclü, həm də səhvlərə yol verən, bəzən düzgün qərar verməkdə çətinlik çəkən canlı xarakterdir. Romanın diqqət çəkən cəhətlərindən biri Silasın şəxsi həyatı ilə sosial mövqeyinin bir-birindən ayrı təqdim edilməməsidir. Onun biznes fəaliyyəti, ailəsi, qızlarının gələcəyi və cəmiyyətə münasibəti eyni xarakterin müxtəlif tərəflərini tamamlayır. Qəhrəmanın həyatında baş verən hadisələr onun xarakterini tədricən açır və oxucu onun sosial mühitin təsiri altında dəyişən bir insan olduğunu görür. Silas Laphamın qarşılaşdığı əsas problemlərdən biri maddi imkanlarla sosial nüfuz arasındakı fərqdir. O, iqtisadi baxımdan uğur qazansa da, yeni sosial çevrəyə daxil olmaq heç də asan baş vermir. Hovells bununla XIX əsr Amerika cəmiyyətində güclənən orta təbəqənin qarşılaşdığı sosial münasibətlərə diqqət yetirir. Qəhrəmanın yüksəlişi eyni zamanda onun cəmiyyət daxilində öz yerini müəyyənləşdirmək cəhdi kimi təqdim olunur. Silas Lapham obrazında Hovells insanı onun sosial mühitindən ayrı təsəvvür etmir. Qəhrəmanın xarakteri həm şəxsi keyfiyyətləri, həm də yaşadığı cəmiyyətin münasibətləri əsasında formalaşır. Bu xüsusiyyət Amerika realizminin əsas prinsiplərindən biri olan insan və sosial mühit əlaqəsinin romanda konkret şəkildə təzahür etdiyini göstərir.

Henri Ceymsin də 1881-ci ildə kitab şəklində nəşr olunan "Bir xanımın portreti" romanı Amerika realizminin psixoloji istiqamətini göstərən mühüm əsərlərdən biridir. Romanın mərkəzində Avropaya gələn gənc amerikalı qadın İzabel Arçer dayanır. Əsərdə onun müxtəlif insanlarla münasibətləri, verdiyi qərarlar və bu qərarların sonrakı nəticələri vasitəsilə insan xarakterinin mürəkkəbliyi açılır. Romanda hadisələr əsasən İngiltərə və

İtaliyada cərəyan edir və Amerika ilə Avropa həyat tərzi arasındakı fərqlər də əsərin mühüm tərəflərindən birini təşkil edir. İzabel Arçer ilk baxışda müstəqil düşüncəyə malik, öz həyatını özü müəyyənləşdirmək istəyən gənc qadın kimi görünür. O, hazır həyat modelini qəbul etmək istəmir və qarşısına çıxan imkanları özü qiymətləndirməyə çalışır. Lakin əsərin inkişafı göstərir ki, fərdi azadlıq yalnız seçim imkanlarının genişliyi ilə müəyyənləşmir. İnsan verdiyi qərarların nəticələri ilə də qarşılaşmalı olur. İzabelin taleyində bu məsələ getdikcə daha aydın görünür. Onun xarakterindəki əsas xüsusiyyətlərdən biri onun həyat haqqında təsəvvürləri ilə real həyat arasındakı fərqdir. O, insanları və münasibətləri müəyyən ideal təsəvvürlər əsasında qiymətləndirir. Lakin sonradan qarşılaşdığı hadisələr onun bu təsəvvürlərini dəyişir. Xüsusilə Gilbert Osmondla münasibəti İzabelin seçimlərinin nəticələri ilə üzləşməsinə səbəb olur. İzabelin qərarları onun ətrafındakı insanların təsirindən, Avropa cəmiyyətində qarşılaşdığı münasibətlərdən və evlilik haqqında təsəvvürlərdən kənarda baş vermir.

Beləliklə, Amerika realizmi daxilində müxtəlif istiqamətlər yaranırdı. Mark Tvendə yumor və satira, Hovellsdə sosial həyatın müşahidəsi, Ceymsdə isə insanın daxili dünyasına diqqət daha qabarıq görünürdü. Lakin bu müxtəlifliyin əsasında həyatın inandırıcı təsviri və insan xarakterinə maraq dayanırdı. Realist yazıçılar həyatın adi görünən tərəflərində də ciddi bədii və ictimai məna olduğunu göstərmişlər. Bu xüsusiyyət Amerika nəsrinin sonrakı inkişafına, xüsusilə naturalist nəsrin formalaşmasına təsir göstərmişdir.

Ədəbiyyat

1. Campbell, D. M. Realism in American literature, 1860–1890. Department of English, Washington State University.
2. Carter, E. (1954). Howells and the age of realism. Lippincott.
3. Chase, R. (1957). The American novel and its tradition. Doubleday.
4. Pizer, D. (1995). The Cambridge companion to American realism and naturalism: From Howells to London. Cambridge University Press.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI KIYI ŞERİDİ DENİZ EKO SİSTEMİNİN KİMYASI

Dr., Emrah ŞIK[1]

[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi Üniversite, Temel Bilimler, İstanbul, Türkiye, Denizcilik, emrahs@itu.edu.tr,

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-1202-0314

Özet

Deniz suyu kalitesi, denizel ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından önemli bir gösterge olup; ekosistem sağlığı, biyolojik üretkenlik, iklim döngüleri ve insan faaliyetleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu çalışma, iklim değişikliğinin ve yoğun antropojenik baskının kıyısal deniz ekosistemi üzerindeki birleşik etkileri, İstanbul Tuzla sahil şeridinde üç yıllık (2024-2026) bir periyotta izlenerek analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında deniz suyunun sıcaklık, pH, tuzluluk, iletkenlik ve çözünmüş oksijen gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri ile klorofil-a, azot ve fosfor gibi biyolojik parametreler incelenmiştir. Yoğun nüfus, tersaneler, sanayi ve balıkçılık faaliyetlerinin merkezinde yer alan üniversite kampüsü örnekleme istasyonundan alınan veriler, iklimsel salınımların deniz suyu kimyası ve biyolojik faaliyetler üzerindeki dinamiklerini ortaya koymaktadır. Üç yıllık izleme sonuçlarına göre; özellikle ilkbahar dönemlerinde deniz suyu sıcaklıklarının 18,5°C ila 20,6°C seviyelerine yükselmesiyle eş zamanlı olarak çözünmüş oksijen (ÇO) dengesinde kırılmalar saptanmıştır. Yüksek sıcaklıklar ve evsel/endüstriyel deşarjlarla taşınan besin elementleri, primer üretimi tetikleyerek biyolojik faaliyetleri hızlandırmıştır. Nisan ayında Amonyum-Azotu (144,0 µg/L) ve Klorofil-a (5,340 µg/L) değerlerinde saptanan belirgin pikler, besin elementi baskısı ve sıcaklık artışının akut bir fitoplankton biokütle artışını tetiklediğini doğrulamaktadır. Artan organik yük ve gece respirasyonu (solunumu) nedeniyle anlık oksijen tüketimi hızlanmış, gece ölçümlerinde ÇO seviyesinin 7,99 mg/L'ye kadar gerilediği ve pH kararlılığının bozulduğu (8,60'tan 7,99'a dalgalanma) kaydedilmiştir. Sonuç olarak, iklim krizine bağlı sıcaklık artışlarının Marmara Denizi'nin bu kırılgan kıyı alanında besin tuzu döngüsünü hızlandırdığı, deoksijenasyon riskini tırmandırdığı, ötrofikasyon riskini ve ekosistemi hipoksik stresini açık hale getirdiği tespit edilmiştir. Bu durum, bölgedeki yerel balıkçılık ve denizel biyoçeşitlilik açısından kritik bir tehdit oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: İklim değişikliği, deniz kimyası, ötrofikasyon, besin elementleri, çözünmüş oksijen.

THE CHEMISTRY OF COASTAL STRIP MARINE ECOSYSTEM DEPENDING ON CLIMATE CHANGE

Abstract

Seawater quality is a crucial indicator of the sustainability of marine ecosystems and is directly related to ecosystem health, biological productivity, climate cycles, and human activities. This study analyzes the combined effects of climate change and intense anthropogenic pressure on coastal marine ecosystems by monitoring them over a three-year period (2024-2026) along the Tuzla coastline in Istanbul. The study examined physical and chemical properties of seawater, such as temperature, pH, salinity, conductivity, and dissolved oxygen, as well as biological parameters like chlorophyll-a, nitrogen, and phosphorus. Data collected from a sampling station located within a university campus, a hub of dense population, shipyards, industry, and fishing activities, reveal the dynamics of climatic fluctuations on seawater chemistry and biological activity. According to the three-year monitoring results, breaks in dissolved oxygen (DO) balance were observed, particularly during spring periods, coinciding with increases in seawater temperatures to levels between 18.5°C and 20.6°C. High temperatures and nutrient elements transported by domestic/industrial discharges triggered primary production, accelerating biological activity. The significant peaks observed in April for ammonium nitrogen (144.0 µg/L) and chlorophyll-a (5.340 µg/L) confirm that nutrient pressure and temperature increase triggered an acute increase in phytoplankton biomass. Due to increased organic load and nocturnal respiration, instantaneous oxygen consumption accelerated, with nocturnal measurements showing a decrease in DO levels to 7.99 mg/L and a disruption of pH stability (fluctuation from 8.60 to 7.99). Consequently, the rise in temperatures attributed to the climate crisis is accelerating the nutrient-salt cycle in the delicate coastal area of the Marmara Sea. This escalation increases the risk of deoxygenation and exposes the ecosystem to eutrophication and hypoxic stress. Such conditions pose a significant threat to local fisheries and marine biodiversity in the region.

Keywords: Climate change, marine chemistry, eutrophication, nutrients, deoxygenation.

SUSTAINABILITY-ORIENTED EVALUATION OF E-COMMERCE DISTRIBUTION CENTER CANDIDATES USING AN AHP-TOPSIS APPROACH

Asst. Prof. Dr. Danışment VURAL

Department of Industrial Engineering, Atılım University, Ankara, Türkiye

danisment.vural@atilim.edu.tr; ORCID: 0000-0003-4028-3810

Abstract

The rapid expansion of e-commerce has increased the strategic importance of distribution center location decisions, particularly in regions where logistics efficiency must be balanced with environmental and socio-economic considerations. This study develops a sustainability-oriented multi-criteria evaluation framework for screening potential distribution center locations in Eastern and Southeastern Türkiye. Twenty-three candidate cities are assessed according to six criteria representing three sustainability dimensions: transportation accessibility and land and infrastructure costs under the economic dimension; renewable energy potential and carbon emission impact under the environmental dimension; and employment opportunities and regional development priority under the social dimension. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is employed to determine the relative importance of the evaluation criteria based on expert judgments, while the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) is used to rank the candidate cities. The AHP results indicate that transportation accessibility is the most influential criterion, with a weight of 0.406, followed by land and infrastructure costs with a weight of 0.225. The consistency ratio of 0.029 confirms an acceptable level of consistency in the expert assessments. TOPSIS results identify Diyarbakır as the highest-ranked candidate, followed by Gaziantep and Şanlıurfa. The findings demonstrate how economic, environmental, and social indicators can be incorporated into a structured decision-support process for e-commerce logistics planning. The proposed evaluation approach provides a practical basis for identifying promising candidate locations before detailed network-design and facility-location decisions are undertaken.

Keywords: E-commerce logistics, distribution center location, sustainability, AHP, TOPSIS, multi-criteria decision making

RENEWABLE ENERGIES IN AGRICULTURE

Assoc. Prof. Dr. Mine Tulin ZATEROGLU

Cukurova University, AOSB Vocational School of Technical Sciences, Electrical and Energy Department, Adana, Türkiye, mtzateroglu@cu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-1050-6174

Abstract

The use of renewable energy sources in agriculture and agricultural processes fosters the development of eco-friendly production methods and enhances the productivity of agricultural products. Energy is required for numerous agricultural processes, which encompass activities such as soil cultivation, planting, irrigation, harvesting, drying, processing, storage, and greenhouse climate control. Relying on fossil fuels for these processes not only causes environmental and air pollution but also entails high costs. Furthermore, the use of renewable energy sources—as a form of clean energy—is advocated to address air pollution caused by fossil fuels and to combat climate change. To this end, renewable energy sources such as solar, biomass, geothermal, and wind power are utilized in various agricultural applications. Among these, geothermal energy is used for drying agricultural products and heating greenhouses; wind energy for electricity generation and water pumping; biogas for utilizing plant and animal waste; and solar energy for applications including cold chain management, electricity generation, greenhouse operations, and irrigation pumping. Agrivoltaic systems, in particular, are a preferred renewable energy solution because they enable both electricity generation and agricultural production to take place on the same land.

Keywords: Renewable Energy, Application, Agriculture

TARIMDA YENİLENEBİLİR ENERJİ

Özet

Tarımda ve tarımsal süreçlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması hem çevre dostu üretim metotlarının gelişmesini hem de tarım ürünlerinin verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. Pek çok tarımsal süreçte enerjiye gereksinim duyulur. Tarımsal süreçler; toprağın işlenmesi, ürünlerin ekimi, sulaması, hasat edilmesi, kurutulması, işlenmesi, depolanması ve seraların iklimlendirmesi gibi farklı süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreçlerde fosil yakıtların kullanılması hem çevre ve hava kirliliğine sebep olmakta hem de maliyetli olmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği ile mücadelede fosil yakıtların sebep olduğu hava kirliliği problemlerini çözmede temiz enerji olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması önerilmektedir. Bu amaçla güneş, biyokütle, jeotermal ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları farklı tarımsal uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlardan jeotermal enerji tarımsal ürünlerin kurutulması ve seraların ısıtılması; rüzgar enerjisi elektrik üretimi ve su pompalama işlemlerinde; biyogaz bitkisel ve hayvansal atıkların değerlendirilmesinde; güneş enerjisi de özellikle soğuk zincir, elektrik üretimi, seralar ve sulama pompalarında uygulama alanları olan enerji kaynaklarıdır. Özellikle yenilenebilir enerji uygulamalarında kullanılan agrivoltaik sistemler aynı alanda hem elektrik üretimine hem de tarımsal üretime imkan verdiği için tercih edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Uygulama, Tarım

1. INTRODUCTION

The use of renewable energy sources in agriculture and agricultural processes fosters the development of eco-friendly production methods and enhances the productivity of agricultural products. The use of renewable energy sources can mitigate the impacts of climate change on agricultural practices and, at the same time, enhance the capacity to adapt to climate change.

Energy is required for numerous agricultural processes, which encompass activities such as soil cultivation, planting, irrigation, harvesting, drying, processing, storage, and greenhouse climate control. Relying on fossil fuels for these processes not only causes environmental and air pollution but also entails high costs.

Furthermore, the use of renewable energy sources—as a form of clean energy—is advocated to address air pollution caused by fossil fuels and to combat climate change. To this end, renewable energy sources such as solar, biomass, geothermal, and wind power are utilized in various agricultural applications. Among these, geothermal energy is used for drying agricultural products and heating greenhouses; wind energy for electricity generation and water pumping; biogas for utilizing plant and animal waste; and solar energy for applications including cold chain management, electricity generation, greenhouse operations, and irrigation pumping. Agrivoltaic systems, in particular, are a preferred renewable energy solution because they enable both electricity generation and agricultural production to take place on the same land.

Furthermore, many researchers have used renewable energies for drying process in agriculture. Boughali et al., have constructed a hybrid solar – electrical dryer in Algerian Septentrional Sahara (Boughali et al., 2009). Similarly, Amer et al., have designed a hybrid solar dryer included the parts such as water tank, heat device and solar collector (Amer at al., 2010). Barnwal and Tiwari have constructed a hybrid photovoltaic dryer (Barnwal and Tiwari, 2008). Similarly, Adelaja and Ojolo have designed a solar dryer (Adelaja and Ojolo, 2010). Janjai et al., have designed and simulated the performance of solar greenhouse dryer with a photovoltaic module (Janjai et al., 2009). Further, renewable energies have been studied by many researchers because of its attractive advantages and various applications in many territories (Chekol et al., 2021; Fterich et al., 2018; Imadan et al, 2025; Nimnuan and Nabnean, 2020; Hedau and Singal, 2024; Gao et al., 2025; Wang et al., 2024).

2. SOLAR ENERGY IN AGRICULTURE

Solar energy is one of the most important renewable energy sources applicable to agriculture. Photovoltaic (PV) panels convert sunlight directly into electrical energy. Areas where solar energy is used in agricultural applications include irrigation pumps, greenhouse electricity needs, cold storage facilities, livestock operations,

lighting, crop drying, electric agricultural machinery, and battery and energy storage systems. Solar energy represents a significant alternative, particularly in rural areas where grid electricity is unavailable or unreliable.

For example, solar-powered irrigation systems primarily utilize solar panels, an inverter, a pump, a water source, and the irrigation system infrastructure. The system can facilitate direct irrigation, or it can store energy or water through the use of batteries or water tanks. The advantages of this system include reduced diesel fuel consumption and operating costs, improved energy access in remote areas, lower carbon emissions, and increased irrigation capacity.

Furthermore, agrivoltaic systems enable the simultaneous carrying out of agricultural production and photovoltaic electricity generation on the same land. Agrivoltaic systems enable increased land-use efficiency, electricity generation, shading, and a reduction in evaporation losses, heat stress on crops, and irrigation requirements.

3. WIND ENERGY IN AGRICULTURE

Wind turbines convert mechanical energy into electrical energy. In agricultural applications, wind energy is generally used for processes such as irrigation, water pumping, electricity generation, cooling, and storage. Small-scale wind turbines are particularly suitable for use on farms that possess consistent and sufficient wind potential.

4. BIOMASS/BIOGAS

Biomass is a type of renewable energy sources. Biomass encompasses diverse plants generated through photosynthesis (Armstrong et al., 2014).

Bioenergy is determined as solar energy in biomass (plant) through photosynthesis. Bioenergy is come into the open via different methods; such as direct combustion of biomass or after transformation to gaseous or liquid biofuels.

Biomass is the oldest and most abundant energy source in the world; it can play a significant role in meeting today's energy demands. As a promising renewable energy source, biomass is attracting increasing interest (Namuli et al., 2013).

5. GEOTHERMAL ENERGY IN AGRICULTURE

Geothermal energy is more reliable than the other renewable energy sources because it is not depend on the geographical and climate conditions (Milora and Tester, 1976).

Geothermal energy serves as a significant energy source in agricultural applications, particularly for greenhouses with high heating demands. Geothermal fluid is generally utilized for processes such as greenhouse heating, soil heating, water heating, and crop drying. Its ability to provide continuous energy and its relative immunity to weather conditions offer distinct advantages over other energy sources.

6. CONCLUSION

Renewable energies are significant tools as alternative energy sources in many areas especially in agriculture. A significant portion of the energy sources traditionally used in agriculture relies on fossil fuels. Diesel-powered irrigation pumps, tractors, and generators, as well as fossil-fuel-based heating systems, both increase operating costs and contribute to greenhouse gas emissions. Therefore, the use of renewable energy sources in agricultural production is crucial for reducing energy costs and greenhouse gas emissions, improving energy access in rural areas, enhancing the resilience of agricultural production against climate change, and ensuring both energy and food security. Major areas of energy use in agriculture: irrigation pumps, tractors, and agricultural machinery, heating and ventilation of greenhouses livestock facilities, cooling systems, crop drying, cold storage, grain and feed processing, water treatment, lighting, transportation of agricultural products. When designing a suitable renewable energy system for agricultural applications, the energy demand must be determined, a renewable resource analysis conducted, necessary equipment researched, and economic and environmental analyses performed.

REFERENCES

Adelaja, A.O. and Ojolo, S.J. (2010). Design, Analysis and Experimental Evaluation of Photovoltaic Forced Convection Solar Dryer for the Tropics. International Journal of Engineering Research in Africa, 3, 49 – 61.

Amer, B.M.A. Hossain, M.A. and K. Gottschalk. 2010. Design and Performance Evaluation of a New Hybrid Solar Dryer for Banana. Energy Conversion and Management. 51(4). pp. 813–820.

Armstrong, A., Waldron, S., Whitaker, J., Ostle, N.J., 2014. Wind farm ans solar park effects on plant-soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate. Golbal Change Biol. 20(6), 1699-1706.

Barnwal, P. and Tiwari, A. (2008). Design, Construction and Testing of Hybrid Photovoltaic Integrated Greenhouse Dryer, International Journal of Agricultural Research 3(2), 110-120.

Boughali, S., Benmoussa, H., Bouchekima, B., Mennouche, D., Bouguettaia, H. and Bechki, D. 2009. Crop drying by indirect active hybrid solar – Electrical dryer in the eastern Algerian Septentrional Sahara. Solar Energy, 83, 2223–2232.

Chekol, E.T., Paramasivam, V., Gardie, E., Dubale, H., Selvaraj, S.K. 2021. Experimental investigation of suitable thin layer drying curve to solar maize dryer assisted for biomass back-up heater. Materials Today: Proceedings, 46, 7389-7395.

Fterich, M., Chouikhi, H., Bentaher, H. and Maalej, A. 2018. Experimental parametric study of a mixed-mode forced convection solar dryer equipped with a PV/T air collector. Solar Energy, 171, 751-760.

Gao, Y., Zhang, W., Yao, H., Zhang, Z., Cui, P. and Yu, M. 2025. Investigation of the heat transfer of a single U-tube borehole heat exchanger for medium-shallow geothermal energy, Int. Commun. Heat Mass Transfer. 162, 108644.

Hedau, A. and Singal, S. 2024. Heat transfer and fluid flow analysis of PCM-based thermal energy storage concept for double pass solar air heater, Int. Commun. Heat Mass Transfer. 157, 107813.

Imadan, A.I., Semassou, G.C., Saley, H.A., Wati, E., Nsanyuy, B.W., Fopah-Lele, A. And Tanyi, E. 2025. State of the art of strategic approaches to integrating solar energy for sustainable densification of the agrifood industry in non-electrified African zones: a comprehensive review. International Journal of Energy and Water Resources, 9, 2631–2656.

Janjai, S. Lamlert, N. Intawee, P. Mahayothee, B. Bala, B.K. Nagle, M. and Müller, J. 2009. Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. Solar Energy, 83, 1550-1565.

Milora, S. and Tester, J. 1976. Geothermal Energy as a Source of Electric Power: Thermodynamic and Economic Design Criteria. Vol.77. NASA STI/Recon Technical Report A, 16623.

Nimnuan, P. and Nabnean, S. 2020. Experimental and simulated investigations of the performance of the solar greenhouse dryer for drying cassumunar ginger (Zingiber cassumunar Roxb.). Case Studies in Thermal Engineering, 22, 100745.

Namuli, R., Jaumard, B., Awasthi, A., and Pillay, P. 2013. Optimisation of biomass waste to energy conversion systems for rural grid-connected applications. Applied Energy, 102, 1013–1021.

Wang, X., Zhang, P., Dong, X., Wang, J., Fang, J., Zhang, X. and Liu, L. 2024. Numerical research on geothermal energy extraction in backfilled mines by using the excellent heat transfer performance of loop heat pipe, Int. Commun. Heat Mass Transfer. 160, 108385.

CLIMATE CHANGE, DAY ZERO AND AGRICULTURE

Assoc. Prof. Dr. Mine Tulin ZATEROGLU

Cukurova University, AOSB Vocational School of Technical Sciences, Electrical and Energy Department, Adana, Türkiye, mtzateroglu@cu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-1050-6174

Abstract

Day Zero refers to the risk of a city or region's usable water resources falling below critical levels, resulting in the inability to supply standard mains water. In the context of agricultural practices, this term encompasses issues such as reduced crop yields, depleted soil moisture, falling river and dam levels, exhausted groundwater reserves, insufficient irrigation water, and shortages of fodder and drinking water for livestock. Agriculture is one of the largest water-consuming sectors in many regions. The depletion of water resources directly impacts production capacity, particularly in irrigation-dependent agriculture. Precipitation variability linked to climate change heightens the vulnerability of agricultural systems, especially those reliant on rainfall. Through alterations to the hydrological cycle, climate change modifies the quantity, timing, and reliability of water resources, placing significant pressure on agricultural systems that are particularly sensitive to water scarcity. Rising temperatures, variability in precipitation patterns, the increased frequency and severity of droughts, and shifts in the balance between evaporation and water demand are key factors threatening the sustainability of agricultural production.

Keywords: Climate Change, Day Zero, Agriculture

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, GÜN SIFIR VE TARIM

Özet

Gün Sıfır, bir şehir veya bölgenin kullanılabilir su kaynaklarının kritik seviyenin altına inmesi ve normal şebeke suyunun sağlanamaması riskini ifade eder. Bu ifade tarımsal uygulamalar açısından ürün veriminin düşmesi, toprak neminin azalması, nehir ve baraj seviyelerinin düşmesi, yeraltı suyu rezervlerinin tükenmesi, sulama suyunun yetersizleşmesi, hayvancılıkta yem ve içme suyu sıkıntısı gibi durumları ifade eder. Tarım, birçok bölgede en fazla su tüketen sektörlerden biridir. Özellikle sulamaya dayalı tarımda su kaynaklarının azalması doğrudan üretim kapasitesini etkiler. İklim değişikliğine bağlı yağış değişkenliği, özellikle yağışa dayalı tarım sistemlerinin kırılganlığını artırmaktadır. İklim değişikliği, hidrolojik döngüde meydana getirdiği değişimler aracılığıyla su kaynaklarının miktarını, zamanlamasını ve güvenilirliğini değiştirmekte; bu durum özellikle su kıtlığına duyarlı tarımsal sistemler üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Artan sıcaklıklar, yağış rejimlerindeki değişkenlik, kuraklıkların sıklığı ve şiddetindeki artış ve buharlaşma-talep dengesindeki değişimler, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini tehdit eden başlıca faktörlerdir.

Anahtar kelimeler: İklim Değişikliği, Gün Sıfır, Tarım

1. INTRODUCTION

Climate change refers to significant changes in temperature, precipitation, wind, and other climate characteristics over a long period. Its primary causes include the use of fossil fuels, industrial and transportation activities, deforestation, changes in land use, and the increase in greenhouse gas concentrations in the atmosphere resulting from greenhouse gas emissions such as carbon dioxide, methane, and nitrous oxide originating from agriculture and livestock farming. Furthermore, many researchers have been studied about the climate change and net zero conditions (Luo et al., 2025; Robert and Kummert, 2012; Elegbeleye et al., 2025; King et al., 2025; Irwandhi et al., 2024; Shen and Lior, 2016; Sun et al., 2021; Le et al., 2024; AlAjmi et al., 2016; Aram et al., 2022; Bistline and Blanford, 2021; Chai et., 2019). As a result of climate change, temperatures rise and droughts occur; there are extreme rains, floods, and forest fires; and glacial melting, sea-level rise, and pressure on water resources increase.

Day Zero refers to the risk of a city or region's usable water resources falling below critical levels, resulting in the inability to supply standard mains water. In the context of agricultural practices, this term encompasses issues such as reduced crop yields, depleted soil moisture, falling river and dam levels, exhausted groundwater reserves, insufficient irrigation water, and shortages of fodder and drinking water for livestock.

Agriculture is one of the largest water-consuming sectors in many regions. The depletion of water resources directly impacts production capacity, particularly in irrigation-dependent agriculture.

Precipitation variability linked to climate change heightens the vulnerability of agricultural systems, especially those reliant on rainfall. Through alterations to the hydrological cycle, climate change modifies the quantity, timing, and reliability of water resources, placing significant pressure on agricultural systems that are particularly sensitive to water scarcity.

Rising temperatures, variability in precipitation patterns, the increased frequency and severity of droughts, and shifts in the balance between evaporation and water demand are key factors threatening the sustainability of agricultural production.

2. CLIMATE CHANGE AND AGRICULTURE

In terms of agriculture, temperature, precipitation, evaporation, soil moisture, and water availability are important factors. There is a relationship between climate system and the hydrological cycle. As temperatures rise due to climate change, evaporation also increases. Consequently, soil moisture may decrease, drought

periods may intensify, the temporal distribution of precipitation may shift, extreme precipitation events may increase, and surface runoff and groundwater recharge may change.

Climate change leads to water scarcity, which in turn creates a risk of Day Zero. This situation increases pressure on agricultural production and can impact food security. Climate change is causing rising temperatures and shifting precipitation patterns worldwide. The increasing frequency and severity of droughts place strain on water resources. Water is a fundamental resource for both human life and agricultural production. The depletion of water resources poses a threat, particularly to irrigation-dependent agricultural systems. In cases of extreme water scarcity, cities may face the risk of Day Zero. Meanwhile, a decline in agricultural production can affect food security and food prices.

Agricultural production depends on the interaction among numerous factors, such as climate, water, soil, plants, and animals. Consequently, it is one of the sectors most affected by climate change. For instance, rising temperatures caused by climate change affect photosynthesis in plants, increase water consumption, can alter flowering periods, and ultimately reduce yields. In the event of water scarcity—another consequence of climate change—soil moisture declines and plant water stress rises; this leads to stomatal closure and reduced photosynthesis, which can result in lower yields.

3. CLIMATE CHANGE, WATER AND AGRICULTURAL PROCESSES

Rising temperatures due to climate change increase evaporation, affecting soil moisture and leading to greater water loss from the soil. Changes in the amount and pattern of precipitation can cause prolonged droughts and water scarcity in certain regions. This situation places pressure on water resources, adversely affecting sources such as dams, lakes, rivers, and groundwater.

Water is one of the fundamental inputs of agricultural production. A significant portion of the world's freshwater resources (approximately 72%) is used for agricultural irrigation. Water is utilized in various agricultural practices, such as irrigation, livestock farming, crop processing, and aquaculture. Consequently, water scarcity directly affects food security.

Water scarcity is the situation where available water resources are insufficient to meet the needs of people, agriculture, industry, and ecosystems. A lack of sufficient available water in a region is called as physical water scarcity. A situation where, despite the presence of water, people lack adequate access to it due to deficiencies in infrastructure, technology, investment, or management is determined as economic water

scarcity. Factors that exacerbate water scarcity include climate change, drought, population growth, rapid urbanization, excessive water consumption, inefficient irrigation, and the over-exploitation of groundwater.

The impacts of climate change on agricultural production can be direct or indirect. Factors such as heat stress, drought, excessive rainfall, frost events, hail, and storms constitute direct impacts. Factors such as the spread of pests, soil degradation, changes in disease patterns, and the depletion of water resources are classified as indirect impacts.

Drought is a condition in which the water supply in a specific region remains below normal levels for an extended period. Drought is examined under various categories: precipitation levels falling below normal are classified as meteorological drought; insufficient soil moisture for plant growth is termed agricultural drought; a decline in the levels of streams, lakes, dams, and groundwater constitutes hydrological drought; and a situation where the water supply fails to meet the needs of society and the economy is described as socioeconomic water scarcity.

There are approaches aimed at enabling the agricultural sector to adapt to climate change and use resources more efficiently. Among these, the climate-smart agriculture approach seeks to reduce greenhouse gas emissions, strengthen adaptation to climate change, and increase agricultural productivity. Practices such as the use of renewable energy, rainwater harvesting, and drought-resistant crops are employed in this method.

4. DAY ZERO

Day Zero refers to a situation where cities face a water crisis. It is a concept representing the critical point at which the normal water supply can no longer be maintained. In other words, it signifies a scenario where a region's or city's existing water resources drop to critical levels, necessitating the implementation of severe water restrictions.

If the amount of water available to an agricultural enterprise falls below the minimum amount required for production, this situation is referred to as Agricultural Day Zero. Situations such as the cutting off of irrigation water—resulting in the inability to irrigate crops—or the drying up of wells can be indicators of Agricultural Day Zero.

To prevent Day Zero, approaches such as raising awareness about water conservation, modern irrigation systems, drought-resistant crops, soil moisture preservation, rainwater harvesting, drought early warning systems, upgrading irrigation infrastructure, and reducing water losses can be beneficial.

5. CONCLUSION

Climate change is altering the quantity of water resources and their reliability over time. Agriculture is particularly strongly affected by this change because agricultural production depends directly on water and climate conditions. Day Zero is one of the most striking factors of this relationship.

REFERENCES

AlAjmi, A., Abou-Ziyana, H. and Ghoneim, A. 2016. Achieving annual and monthly net-zero energy of existing building in hot climate. Applied Energy, 165, 511-521.

Aram, K., Taherkhani, R. And Simelyte, A. 2022. Multistage Optimization toward a Nearly Net Zero Energy Building Due to Climate Change. Energies, 15, 983.

Bistline, J.E.T. and Blanford, G.J. 2021. The role of the power sector in net-zero energy systems. Energy and Climate Change, 2, 100045.

Chai, J., Huang, P. and Sun, Y. 2019. Investigations of climate change impacts on net-zero energy building lifecycle performance in typical Chinese climate regions. Energy, 185, 176-189.

Elegbeleye, I., Oguntona, O. And Elegbeleye, F. 2025. Green Hydrogen: Pathway to Net Zero Green House Gas Emission and Global Climate Change Mitigation. Hydrogen, 6, 29.

Irwandhi, I., Khumairah, F.H., Sofyan, E.T., Ukit, U., Satria, R.E., Salsabilla, A., Sauri, M.S. and Simarmata, T. 2024. Innovative Regenerative Technologies for Enhancing Resilience in Salinity-Stressed Rice Fields Along the Indonesian Coast: Promoting Net-Zero Farming Practices to Adapt to Climate Change. Journal of Sustainable Agriculture and Environment, 3:e70026.

King, A.D., Jones, C.D., Ziehn, T., Perkins-Kirkpatrick, S., Hirsch, A.L. and Cassidy, L. 2025. Enhancing communication of climate changes under net zero emissions. Communications Earth and environment, 6, 526.

Le, S.T., Nguyen, T.N., Bui, D.-K., Teodosio, B. and Ngo, T.D. 2024. Comparative life cycle assessment of renewable energy storage systems for net-zero buildings with varying self-sufficient ratios. Energy, 290, 130041.

Luo, D., Liu, J., Wu, H., Zhang, G., Pan Z. And Huang, J. 2025. Advancing smart net-zero energy buildings with renewable energy and electrical energy storage. Journal of Energy Storage, 114, 115850.

Robert, A. and Kummert, M. 2012. Designing net-zero energy buildings for the future climate, not for the past. Building and Environment, 55, 150-158.

Shen, P. And Lior, N. 2016. Vulnerability to climate change impacts of present renewable energy systems designed for achieving net-zero energy buildings. Energy, 114, 1288-1305.

Sun, T., Ocko, I.B., Sturcken, E. And Hamburg, S.P. 2021. Path to net zero is critical to climate outcome. Scientific Reports, 11, 22173.

COMPREHENSIVE ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE PATTERNS OF CHANGES IN THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ORGANIZATION OF ECOSYSTEMS UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION

PhD Balakhanova Gumru Vasif
https://orcid.org/0000-0002-1709-1442
Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

Anthropogenic transformation is one of the major drivers of contemporary changes in ecosystem structure, functioning, biodiversity, and ecological stability. The increasing intensity of urbanization, industrialization, agricultural activities, infrastructure development, habitat fragmentation, pollution, and other forms of human pressure results in complex and interconnected modifications of biotic and abiotic components of ecosystems. The present study focuses on the comprehensive ecological assessment of the regularities governing changes in the structural and functional organization of ecosystems under anthropogenic transformation. The study applies an integrated methodological framework combining field ecological observations, biodiversity assessment, vegetation analysis, soil physicochemical characterization, microbial and fungal community analysis, ecological indices, and statistical approaches. Particular attention is given to changes in species composition, abundance, diversity, dominance, community similarity, vegetation structure, soil properties, and the composition of microbial and fungal communities along gradients of anthropogenic pressure. The results indicate that increasing anthropogenic influence is generally associated with a reduction in biodiversity, increased dominance of disturbance-tolerant and opportunistic organisms, simplification of community structure, alteration of soil properties, and restructuring of microbial and fungal communities. The simultaneous analysis of structural and functional indicators demonstrates that ecosystem transformation is a multidimensional process in which changes in biodiversity and community organization are closely interconnected with modifications of decomposition, nutrient cycling, organic matter transformation, and ecological stability. The findings emphasize that species richness alone is insufficient for assessing ecosystem integrity and that comprehensive evaluation should incorporate taxonomic, structural, functional, physicochemical, microbial, and spatial indicators. The proposed integrated approach can contribute to the identification of early warning indicators of ecological degradation, assessment of ecosystem resilience, development of long-term ecological monitoring systems, and formulation of scientifically based conservation and restoration strategies. The study provides a theoretical and methodological basis for understanding the mechanisms and regularities of ecosystem transformation and for improving sustainable environmental management under increasing anthropogenic pressure.

Keywords: anthropogenic transformation, ecosystem structure, ecosystem functioning, ecological assessment, biodiversity, ecosystem integrity, ecological stability, ecosystem resilience, community structure, vegetation dynamics, soil properties, microbial communities, fungal communities, ecological indicators

Introduction

Anthropogenic transformation of natural ecosystems is one of the most significant factors determining the contemporary trajectory of biospheric development. Intensification of industrial production, expansion of urban and transport infrastructure, agricultural intensification, deforestation, mining activities, modification of hydrological regimes, pollution, land-use change, and increasing pressure associated with population growth have substantially altered the structural and functional organization of terrestrial and aquatic ecosystems. These processes do not merely cause quantitative reductions in the abundance of individual organisms; rather, they induce complex and often irreversible transformations in species composition, population structure, trophic relationships, energy flows, biogeochemical cycles, ecological interactions, and ecosystem resilience. Consequently, understanding the regularities governing changes in ecosystem organization under anthropogenic pressure has become a central objective of contemporary ecology and environmental science[1].

An ecosystem represents a dynamic and hierarchically organized system in which biotic communities interact continuously with abiotic environmental factors through the exchange of matter and energy. Its structural organization is expressed through species composition, taxonomic and functional diversity, spatial distribution of organisms, population abundance, community stratification, trophic structure, and the complexity of interspecific interactions. Functional organization, in turn, encompasses primary production, decomposition, nutrient cycling, energy transfer, ecological regulation, succession, and the maintenance of ecosystem stability. Under natural conditions, these structural and functional components are maintained through continuous feedback mechanisms and adaptive processes. However, increasing anthropogenic pressure can disrupt these relationships, alter ecological thresholds, and reduce the capacity of ecosystems to maintain their characteristic functions.

The ecological consequences of anthropogenic transformation are particularly evident in changes in biodiversity. Habitat fragmentation, environmental pollution, introduction of invasive species, overexploitation of biological resources, and climate-related disturbances can modify species richness and relative abundance, resulting in shifts in community composition. Sensitive species may disappear from highly transformed habitats, whereas opportunistic, stress-tolerant, and generalist organisms can increase in abundance. Such changes may lead to biotic homogenization and the simplification of ecological communities. At the same time, the loss of functionally important species may produce consequences that extend beyond taxonomic diversity by

weakening ecological processes such as pollination, decomposition, soil formation, nutrient retention, and biological regulation[2].

An important characteristic of anthropogenically transformed ecosystems is the discrepancy between structural and functional responses. Structural changes may become apparent relatively rapidly through alterations in species composition and abundance, whereas functional changes can emerge gradually and sometimes remain undetected until a critical ecological threshold is reached. For example, an ecosystem may retain a relatively high number of species while simultaneously experiencing substantial reductions in functional redundancy, trophic connectivity, or nutrient-cycling efficiency. Therefore, assessment based exclusively on species richness or individual environmental parameters is insufficient for determining the actual degree of ecosystem transformation. A comprehensive ecological assessment should integrate structural, functional, biochemical, spatial, and temporal characteristics of ecosystem organization.

The concept of ecological integrity provides an important theoretical framework for understanding these processes. Ecological integrity reflects the degree to which an ecosystem retains its characteristic composition, structure, processes, and capacity for self-regulation. Anthropogenic transformation may progressively reduce ecological integrity by disrupting interactions among organisms and their physical environment. The magnitude and direction of such changes depend on the intensity, duration, spatial distribution, and type of anthropogenic pressure, as well as on the inherent resistance and adaptive capacity of the ecosystem. Ecosystems exposed to chronic low-intensity disturbances may demonstrate gradual structural reorganization, whereas ecosystems subjected to intense or multiple stressors can undergo abrupt transitions to alternative ecological states.

The assessment of ecosystem transformation is further complicated by the cumulative and interactive nature of anthropogenic impacts. In real environmental systems, individual stressors rarely operate independently. Pollution can interact with habitat fragmentation; climate change can amplify the effects of water scarcity; urbanization can modify both microclimatic conditions and soil properties; and agricultural intensification can simultaneously affect biodiversity, nutrient cycling, and soil microbial communities. These interactions may be additive, synergistic, or antagonistic. Consequently, the ecological response of an ecosystem cannot always be predicted from the effects of individual stressors considered separately. This emphasizes the necessity of developing integrated approaches capable of evaluating multiple environmental pressures and their combined effects on ecosystem structure and functioning[3].

A particularly important component of this integrated assessment is the analysis of spatial heterogeneity. Anthropogenic transformation is rarely distributed uniformly across a landscape. Urban centers, industrial zones, agricultural territories, transportation corridors, protected areas, and relatively undisturbed natural habitats may exhibit substantially different levels of ecological pressure. Spatial heterogeneity creates environmental gradients along which species composition, community diversity, soil properties, microbial activity, vegetation structure, and ecosystem functions may change. The identification of these gradients allows researchers to determine zones of ecological degradation, transition, stability, and potential recovery. Geographic information systems, remote sensing, landscape ecological analysis, and spatial statistics have therefore become increasingly important instruments for evaluating ecosystem transformation at different spatial scales.

Temporal dynamics are equally significant. Ecosystems are not static entities, and their response to anthropogenic disturbance develops over different temporal scales. Short-term disturbances may cause temporary fluctuations in abundance and environmental conditions, whereas prolonged pressure can result in persistent changes in community structure and ecosystem processes. Some ecosystems demonstrate substantial resistance, maintaining their organization despite external disturbances, while others possess greater resilience and can recover after the removal of the stressor. The distinction between resistance and resilience is particularly important because an ecosystem that appears stable in terms of its structure may nevertheless experience gradual deterioration in functional capacity. Long-term monitoring is therefore essential for identifying trends, ecological thresholds, and potential points of irreversible transformation.

Microorganisms and soil biota occupy a special position in the structural-functional organization of ecosystems because they regulate numerous fundamental processes. Microbial communities participate in organic matter decomposition, nutrient mineralization, carbon transformation, nitrogen cycling, soil aggregation, and plant–microbe interactions. Anthropogenic disturbances can modify microbial diversity and community composition through changes in soil pH, moisture, salinity, organic matter content, nutrient availability, heavy-metal concentrations, and other physicochemical properties. Changes in microbial communities may consequently serve as sensitive indicators of ecosystem transformation, often revealing ecological disturbances before substantial changes become evident at higher trophic levels. The incorporation of microbial and fungal indicators into ecosystem assessment can therefore significantly improve the sensitivity and comprehensiveness of ecological diagnostics.

Vegetation communities also provide important evidence of anthropogenic transformation. Changes in plant species composition, life-form distribution, vegetation cover, productivity, and functional traits reflect alterations in environmental conditions and resource availability. The replacement of native species by ruderal and invasive taxa, reduction of habitat specialists, and simplification of vegetation structure may indicate increasing ecological pressure. In parallel, changes in vegetation can modify soil properties, microclimatic conditions, carbon sequestration, and habitat availability, thereby creating feedback mechanisms that either reinforce degradation or facilitate ecological recovery.

From a functional perspective, ecosystem transformation can be examined through changes in productivity, decomposition rates, nutrient-use efficiency, carbon storage, water regulation, and trophic interactions. These processes are closely interconnected, meaning that modification of one functional component may propagate throughout the ecosystem. For instance, vegetation loss can reduce primary production and soil organic matter inputs, which may subsequently alter microbial activity, nutrient cycling, and soil structure. Similarly, the decline of decomposer organisms can affect nutrient availability and organic matter turnover, ultimately influencing plant productivity. Such interconnected responses demonstrate why ecosystem transformation should be considered as a multidimensional process rather than a collection of independent environmental changes.

Ecological indicators and quantitative indices provide valuable methodological tools for identifying and measuring these transformations. Species richness, Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, evenness, similarity coefficients, functional diversity, and measures of community turnover can be combined with physicochemical and biochemical indicators to characterize ecosystem condition. Nevertheless, no single indicator can adequately represent the complexity of ecosystem organization. A robust assessment should integrate multiple indicators reflecting different levels of biological organization and different dimensions of ecological functioning. Such an approach makes it possible to distinguish between changes in taxonomic composition, functional performance, ecological stability, and environmental quality.

The increasing application of multidisciplinary approaches has created new opportunities for comprehensive ecosystem assessment. Ecological monitoring can be integrated with molecular biological methods, microbial ecology, soil science, landscape ecology, remote sensing, geospatial analysis, statistical modeling, and ecological network analysis. Modern analytical methods also facilitate the identification of relationships between environmental variables and biological responses. Multivariate statistical techniques can

reveal major environmental gradients and determine the contribution of individual factors to community transformation, while predictive models can be used to estimate future ecosystem responses under alternative scenarios of anthropogenic pressure.

An important theoretical issue concerns the identification of transformation thresholds and alternative ecological states. Ecosystems may tolerate increasing disturbance up to a certain point without undergoing fundamental reorganization. Beyond a critical threshold, however, relatively small additional disturbances can trigger disproportionately large changes in structure and function. Such transitions may be accompanied by loss of biodiversity, alteration of dominant species, disruption of trophic interactions, changes in nutrient cycling, and reduction in resilience. Identifying these thresholds is essential for developing effective environmental management strategies because prevention of irreversible transformation is generally more effective than restoration after a critical ecological state has already been established.

The concept of ecosystem services further expands the significance of structural-functional assessment. Ecosystem degradation can directly affect provisioning, regulating, supporting, and cultural services, including food production, water purification, climate regulation, soil fertility, carbon sequestration, recreation, and biodiversity conservation. Therefore, changes in ecosystem structure and function have consequences not only for ecological stability but also for human well-being and socioeconomic sustainability. Comprehensive ecological assessment should consequently consider the relationship between biological integrity, ecosystem functioning, and the capacity of ecosystems to provide essential services.

In this context, the comprehensive ecological assessment of regularities in the transformation of ecosystem structural and functional organization represents an important scientific and applied research direction. Such assessment should identify the principal drivers of ecosystem transformation, characterize changes at different levels of biological organization, determine relationships between environmental conditions and ecological responses, evaluate the degree of ecological degradation, and establish indicators capable of detecting early signs of destabilization. Particular attention should be given to the interaction between biodiversity, community structure, ecosystem processes, and environmental variables because these relationships determine the overall trajectory of ecosystem development under anthropogenic pressure.

The scientific significance of this approach lies in the possibility of moving from descriptive assessment of environmental degradation toward a mechanistic understanding of ecosystem transformation. Instead of considering individual indicators independently, an integrated structural-functional framework enables

researchers to determine how changes in species composition, community organization, ecological interactions, and abiotic conditions collectively influence ecosystem functioning and resilience. Such knowledge is essential for developing scientifically justified monitoring systems, establishing ecological thresholds, prioritizing conservation measures, and designing restoration strategies adapted to specific levels and types of anthropogenic disturbance.

Thus, the study of structural-functional transformations of ecosystems under anthropogenic conditions requires a comprehensive, multilevel, and interdisciplinary methodological framework. The integration of biodiversity indicators, community-level characteristics, microbial and soil parameters, functional processes, spatial patterns, temporal dynamics, and physicochemical environmental variables can provide a more objective assessment of ecosystem condition. Ultimately, identifying the regularities of ecosystem transformation will contribute to the development of effective ecological monitoring, conservation planning, restoration ecology, and sustainable environmental management, while providing a scientific basis for maintaining ecosystem resilience and ecological integrity under increasing anthropogenic pressure.

Materials and Methods

The present study was conducted using an integrated ecological approach aimed at comprehensively assessing the regularities of changes in the structural and functional organization of ecosystems under anthropogenic transformation. The methodological framework was developed on the basis of the understanding that anthropogenic impacts do not affect individual components of ecosystems independently, but rather produce interconnected changes in biodiversity, community composition, population abundance, vegetation structure, soil properties, microbial communities, ecological interactions, and ecosystem functions. Therefore, the research methodology combined field observations, biological sampling, laboratory analyses, ecological indexing, comparative assessment, and statistical processing of environmental data. The application of these methods made it possible to evaluate the degree of ecosystem transformation from both structural and functional perspectives.

Field investigations were carried out in ecosystems characterized by different levels and forms of anthropogenic influence. Sampling territories were selected to represent a gradient ranging from relatively natural or weakly disturbed ecosystems to moderately and highly transformed environments. Particular attention was given to territories influenced by urbanization, agricultural activities, industrial development, transportation infrastructure, vegetation degradation, soil disturbance, and other forms of human pressure. Reference areas

with relatively low anthropogenic influence were included in the research design to establish baseline ecological characteristics against which transformed ecosystems could be compared. At each sampling site, information concerning habitat type, vegetation condition, visible anthropogenic disturbances, land-use characteristics, and general environmental conditions was recorded.

The sampling process was organized according to a stratified and comparative design. Representative sampling points were established within each ecosystem type, taking into account spatial heterogeneity and the distribution of anthropogenic impacts. Soil, vegetation, and biological community samples were collected from selected sites using standardized procedures. Several subsamples were obtained within each sampling area and combined where necessary to produce representative samples. Replicate sampling was performed to reduce the influence of local variability and increase the reliability of the obtained results. Geographical coordinates and relevant characteristics of sampling locations were also recorded to facilitate spatial comparison of ecological parameters.

The intensity of anthropogenic transformation was evaluated through a combination of environmental and landscape indicators. These included the degree of vegetation disturbance, land-use intensity, habitat fragmentation, proximity to urban and industrial areas, transportation infrastructure, soil disturbance, waste accumulation, and other visible manifestations of human pressure. The individual indicators were standardized and subsequently considered within an integrated anthropogenic pressure framework. Based on the resulting characteristics, the investigated ecosystems were differentiated according to relatively low, moderate, and high levels of anthropogenic transformation. This gradient-based approach allowed the relationship between the intensity of human influence and changes in ecosystem structure and functioning to be investigated.

Vegetation and community structure were analyzed through field surveys conducted within representative sampling plots. The species composition, abundance, frequency, relative abundance, and vegetation cover of plant communities were recorded. Species identification was performed using appropriate taxonomic keys and botanical reference materials. Particular attention was given to the occurrence of native, ruderal, invasive, stress-tolerant, and habitat-specialist species because changes in the proportions of these ecological groups may provide important information about the degree of environmental disturbance. The structural organization of vegetation was evaluated by considering both species composition and the spatial arrangement of plant communities. Differences between reference and anthropogenically transformed sites were subsequently used to identify patterns of ecological reorganization.

Soil was considered one of the key environmental components for evaluating anthropogenic transformation because its physicochemical and biological properties directly influence ecosystem functioning. Soil samples were collected from the upper soil horizon using standardized sampling procedures and sterile equipment. The collected material was transferred into appropriate containers and transported to the laboratory for further analysis. Important physicochemical parameters, including soil moisture, pH, electrical conductivity, organic matter content, and selected nutrient characteristics, were determined. Where appropriate, indicators of anthropogenic contamination, including potentially toxic elements, were also considered. The obtained physicochemical data were subsequently compared with biological parameters in order to identify relationships between environmental changes and community-level responses.

Microbial and fungal communities were investigated as sensitive biological components of ecosystem transformation. Soil samples were analyzed using microbiological cultivation methods, with appropriate culture media such as Sabouraud agar, potato dextrose agar, and Czapek-Dox agar. Serial dilution techniques were applied to determine the abundance of cultivable microorganisms and fungi. The number of colony-forming units was calculated in relation to the analyzed quantity of soil. Representative colonies were isolated for further identification based on their macromorphological and micromorphological characteristics. Particular attention was given to ecologically important fungal genera, including *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, and *Trichoderma*. Changes in the abundance and composition of fungal communities were evaluated in relation to the level of anthropogenic pressure and the physicochemical characteristics of the investigated soils.

The biodiversity of ecological communities was assessed using a set of quantitative ecological indices. Species richness was determined as the total number of taxa identified within each sampling unit, while relative abundance was calculated for individual taxa. The Shannon–Wiener diversity index was used to evaluate overall community diversity by considering both species richness and the distribution of individuals among taxa. Simpson's index was applied to characterize dominance and the contribution of abundant taxa to community organization. Evenness was calculated to determine the degree of uniformity in the distribution of individuals among species. These indices were used comparatively to determine whether increasing anthropogenic pressure was associated with reductions in biodiversity, increased dominance of particular taxa, or restructuring of community organization.

Community similarity and compositional changes among sampling sites were also analyzed. Similarity coefficients were applied to determine the degree of correspondence between biological communities occurring under different environmental conditions. This analysis was particularly important for identifying community turnover and potential biotic homogenization associated with anthropogenic transformation. The results of diversity and similarity analyses were interpreted together with species composition and abundance data, thereby providing a more comprehensive characterization of structural changes within the investigated ecosystems.

The functional organization of ecosystems was assessed through indicators associated with productivity, decomposition, nutrient cycling, microbial activity, and ecological regulation. Because ecosystem functions are closely related to community composition and environmental conditions, functional characteristics were analyzed together with structural parameters. Changes in microbial and fungal abundance, soil organic matter, vegetation characteristics, and other indicators were used to evaluate possible alterations in ecosystem processes. Particular attention was given to situations in which taxonomic diversity remained comparatively stable while functional characteristics demonstrated substantial changes, as such patterns may indicate early stages of ecological degradation that cannot be detected through species richness alone.

An integrated structural-functional assessment was subsequently performed by combining biological, physicochemical, and ecological indicators. Structural indicators included species richness, abundance, diversity, dominance, evenness, community composition, vegetation cover, and microbial community characteristics. Functional indicators included parameters associated with decomposition, nutrient transformation, microbial activity, productivity, and ecological stability. Since these variables were expressed in different units, their values were standardized before integrated interpretation. The standardized indicators were compared among ecosystems characterized by different levels of anthropogenic influence, allowing the overall direction and magnitude of ecological transformation to be determined.

The ecological stability of the investigated ecosystems was evaluated through the analysis of their responses to increasing anthropogenic pressure. Changes in species composition, diversity, dominance, community similarity, vegetation structure, and microbial characteristics were considered as potential indicators of reduced resistance or resilience. Ecosystems maintaining relatively stable structural and functional characteristics despite anthropogenic influence were interpreted as demonstrating greater resistance, whereas pronounced changes in community organization and ecosystem processes were considered evidence of reduced

stability. Particular attention was given to abrupt changes in ecological indicators, which could potentially indicate the existence of ecological thresholds and transitions toward alternative ecosystem states.

Statistical processing was performed using Microsoft Excel and appropriate statistical software. Descriptive statistical parameters, including mean values, standard deviations, minimum and maximum values, and coefficients of variation, were calculated for the principal biological and environmental variables. The statistical significance of differences among ecosystem categories was assessed using appropriate statistical tests selected according to the distribution characteristics of the data. Correlation and regression analyses were used to determine the relationships between anthropogenic pressure, soil physicochemical properties, biodiversity indices, microbial characteristics, and other ecological variables. A significance level of $p < 0.05$ was generally considered indicative of statistically significant relationships.

Multivariate statistical methods were used to investigate the complex interactions among environmental factors and biological communities. Principal Component Analysis was applied where appropriate to reduce the dimensionality of the dataset and identify the environmental variables contributing most strongly to differences among ecosystems. Cluster analysis was used to classify sampling sites according to similarities in their biological and environmental characteristics. These analytical approaches made it possible to identify groups of ecosystems with comparable structural-functional characteristics and to determine the principal environmental gradients associated with anthropogenic transformation.

The final assessment was based on the integrated interpretation of all obtained results. Particular emphasis was placed on the consistency of responses among independent ecological indicators. For example, a simultaneous reduction in species diversity, increased dominance of disturbance-tolerant organisms, alteration of soil physicochemical properties, and restructuring of fungal communities was interpreted as stronger evidence of ecosystem transformation than an isolated change in any single parameter. Such an integrated approach made it possible to distinguish between temporary ecological fluctuations and more persistent structural-functional transformations.

Overall, the applied methodological framework enabled anthropogenic ecosystem transformation to be examined as a multidimensional and interconnected ecological process. The combination of field observations, biological sampling, soil analysis, microbial and fungal assessment, biodiversity indices, structural-functional indicators, and statistical modeling provided a comprehensive basis for determining the regularities of ecosystem reorganization under anthropogenic pressure. The methodology also created an opportunity to

identify sensitive ecological indicators, evaluate changes in ecosystem stability, establish relationships between environmental factors and biological responses, and provide a scientifically grounded assessment of the ecological condition of transformed ecosystems.

Results and Discussion

The results of the study demonstrated that anthropogenic transformation produces multidirectional and interconnected changes in the structural and functional organization of ecosystems. Comparative analysis of ecosystems characterized by different levels of anthropogenic pressure revealed a clear ecological gradient extending from relatively stable communities with high structural complexity to highly transformed systems characterized by reduced biodiversity, increased dominance of disturbance-tolerant organisms, simplification of community structure, and modification of fundamental ecosystem processes. The observed patterns indicate that anthropogenic transformation should not be interpreted solely as a reduction in species number; rather, it represents a complex reorganization of ecological relationships and functions.

The most pronounced structural changes were observed in areas exposed to intensive urbanization, industrial activity, transportation pressure, agricultural disturbance, and substantial habitat modification. Compared with relatively less disturbed ecosystems, anthropogenically transformed sites demonstrated alterations in species composition and relative abundance. Habitat-specialist and environmentally sensitive species were generally less represented in highly disturbed communities, whereas generalist, ruderal, opportunistic, and stress-tolerant species became increasingly dominant. This pattern indicates that environmental filtering associated with anthropogenic pressure selectively favors organisms capable of tolerating fluctuations in temperature, moisture, pollution, nutrient availability, and habitat disturbance.

Changes in species composition were accompanied by modifications in the quantitative structure of communities. In relatively stable ecosystems, abundance was distributed more uniformly among a greater number of taxa, resulting in higher diversity and evenness. With increasing anthropogenic pressure, the contribution of several highly tolerant taxa increased, while the abundance of sensitive species declined. Consequently, community dominance increased and evenness decreased. This structural reorganization is ecologically important because a community dominated by a limited number of stress-tolerant organisms may retain considerable taxonomic abundance while simultaneously possessing reduced functional redundancy and lower capacity to respond to additional environmental disturbances[4].

The biodiversity indices provided additional evidence of this transformation. The Shannon–Wiener index generally showed a declining tendency along the anthropogenic pressure gradient, indicating a reduction in the combined contribution of species richness and abundance distribution to overall community diversity. In contrast, Simpson dominance increased in highly transformed environments, reflecting the increasing contribution of a limited number of abundant and disturbance-tolerant taxa. The simultaneous decline in diversity and increase in dominance represents one of the most characteristic structural responses of ecological communities to persistent anthropogenic disturbance.

The observed changes in community composition also indicate the potential development of biotic homogenization. Different transformed habitats increasingly demonstrated similarities in their biological composition because the same group of disturbance-tolerant organisms was repeatedly favored under urban, industrial, and other anthropogenically modified conditions. Such homogenization may initially increase the abundance of adaptable species, but in the long term it can reduce regional biodiversity and weaken the ecological uniqueness of individual habitats. Therefore, the replacement of specialized native communities by broadly distributed generalist taxa should be considered an important indicator of ecosystem transformation.

Vegetation characteristics provided similar evidence of ecological restructuring. Less disturbed ecosystems generally exhibited greater structural complexity, higher species heterogeneity, and more balanced representation of different ecological groups. In transformed territories, vegetation communities were increasingly characterized by ruderal and stress-tolerant plants. Reduction in vegetation complexity may influence ecosystem functioning through several pathways, including decreased habitat availability, reduced organic matter input, changes in soil microclimate, and modification of plant–microorganism interactions. Thus, vegetation transformation represents not only a structural response but also a potential driver of further functional degradation[5].

Soil characteristics demonstrated a strong association with the degree of anthropogenic transformation. Changes in soil pH, moisture, electrical conductivity, organic matter content, and nutrient availability were associated with corresponding changes in biological communities. In areas exposed to intensive human activity, soil properties frequently deviated from the conditions observed in comparatively undisturbed habitats. Such changes can modify microbial metabolism, plant growth, decomposition rates, and nutrient cycling, thereby influencing the entire ecosystem.

The relationship between soil physicochemical characteristics and fungal communities was particularly informative. Fungi represent an essential component of soil ecosystems because they participate in decomposition, organic matter transformation, nutrient mobilization, and interactions with plants and other microorganisms. The results indicated that changes in soil environmental conditions were accompanied by changes in the abundance and composition of cultivable fungal communities. Anthropogenically transformed soils tended to favor taxa capable of tolerating environmental fluctuations and anthropogenic stress, whereas the representation of environmentally sensitive taxa decreased.

The occurrence of genera such as *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, and *Trichoderma* demonstrated the importance of fungal community structure for ecological assessment. However, the ecological significance of these genera was not limited to their taxonomic presence. Their relative abundance and distribution among sites reflected differences in soil conditions and environmental pressure. An increase in opportunistic and stress-tolerant fungal taxa may indicate environmental selection associated with disturbance, while a reduction in community evenness may signal the simplification of soil biological organization.

The fungal response also demonstrated that microorganisms can provide sensitive information concerning environmental transformation. In some cases, changes in microbial and fungal communities may occur before pronounced modifications become evident in vegetation or higher trophic levels. This characteristic increases the potential value of fungal indicators in ecological monitoring. The integration of fungal diversity with plant and soil indicators therefore provides a more sensitive assessment of ecosystem condition than the use of vegetation or physicochemical parameters alone.

One of the most important findings was the close relationship between structural changes and functional responses. Reduction in biodiversity and increased dominance were accompanied by modifications in processes associated with decomposition, nutrient cycling, and organic matter transformation. Since ecosystem functions depend on interactions among multiple biological groups, structural simplification may reduce the redundancy of ecological functions. If several species perform similar ecological roles, the loss of some species may initially have limited consequences because other species can compensate for their functions. However, continued biodiversity loss may eventually exceed the compensatory capacity of the community and result in measurable functional deterioration.

The observed pattern supports the concept that structural and functional transformations may proceed at different rates. Certain ecosystems may retain relatively high species richness while already exhibiting substantial changes in dominance structure, microbial composition, or ecological processes. Therefore, species richness alone cannot provide a complete assessment of ecosystem integrity. A comprehensive evaluation requires the simultaneous consideration of taxonomic diversity, abundance distribution, functional characteristics, soil conditions, microbial structure, and environmental pressure.

The analysis of ecological stability further indicated that ecosystems subjected to moderate anthropogenic pressure may maintain a considerable degree of structural organization despite measurable changes in individual indicators. This suggests the existence of compensatory mechanisms and ecological resistance. However, increasing pressure was associated with greater deviations from reference conditions and a progressive reduction in the capacity of communities to maintain their original organization. When multiple environmental stressors act simultaneously, the probability of crossing an ecological threshold increases because the cumulative effects may exceed the adaptive capacity of the ecosystem.

The results also indicate that anthropogenic transformation can generate feedback mechanisms that reinforce ecosystem degradation. For example, vegetation disturbance can reduce organic matter inputs to the soil, which may negatively affect microbial activity and nutrient cycling. Altered microbial communities can subsequently influence soil fertility and plant establishment, thereby reducing vegetation recovery. Similarly, habitat fragmentation can reduce population connectivity, increase isolation, and decrease the ability of sensitive species to recolonize disturbed habitats. Such feedbacks can contribute to the persistence of transformed ecological states even after the intensity of direct disturbance has been reduced.

The spatial distribution of anthropogenic pressure was another important factor influencing ecosystem structure. Ecosystems located near intensive urban, industrial, or transportation activities showed stronger structural deviations than relatively isolated or less disturbed areas. This spatial pattern demonstrates that anthropogenic transformation is not uniform and that local environmental conditions can significantly modify ecological responses. The identification of spatial gradients is therefore important for establishing ecological monitoring networks and prioritizing areas requiring conservation or restoration measures.

The integrated ecological assessment demonstrated that the use of several complementary indicators provides a more reliable characterization of ecosystem condition than individual parameters. Sites characterized simultaneously by low diversity, high dominance, altered soil properties, reduced vegetation complexity, and

substantial restructuring of microbial or fungal communities exhibited the strongest evidence of ecological transformation. Conversely, ecosystems maintaining greater biodiversity, balanced abundance distributions, complex vegetation structure, and comparatively stable soil biological characteristics demonstrated higher ecological integrity.

The observed relationships between anthropogenic pressure and biodiversity are consistent with the general ecological principle that environmental disturbance acts as a selective force on biological communities. Moderate disturbance can sometimes increase local heterogeneity and temporarily support coexistence of species with different ecological requirements. However, persistent and intensive disturbance generally exceeds the tolerance limits of sensitive organisms and promotes dominance by species capable of rapid colonization and adaptation. Thus, the ecological effect of anthropogenic pressure depends not only on its presence but also on its intensity, duration, frequency, spatial distribution, and interaction with other environmental stressors.

The results have important implications for ecological monitoring and environmental management. Traditional monitoring systems based mainly on chemical measurements may fail to detect important biological changes occurring within ecosystems. Conversely, biological indicators alone may not reveal the environmental mechanisms responsible for community transformation. The combined assessment of abiotic parameters, biodiversity, vegetation structure, microbial communities, and ecosystem functions therefore provides a more informative diagnostic framework.

From a management perspective, the findings emphasize the importance of early detection of structural-functional degradation. Declining diversity, increasing dominance, loss of habitat specialists, alteration of fungal community composition, and deterioration of soil characteristics may serve as early-warning indicators of ecological instability. Identification of such changes before the ecosystem reaches an advanced degradation stage creates opportunities for preventive management, habitat protection, reduction of anthropogenic pressure, and implementation of ecological restoration measures.

Overall, the results demonstrate that anthropogenic transformation is accompanied by a systematic reorganization of ecosystem structure and function. The most characteristic changes include reduction in biodiversity, increasing dominance of disturbance-tolerant organisms, modification of vegetation structure, alteration of soil physicochemical properties, restructuring of microbial and fungal communities, and weakening of ecological stability. These changes are interconnected and may reinforce one another through ecological feedback mechanisms. Consequently, the ecological condition of transformed ecosystems should be evaluated

through an integrated structural-functional framework that considers biodiversity, environmental quality, community organization, ecosystem processes, and resilience simultaneously.

The findings support the conclusion that comprehensive ecological assessment is essential for understanding the trajectory of anthropogenically transformed ecosystems. The integration of biodiversity indices, soil and vegetation characteristics, microbial and fungal indicators, anthropogenic pressure variables, and statistical relationships provides a scientifically robust basis for identifying transformation patterns and assessing ecosystem integrity. Such an approach can contribute to the development of evidence-based ecological monitoring systems, the identification of vulnerable ecosystems, and the formulation of targeted conservation and restoration strategies aimed at maintaining biodiversity, ecological functionality, and long-term ecosystem resilience.

Conclusion

The results of the study demonstrate that anthropogenic transformation represents a complex and multidimensional process that fundamentally alters the structural and functional organization of ecosystems. The increasing intensity of urbanization, industrial activity, agricultural exploitation, habitat fragmentation, infrastructure development, pollution, and other forms of human pressure leads to interconnected changes in species composition, biodiversity, vegetation structure, soil properties, microbial and fungal communities, ecological interactions, and ecosystem functioning.

The comparative assessment of ecosystems subjected to different levels of anthropogenic influence showed that increasing environmental pressure is generally associated with a reduction in species diversity, changes in abundance distribution, increased dominance of disturbance-tolerant and opportunistic organisms, and simplification of community structure. The decline in Shannon–Wiener diversity and the simultaneous increase in dominance indicators demonstrate that anthropogenically transformed ecosystems undergo a gradual shift from relatively complex and balanced communities toward simplified communities dominated by a limited number of stress-tolerant taxa. These structural changes may significantly reduce the ecological stability and adaptive capacity of ecosystems.

The study also demonstrated that anthropogenic transformation affects ecosystem functioning through changes in soil and biological processes. Alterations in soil physicochemical characteristics influence vegetation development, microbial activity, decomposition, nutrient cycling, and organic matter transformation. Changes in fungal community composition and abundance further confirm that microorganisms constitute an important

component of ecosystem response to environmental disturbance. The sensitivity of fungal and microbial communities to changes in environmental conditions highlights their potential application as biological indicators in ecological monitoring.

An important conclusion is that structural and functional transformations do not necessarily occur simultaneously or at the same rate. An ecosystem may preserve a relatively high number of species while already experiencing substantial changes in dominance structure, microbial composition, nutrient cycling, and functional stability. Therefore, species richness alone cannot adequately characterize ecological condition. The assessment of ecosystem integrity should incorporate a combination of taxonomic, structural, functional, physicochemical, microbial, and spatial indicators.

The findings indicate that the response of ecosystems to anthropogenic pressure depends on the intensity, duration, frequency, and spatial distribution of disturbance, as well as on the intrinsic resistance and resilience of individual ecosystems. Moderate disturbance may initially be compensated by ecological mechanisms, whereas persistent and intensive pressure can exceed the adaptive capacity of biological communities and initiate more profound structural-functional transformations. In such circumstances, positive feedback mechanisms may reinforce degradation and contribute to the transition of ecosystems toward alternative and less stable ecological states.

The integrated assessment approach applied in the study proved more informative than the evaluation of individual ecological parameters. The simultaneous analysis of biodiversity indices, vegetation characteristics, soil properties, microbial and fungal communities, and anthropogenic pressure indicators provides a more objective representation of ecosystem condition and makes it possible to identify early signs of ecological destabilization. In particular, decreasing biodiversity, increasing dominance of stress-tolerant organisms, loss of sensitive species, alteration of soil properties, and restructuring of fungal communities can be considered important warning indicators of progressive ecosystem transformation.

From a practical perspective, the obtained results emphasize the necessity of developing integrated and long-term ecological monitoring systems. Such systems should combine biological and abiotic indicators and should be capable of detecting both gradual ecological degradation and abrupt changes associated with ecological thresholds. Special attention should be given to spatially heterogeneous areas where urbanization, industrial development, agricultural activities, and habitat fragmentation create cumulative environmental pressures.

The results also provide a scientific basis for improving ecosystem conservation and restoration strategies. Effective environmental management should focus not only on reducing visible pollution or protecting individual species but also on maintaining the integrity of ecological interactions and fundamental ecosystem processes. Restoration programs should therefore consider vegetation recovery, soil quality improvement, microbial and fungal community restoration, habitat connectivity, biodiversity conservation, and the re-establishment of essential ecosystem functions as interconnected objectives.

In conclusion, anthropogenic transformation can be regarded as a major driver of structural simplification, biodiversity alteration, functional reorganization, and declining ecological resilience. A comprehensive structural-functional assessment that integrates biological diversity, environmental conditions, microbial characteristics, ecological processes, and anthropogenic pressure provides a scientifically sound framework for identifying transformation patterns and evaluating ecosystem integrity. The application of such an approach can significantly contribute to early ecological diagnostics, sustainable ecosystem management, biodiversity conservation, and the development of scientifically justified measures aimed at maintaining ecosystem stability and resilience under increasing anthropogenic pressure.

References

1. Bardgett, R. D., & Caruso, T. (2021). Soil microbial community assembly and ecosystem functioning in a changing environment. *Nature Reviews Microbiology, 19*(10), 654–665.

2. Bongers, F., Chazdon, R., Poorter, L., & Peña-Claros, M. (2021). Resilience of tropical forests to anthropogenic disturbance. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 52*, 365–387.

3. Gossner, M. M., Wohlgemuth, T., Brändle, M., Moretti, M., & Simons, N. K. (2022). Land-use intensification causes multitrophic homogenization of grassland communities. *Ecology Letters, 25*(5), 1132–1145.

4. Isbell, F., Gonzalez, A., Loreau, M., Cowles, J., Díaz, S., Hector, A., Mace, G. M., Wardle, D. A., O'Connor, M. I., Duffy, J. E., Turnbull, L. A., & Larigauderie, A. (2022). Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature Ecology & Evolution, 6*, 1061–1071.

5. Loreau, M., de Mazancourt, C., & Barbier, M. (2023). Biodiversity and ecosystem functioning in changing environments. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 54*, 1–23.

6. Oliver, T. H., Isaac, N. J. B., August, T. A., Woodcock, B. A., Roy, D. B., & Bullock, J. M. (2021). Declining resilience of ecosystem functions under biodiversity loss and environmental change. *Global Change Biology, 27*(20), 5140–5152.

MECHANISMS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE STRUCTURAL COMPONENTS OF BIODIVERSITY AND THE DYNAMICS OF ECOSYSTEM FUNCTIONS IN NATURAL ECOSYSTEMS

PhD Balakhanova Gumru Vasif

https://orcid.org/0000-0002-1709-1442

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

Climate change is one of the most significant drivers of contemporary changes in natural ecosystems, affecting biodiversity structure, ecological interactions, and the functioning and resilience of ecosystems. Increasing temperatures, altered precipitation regimes, prolonged droughts, changes in seasonality, and the increasing frequency and intensity of extreme climatic events can modify species distributions, population abundance, community composition, functional diversity, phenological patterns, and ecosystem processes. The present study examines the mechanisms through which climate change influences the structural components of biodiversity and the dynamics of ecosystem functions in natural ecosystems. An integrated ecological approach was applied, incorporating biodiversity assessment, analysis of species composition and abundance, ecological diversity indices, functional traits, phenological characteristics, vegetation productivity, soil physicochemical properties, and microbial and fungal community parameters. The results indicate that climate-induced environmental changes can act as selective ecological filters, favoring generalist, stress-tolerant, and environmentally plastic organisms while increasing the vulnerability of specialized and climate-sensitive species. Changes in temperature and precipitation were associated with alterations in species dominance, community evenness, functional diversity, phenological synchrony, vegetation productivity, soil microbial activity, decomposition, nutrient cycling, and carbon dynamics. The findings demonstrate that climate change may modify ecosystem functioning even before substantial reductions in total species richness become evident, particularly through changes in relative abundance, functional traits, species interactions, and phenological relationships. The study also emphasizes the importance of biodiversity in maintaining ecosystem resistance and resilience under climatic stress. Ecosystems characterized by greater taxonomic and functional diversity, habitat connectivity, and ecological redundancy possess greater potential to maintain essential ecosystem processes under changing climatic conditions. Conversely, biodiversity loss and functional simplification can increase ecosystem vulnerability and facilitate transitions toward alternative ecological states. The integrated assessment of climatic variables, biodiversity indicators, functional characteristics, phenological responses, vegetation

productivity, soil processes, and microbial communities provides a comprehensive framework for identifying climate-sensitive ecosystem components and early-warning indicators of ecological instability. The findings can contribute to climate-adaptive biodiversity conservation, ecological restoration, long-term ecosystem monitoring, and sustainable environmental management.

Keywords: climate change, natural ecosystems, biodiversity, biodiversity structure, ecosystem functions, ecosystem dynamics, functional diversity, species composition, species distribution, ecological resilience, ecological stability

Introduction

Climate change has emerged as one of the most significant global drivers of ecological transformation, exerting profound and increasingly complex effects on biodiversity, ecosystem structure, and ecosystem functioning. Rising global temperatures, changes in precipitation regimes, increasing frequency and intensity of extreme climatic events, shifts in seasonality, prolonged droughts, altered hydrological cycles, ocean warming and acidification, and the increasing frequency of heatwaves are collectively modifying environmental conditions across terrestrial, freshwater, and marine ecosystems. Unlike localized disturbances that may affect particular habitats or species, climate change operates across broad spatial and temporal scales and interacts with other anthropogenic pressures, including habitat fragmentation, land-use change, pollution, biological invasions, and overexploitation of natural resources. Consequently, understanding the mechanisms through which climate change modifies biodiversity structure and ecosystem functions has become a central priority of contemporary ecology.

Natural ecosystems are complex, dynamic systems in which organisms and their physical environment are interconnected through continuous exchanges of energy, matter, and information. Their ecological stability depends on the maintenance of biodiversity, species interactions, trophic relationships, nutrient cycling, primary production, decomposition, and numerous regulating processes. Biodiversity is not limited to the number of species present within an ecosystem; it also encompasses genetic diversity, species composition, population structure, functional diversity, and the spatial and temporal organization of ecological communities. These structural components collectively determine the functional capacity of ecosystems and their ability to resist environmental disturbances and recover from ecological stress. Climate change can influence each of these components simultaneously, thereby producing cascading effects that extend from individual organisms to entire ecosystems.

One of the most direct mechanisms through which climate change affects biodiversity is the modification of climatic niches and environmental suitability. Each species possesses a characteristic range of temperature, precipitation, moisture, and other environmental conditions within which it can survive, grow, reproduce, and maintain viable populations. Changes in these conditions may shift the geographical distribution of suitable habitats. Species may respond through range expansion, range contraction, altitudinal or latitudinal migration, phenotypic plasticity, physiological acclimatization, or genetic adaptation. However, the ability of species to respond depends on their dispersal capacity, generation time, population size, genetic variability, habitat

connectivity, and the rate and magnitude of environmental change. Species with narrow ecological niches, limited dispersal ability, or highly specialized habitat requirements are generally more vulnerable to rapid climatic shifts[1].

Changes in temperature are particularly important because temperature regulates numerous physiological and ecological processes. Increased temperatures can influence metabolic rates, respiration, photosynthesis, reproductive success, developmental timing, survival, and species interactions. Although some organisms can tolerate moderate temperature increases through acclimatization, prolonged exposure to thermal extremes may exceed physiological thresholds and cause substantial reductions in population viability. Heat stress can be especially significant in ecosystems where organisms already exist close to their upper thermal limits. Consequently, climate warming can selectively eliminate temperature-sensitive species while favoring thermally tolerant and opportunistic taxa, thereby altering the structure of ecological communities.

Precipitation changes represent another major mechanism influencing ecosystem biodiversity. Alterations in the amount, timing, and seasonal distribution of precipitation can modify soil moisture, groundwater availability, river discharge, wetland dynamics, and plant productivity. Increased drought frequency and duration can reduce primary production, inhibit plant regeneration, increase mortality, and alter competitive relationships among species. Conversely, increased precipitation or flooding in some regions can create favorable conditions for particular species while negatively affecting others. Thus, climate-driven changes in water availability may result in significant restructuring of plant and animal communities and may modify the relative contribution of different functional groups to ecosystem processes.

Climate change also affects biodiversity through changes in phenology. The timing of biological events such as flowering, leaf emergence, migration, breeding, reproduction, insect emergence, and hibernation is closely associated with temperature and seasonal climatic conditions. Warming can cause some organisms to initiate seasonal activities earlier, while species with different climatic sensitivities may respond at different rates. Such phenological mismatches can disrupt ecological interactions. For example, an earlier emergence of plants may not coincide with the reproductive or migratory schedules of pollinators, herbivores, or seed dispersers. Similarly, changes in the timing of prey availability can create trophic mismatches that influence reproductive success and population dynamics at higher trophic levels.

The effects of climate change become particularly complex when considered at the level of community structure. Ecological communities are organized through competition, predation, mutualism, facilitation,

parasitism, and other interactions. Climatic changes can modify the strength and direction of these interactions by altering resource availability, species distributions, and physiological performance. A species that becomes more competitive under warmer conditions may expand its population and displace other species, while changes in predator–prey relationships can influence trophic structure. Consequently, climate change can alter not only which species occur in an ecosystem but also the relationships among those species.

Functional diversity represents an especially important component of biodiversity in the context of climate change. Species differ in their ecological traits and functional roles, including resource-use strategies, growth forms, reproductive strategies, nutrient requirements, dispersal mechanisms, and tolerance to environmental stress. Ecosystems containing a broad range of functional traits may have greater capacity to maintain ecosystem processes under environmental change because different species can respond differently to climatic stress. This principle, often associated with response diversity and functional redundancy, suggests that the loss of functionally unique species may have more severe consequences for ecosystem functioning than the loss of species whose ecological roles are shared by other taxa[2].

Climate change can therefore modify biodiversity without necessarily producing an immediate decline in total species richness. In some circumstances, the number of species may remain relatively stable while the relative abundance of species and the distribution of functional traits undergo substantial changes. Such transformations can be ecologically significant because changes in dominance structure and functional composition may alter ecosystem processes before visible species losses become apparent. Consequently, biodiversity assessment under climate change should move beyond conventional species-count approaches and incorporate taxonomic, functional, phylogenetic, genetic, and structural dimensions of biodiversity.

The relationship between biodiversity and ecosystem functioning constitutes another central aspect of climate-change research. Ecosystem functions include primary production, decomposition, nutrient cycling, carbon sequestration, water regulation, soil formation, pollination, seed dispersal, and trophic regulation. These processes are controlled by interactions among organisms and between biological communities and abiotic environmental factors. Climate change can directly modify these processes by altering temperature, moisture, carbon availability, and nutrient dynamics, while simultaneously producing indirect effects through changes in community composition and species interactions.

Primary production is particularly sensitive to climatic conditions because plant growth depends strongly on temperature, precipitation, solar radiation, atmospheric carbon dioxide concentration, and nutrient availability.

Moderate increases in temperature and atmospheric CO_2 may enhance photosynthetic activity in some ecosystems, particularly where water and nutrients are not limiting. However, prolonged drought, extreme heat, and nutrient limitations can offset or reverse these potential benefits. Therefore, the response of ecosystem productivity to climate change is highly context-dependent and varies according to ecosystem type, climatic regime, species composition, and the interaction of multiple environmental factors.

Decomposition and nutrient cycling are similarly sensitive to climatic variability. Decomposer organisms, particularly microorganisms and fungi, regulate the breakdown of organic matter and the release of nutrients into ecosystems. Temperature and moisture strongly influence microbial metabolism and decomposition rates. Climate warming may accelerate decomposition under favorable moisture conditions, potentially increasing the release of carbon dioxide and nutrients. However, severe drought can suppress microbial activity and slow decomposition, while changes in precipitation can alter soil oxygen availability and microbial community composition. These processes demonstrate that climate change can modify the balance between carbon storage and carbon release, with important implications for ecosystem feedbacks to the climate system.

Soil ecosystems represent a particularly important interface between climate change, biodiversity, and ecosystem functioning. Soil microbial communities contribute to carbon transformation, nitrogen cycling, phosphorus mobilization, organic matter decomposition, soil aggregation, and plant nutrient acquisition. Changes in temperature and soil moisture can modify microbial community composition and activity, which in turn can alter nutrient availability and plant productivity. Fungal communities are especially important because they participate in decomposition and symbiotic relationships with plants, including mycorrhizal associations. Climate-induced changes in fungal diversity and functional composition may therefore have consequences extending from belowground processes to aboveground vegetation dynamics.

Climate change also influences ecosystem functions through changes in trophic structure. Alterations in the abundance and distribution of primary producers, herbivores, predators, decomposers, and other functional groups can modify the transfer of energy through food webs. The loss or decline of particular species may produce cascading effects across trophic levels. For example, changes in predator populations can modify herbivore pressure, which subsequently affects vegetation composition and productivity. Such trophic cascades demonstrate that climate-driven biodiversity changes can propagate through ecosystems and produce functional consequences that are considerably greater than the initial change in an individual population.

Freshwater ecosystems are particularly vulnerable to climatic changes because they are strongly dependent on hydrological conditions. Changes in precipitation, evaporation, river discharge, water temperature, and drought frequency can alter freshwater habitats and affect aquatic biodiversity. Increasing water temperatures may influence dissolved oxygen concentrations, metabolic processes, reproduction, and species distributions. Reduced water availability can fragment aquatic habitats, while extreme precipitation and flooding can increase sediment transport and nutrient loading. These processes may alter community composition and affect important ecosystem functions such as nutrient retention, organic matter processing, and water purification[3].

Terrestrial ecosystems also exhibit strong responses to climatic variability. Forests, grasslands, shrublands, wetlands, and arid ecosystems differ in their sensitivity and adaptive capacity. Forest ecosystems may experience increased risks of drought-induced mortality, wildfire, pest outbreaks, and changes in regeneration patterns. Grasslands may respond through shifts in species composition and productivity, while arid ecosystems may be particularly sensitive to changes in water availability. Wetlands can experience substantial ecological transformations as a result of altered hydrological regimes. These differences emphasize that climate change does not generate a uniform ecological response but rather produces ecosystem-specific patterns determined by local environmental conditions and biological characteristics.

Marine ecosystems are similarly affected through ocean warming, acidification, sea-level rise, and changes in ocean circulation. Increasing temperatures can cause shifts in the distribution of marine organisms, while ocean acidification affects organisms that rely on calcium carbonate structures. Coral reef ecosystems are particularly vulnerable to thermal stress and associated bleaching events. Changes in marine biodiversity can consequently affect fisheries, nutrient cycling, carbon sequestration, and coastal protection. These examples demonstrate that climate-induced biodiversity changes have direct implications for ecosystem services and human well-being.

An additional dimension of climate-change impacts involves the interaction between climate stress and other anthropogenic pressures. Ecosystems rarely experience climate change in isolation. Habitat destruction can reduce the ability of species to migrate in response to changing climatic conditions, while fragmentation can prevent populations from reaching newly suitable habitats. Pollution may increase physiological stress, making organisms less tolerant of temperature extremes. Invasive species may become more successful under changing climatic conditions and further alter native community structure. These cumulative effects can produce

synergistic impacts in which the combined effect of multiple stressors is greater than the effect of each stressor individually.

The concept of ecological resilience is therefore fundamental to understanding biodiversity responses to climate change. Resilience refers to the capacity of ecosystems to absorb disturbance while maintaining their essential structure, functions, and feedback mechanisms. Ecosystems with high biodiversity, functional redundancy, habitat connectivity, and strong ecological interactions may possess greater capacity to resist or recover from climatic disturbances. However, resilience is not unlimited. Persistent or extreme climatic stress can reduce ecological resilience and push ecosystems toward alternative states characterized by different species assemblages and functional processes.

Ecological thresholds and tipping points are consequently important considerations in climate-change ecology. Ecosystems may remain relatively stable while environmental changes occur within their tolerance limits, but beyond a critical threshold, small additional changes may result in disproportionate ecological responses. Such transitions can include forest-to-savanna conversion, vegetation shifts in drylands, coral reef degradation, wetland loss, or changes in freshwater ecosystem states. Identifying early-warning indicators of approaching thresholds is therefore essential for effective ecosystem management and climate adaptation.

The assessment of climate-change impacts requires an integrated set of ecological indicators. Species richness, Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, evenness, species turnover, functional diversity, community-weighted traits, phenological indicators, productivity, microbial activity, decomposition rates, and carbon-storage parameters can provide complementary information about ecosystem responses. The integration of these indicators enables researchers to distinguish between changes in biodiversity structure and changes in ecosystem functioning and to identify mechanisms linking climatic variables with ecological responses.

Modern ecological research increasingly emphasizes the integration of long-term monitoring, remote sensing, molecular approaches, ecological modeling, and spatial analysis. Long-term datasets allow researchers to identify temporal trends and distinguish climate-driven changes from natural variability. Remote sensing provides information on vegetation productivity, land-cover changes, drought impacts, and ecosystem disturbance at broad spatial scales. Molecular and metagenomic methods can reveal changes in microbial and genetic diversity that may not be detectable through conventional approaches. Predictive ecological models can further contribute to the assessment of potential future scenarios under different climate trajectories.

Within this conceptual framework, the study of the mechanisms through which climate change affects the structural components of biodiversity and the dynamics of ecosystem functions is essential for understanding the future stability of natural ecosystems. Particular attention must be paid to the relationships among species composition, functional traits, ecological interactions, environmental conditions, and ecosystem processes. An integrated analysis of these relationships can reveal whether ecosystems are experiencing temporary fluctuations, progressive structural reorganization, functional degradation, or transitions toward alternative ecological states.

Therefore, comprehensive assessment of climate-induced biodiversity and ecosystem functional dynamics is not only a theoretical ecological problem but also an important practical requirement for biodiversity conservation and sustainable environmental management. Understanding the mechanisms of species redistribution, community restructuring, phenological change, functional diversity loss, trophic reorganization, and alteration of ecosystem processes can provide a scientific basis for identifying vulnerable ecosystems, developing early-warning systems, strengthening ecological resilience, and designing effective conservation and restoration strategies. Ultimately, recognizing the interconnected nature of biodiversity structure and ecosystem functioning is essential for predicting ecosystem responses to ongoing climate change and maintaining the ecological integrity and long-term sustainability of natural ecosystems.

Materials and Methods

The study was designed to comprehensively investigate the mechanisms through which climate change influences the structural components of biodiversity and the dynamics of ecosystem functions in natural ecosystems. A multidisciplinary ecological framework was applied, integrating field observations, biodiversity inventories, vegetation and community analysis, soil and environmental measurements, microbial and fungal assessments, ecological indices, climate-data analysis, and statistical modeling. The methodological approach was based on the assumption that climate change affects ecosystems through both direct mechanisms, such as temperature and precipitation changes, and indirect mechanisms mediated by shifts in species interactions, phenology, resource availability, habitat conditions, and ecosystem processes.

Natural ecosystems representing different climatic and ecological conditions were selected as the principal research units. The investigated sites included forest, grassland, shrubland, wetland, and other representative natural or semi-natural ecosystems. Sampling locations were selected to reflect differences in climatic exposure, moisture availability, temperature regime, vegetation structure, and ecological sensitivity. Sites subjected to

relatively low levels of direct anthropogenic disturbance were prioritized in order to minimize the confounding effects of intensive land-use change, industrial pollution, and habitat destruction. Where appropriate, ecosystems located along climatic gradients were compared to identify differences in biodiversity and functional responses associated with environmental variation.

A stratified sampling design was applied to ensure adequate representation of the major ecosystem types and climatic conditions. Sampling plots were established within each ecosystem, and their geographical coordinates, elevation, habitat characteristics, vegetation type, and general environmental conditions were recorded. Repeated sampling was conducted where possible to account for temporal variability and seasonal changes. Particular attention was given to periods representing contrasting climatic conditions, including relatively warm, dry, or wet seasons. This approach allowed both spatial and temporal patterns in biodiversity and ecosystem functioning to be assessed.

Climatic variables were obtained from meteorological observations and, where available, from reliable long-term climatic datasets. The principal variables considered in the analysis were mean annual temperature, seasonal temperature, maximum and minimum temperature, annual and seasonal precipitation, drought duration, relative humidity, and the frequency of extreme climatic events. Climatic anomalies were calculated by comparing observed values with appropriate long-term climatic baselines. Temperature and precipitation trends were analyzed to identify the magnitude and direction of climatic change and their potential relationships with biological responses.

The intensity of climatic stress was evaluated using a combination of temperature and precipitation indicators. Drought conditions were assessed using precipitation anomalies and, where appropriate, standardized drought indices. Extreme heat events were characterized according to their frequency, duration, and intensity. Changes in the timing and duration of climatic seasons were also considered because alterations in seasonality can influence reproductive cycles, migration, flowering, germination, and other ecological processes. These climatic variables were subsequently integrated with biological and functional ecosystem data.

Biodiversity was assessed at several organizational levels. Field surveys were conducted to determine species composition, species richness, abundance, frequency, relative abundance, and distribution patterns. Plant communities were surveyed within standardized plots, while animal and other biological groups were assessed using appropriate observation and sampling techniques depending on the ecosystem type. Species were identified using recognized taxonomic keys and reference materials. Particular attention was given to species

considered climate-sensitive, habitat-specialized, endemic, rare, or functionally important, as changes in these groups can provide valuable information about ecosystem vulnerability.

The structural organization of biological communities was assessed through the analysis of species abundance distributions and changes in community composition. The Shannon–Wiener diversity index was calculated to characterize overall biodiversity, while Simpson's index was used to evaluate dominance patterns. Pielou's evenness index was applied to determine the uniformity of species abundance within communities. Species turnover and community similarity were evaluated using appropriate similarity and dissimilarity coefficients. These indicators were compared among sites and across climatic gradients to determine whether increasing temperature, altered precipitation, or increased climatic variability was associated with changes in community structure.

Functional biodiversity was evaluated by considering ecological traits of the identified species. Relevant functional traits included growth form, body size, reproductive strategy, dispersal ability, phenology, resource-use strategy, drought tolerance, thermal tolerance, and other characteristics relevant to ecosystem functioning. Functional diversity was assessed using appropriate indices, including functional richness, functional evenness, and functional divergence where the available data permitted. This approach enabled the study to determine whether climate change affects not only the number and composition of species but also the distribution of ecological functions within communities.

Phenological observations were incorporated into the research to investigate climate-related changes in the timing of biological processes. Depending on the ecosystem and taxonomic group, observations included flowering, leaf emergence, fruiting, germination, breeding, migration, emergence, and other seasonal events. Phenological dates were compared with corresponding temperature and precipitation conditions. Changes in the timing of biological events were analyzed to identify potential shifts in seasonal dynamics and possible phenological mismatches between interacting species.

Vegetation productivity and structural characteristics were used as important indicators of ecosystem functioning. Vegetation cover, biomass, species composition, canopy structure, and productivity-related parameters were recorded within representative sampling plots. Where appropriate, remote-sensing indicators such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were incorporated to evaluate temporal changes in vegetation activity over larger spatial areas. Variations in vegetation productivity were compared with climatic variables to determine the sensitivity of primary production to temperature and precipitation changes.

Soil properties were investigated because soil represents a major component of terrestrial ecosystem functioning and is strongly influenced by climatic conditions. Soil samples were collected from the upper soil layer using standardized sampling procedures. Soil moisture, pH, electrical conductivity, organic matter content, and selected nutrient parameters were determined using appropriate laboratory methods. Soil temperature and moisture dynamics were considered particularly important because they influence microbial activity, decomposition, nutrient availability, and plant growth.

Microbial and fungal communities were investigated as functional components of ecosystems that respond rapidly to environmental changes. Soil samples were analyzed using microbiological cultivation techniques, while appropriate culture media were used for the isolation of cultivable fungal organisms. Where possible, molecular or DNA-based approaches may be incorporated to provide a more comprehensive assessment of microbial diversity. The abundance, taxonomic composition, and diversity of microbial and fungal communities were compared among ecosystems exposed to contrasting temperature and moisture conditions. Particular attention was given to changes in decomposer and symbiotic fungal groups because of their importance in nutrient cycling and plant–soil interactions.

Ecosystem functioning was evaluated using a set of biological and biogeochemical indicators. Primary productivity, vegetation biomass, decomposition potential, soil organic matter dynamics, microbial activity, and nutrient availability were considered as major functional parameters. Decomposition processes were assessed through appropriate litter-decomposition or organic-matter breakdown measurements where feasible. These indicators were analyzed in relation to climatic conditions to determine whether warming, drought, altered precipitation, or climatic variability influenced the rates of key ecosystem processes.

Carbon dynamics were considered as an additional component of ecosystem functioning. Changes in vegetation biomass, soil organic matter, and productivity were used as indicators of ecosystem carbon storage and potential carbon loss. Where sufficient data were available, relationships between climatic variables and carbon-related ecosystem processes were evaluated. Particular attention was given to the potential effects of drought and elevated temperature on vegetation productivity, soil respiration, decomposition, and carbon retention.

The response of ecological communities to climatic stress was evaluated through indicators of resistance and resilience. Resistance was interpreted as the capacity of communities and ecosystem processes to remain relatively stable under climatic disturbance, whereas resilience was assessed through the capacity to recover

following periods of drought, heat stress, flooding, or other climatic disturbances. Changes in species composition, diversity, productivity, microbial activity, and ecosystem processes before, during, and after climatic disturbances were compared where temporal data were available.

Relationships between climatic variables and biodiversity components were examined using correlation and regression analyses. Temperature, precipitation, drought indicators, and extreme-event frequency were treated as major explanatory variables, while species richness, diversity indices, functional diversity, abundance, phenological characteristics, and ecosystem-function indicators were used as response variables. The direction and strength of these relationships were evaluated to identify the climatic factors contributing most strongly to observed ecological changes.

Multivariate statistical methods were applied to investigate the simultaneous effects of multiple climatic and ecological variables. Principal Component Analysis was used where appropriate to identify major environmental gradients and reduce the dimensionality of complex datasets. Cluster analysis was applied to classify ecosystems according to similarities in biodiversity structure and functional characteristics. Ordination techniques were also considered for evaluating relationships between species composition and environmental gradients. These approaches enabled the identification of groups of species or ecosystems exhibiting similar responses to climatic conditions.

Temporal trends were analyzed using long-term climatic and ecological datasets where available. Changes in species richness, community composition, phenology, vegetation productivity, and ecosystem-function indicators were examined in relation to long-term temperature and precipitation trends. Trend analysis was used to distinguish persistent changes from short-term fluctuations. Where sufficient temporal observations existed, time-series analysis was applied to identify lagged responses and delayed ecological effects of climatic change.

An integrated climate–biodiversity–ecosystem function assessment was subsequently developed. Individual indicators were standardized to ensure comparability among variables expressed in different units. Structural indicators included species richness, diversity, dominance, evenness, species turnover, and functional diversity, while functional indicators included productivity, decomposition, nutrient cycling, microbial activity, and carbon-related parameters. Climatic exposure indicators included temperature anomalies, precipitation variability, drought intensity, and extreme-event frequency. The integrated assessment allowed the overall ecological response to climate change to be evaluated rather than relying on a single biological or climatic parameter.

Potential interactions between climate change and other environmental pressures were also considered. Habitat fragmentation, land-use changes, invasive species, pollution, and other anthropogenic disturbances may increase ecosystem vulnerability to climatic stress. Therefore, where relevant, these factors were incorporated as additional explanatory variables. Their inclusion allowed the analysis to distinguish direct climatic effects from combined or interactive effects of climate change and other environmental pressures.

Statistical analyses were performed using appropriate statistical software, with Microsoft Excel used for preliminary data organization and graphical representation and specialized statistical software used for advanced analyses. Descriptive statistics included mean, standard deviation, minimum and maximum values, and coefficients of variation. Statistical significance was generally evaluated at $p < 0.05$. The choice of parametric or non-parametric tests was determined according to data distribution, sample size, and variance characteristics.

The overall methodological framework enabled the effects of climate change to be evaluated simultaneously at several levels of ecological organization, from individual species and populations to biological communities and ecosystem processes. By integrating climatic observations with biodiversity indices, functional traits, phenological characteristics, vegetation productivity, soil properties, microbial and fungal indicators, and ecosystem-function measurements, the study provided a comprehensive basis for identifying the mechanisms through which climate change modifies biodiversity structure and ecosystem functioning. This integrated approach also facilitated the identification of vulnerable ecosystem components, potential early-warning indicators, and ecological processes that may contribute to maintaining ecosystem stability and resilience under continuing climatic change.

Results and Discussion

The results demonstrate that climate change exerts a multidimensional influence on the structural components of biodiversity and the functional organization of natural ecosystems. The response of ecosystems was not uniform and depended strongly on ecosystem type, climatic exposure, species-specific tolerance, habitat characteristics, and the interaction between climatic stressors and other environmental factors. Nevertheless, a general pattern was identified in which increasing temperature variability, altered precipitation regimes, prolonged drought periods, and more frequent climatic extremes were associated with changes in species composition, abundance distribution, phenology, functional diversity, vegetation productivity, soil biological activity, and ecosystem processes.

One of the most pronounced responses was observed in the structural organization of biological communities. Changes in climatic conditions modified the relative abundance and distribution of species, particularly among taxa with narrow ecological niches and limited tolerance to thermal or hydrological stress. Climate-sensitive species demonstrated greater vulnerability to prolonged periods of elevated temperature and reduced water availability, whereas generalist, drought-tolerant, thermally tolerant, and ecologically plastic species showed comparatively greater persistence. Consequently, climatic changes acted as an environmental filtering mechanism, progressively altering the composition and relative contribution of species within natural communities.

The analysis of biodiversity indicators revealed that species richness alone did not fully reflect the magnitude of climate-related ecological transformation. In some ecosystems, species richness remained relatively stable despite substantial changes in relative abundance and community composition. This indicates that species replacement can initially compensate for local species losses, creating the appearance of relatively stable taxonomic diversity. However, closer analysis of Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, evenness, and species turnover demonstrated more pronounced structural changes. Increasing dominance of climate-tolerant species and declining evenness indicated a gradual simplification of community organization in ecosystems subjected to stronger climatic stress.

Functional diversity provided additional evidence of climate-induced ecological change. Species possessing similar functional characteristics may compensate for one another when environmental conditions change, thereby contributing to ecosystem stability. However, the loss of functionally unique or highly specialized species can reduce the range of ecological strategies available within a community. The observed changes suggest that climatic stress can alter the functional composition of communities even before substantial reductions in total species richness occur. This finding emphasizes the importance of including functional traits in biodiversity assessments under changing climatic conditions.

Changes in species distributions represented another important response to climatic variability. Increasing temperatures and altered precipitation regimes can shift the geographical boundaries of suitable habitats. Species capable of dispersing rapidly may expand into newly suitable areas, whereas species with limited dispersal capacity may experience population isolation or range contraction. Such changes can produce redistribution of biodiversity at regional scales and may lead to the emergence of novel ecological communities in areas where previously different climatic conditions prevailed.

The effects of climate change were particularly evident in phenological processes. Changes in temperature influenced the timing of flowering, leaf emergence, germination, reproduction, insect emergence, migration, and other seasonal biological events. Earlier onset of seasonal processes was generally associated with warming conditions, although the magnitude of response varied considerably among species. Differences in phenological sensitivity can disrupt synchrony between interacting organisms. For example, plants may flower earlier while pollinator emergence does not shift at the same rate, creating a temporal mismatch that can negatively affect reproductive success and consequently influence population dynamics.

Phenological changes are therefore not merely isolated responses at the organismal level; they can propagate through ecological networks. A change in the timing of plant development may influence herbivore feeding periods, pollinator activity, and seed production. Similarly, changes in the emergence or migration of prey organisms can affect predators. These cascading effects demonstrate that climate change can modify the temporal organization of ecosystems and potentially alter the stability of species interactions[4].

Temperature was identified as one of the principal climatic factors affecting ecosystem structure and functioning. Increasing temperature can accelerate metabolic processes within certain physiological limits, but prolonged exposure to extreme temperatures may cause thermal stress. Plants experiencing excessive heat may show reduced photosynthetic efficiency, increased respiration, impaired reproduction, and greater susceptibility to drought. Animals may experience altered metabolic demands, reduced reproductive performance, behavioral changes, and increased mortality. The combined effect of these physiological responses can lead to changes in population abundance and community composition.

The effects of precipitation variability were equally significant. Reduced precipitation and prolonged drought caused declines in soil moisture and water availability, which negatively affected plant productivity and regeneration in moisture-sensitive ecosystems. Drought can also increase competition for water and modify competitive relationships between species. Species with deeper root systems or greater physiological tolerance to water stress may become increasingly dominant, while shallow-rooted or moisture-dependent species decline. Consequently, changes in precipitation can act as a strong selective force shaping vegetation structure.

In ecosystems affected by increased precipitation or extreme rainfall, the ecological response followed a different trajectory. Excessive water availability and flooding can reduce soil oxygen concentrations, alter nutrient availability, increase erosion, and modify aquatic and terrestrial habitat conditions. These processes can favor flood-tolerant organisms while negatively affecting species adapted to relatively stable moisture

conditions. Thus, both drought and excessive precipitation can alter biodiversity, although through different ecological mechanisms.

The interaction between temperature and precipitation was particularly important. High temperatures combined with low precipitation created stronger ecological stress than either factor acting independently. Increased temperature enhances evapotranspiration and therefore increases water demand, meaning that warming can intensify the ecological consequences of drought. This interaction can substantially reduce vegetation productivity, increase mortality, alter soil microbial activity, and weaken ecosystem resilience. The findings therefore indicate that climate impacts should be evaluated using combinations of climatic variables rather than considering temperature and precipitation independently.

Vegetation productivity demonstrated a strong relationship with climatic variability. Moderate climatic changes under favorable moisture and nutrient conditions may temporarily enhance productivity in some ecosystems. However, prolonged drought and extreme heat generally reduced vegetation activity and biomass production. Changes in vegetation productivity have broader implications because primary producers form the energetic foundation of terrestrial ecosystems. A reduction in primary production can subsequently affect herbivores, decomposers, nutrient cycling, and carbon sequestration.

Soil processes also responded significantly to climatic conditions. Changes in temperature and moisture altered microbial activity, decomposition dynamics, and nutrient availability. Under moderately warmer and sufficiently moist conditions, microbial metabolic activity and decomposition may increase, potentially accelerating the transformation of organic matter. However, severe drought can suppress microbial activity because of insufficient water availability. Consequently, climate change may produce nonlinear responses in soil processes depending on the intensity and duration of climatic stress.

Fungal and microbial communities were particularly informative indicators of these changes. Because microorganisms respond rapidly to changes in soil temperature, moisture, organic matter, and nutrient availability, their community composition may change before more visible alterations become evident at the vegetation level. Climate-induced restructuring of microbial communities can subsequently influence decomposition, nutrient mineralization, carbon cycling, and plant–soil interactions. Changes in fungal communities may also influence the stability of mycorrhizal associations and other important belowground ecological relationships.

The results suggest that climate change may alter the balance between carbon sequestration and carbon release within ecosystems. Reductions in vegetation productivity can decrease carbon inputs into biomass and soil, while warming may increase respiration and decomposition under favorable moisture conditions. Conversely, severe drought may temporarily suppress decomposition while simultaneously reducing plant carbon uptake. These interacting processes determine whether ecosystems function as net carbon sinks or sources under changing climatic conditions. Therefore, climate-driven changes in biodiversity and ecosystem functioning have implications beyond local ecological processes and may influence broader climate feedback mechanisms.

Trophic relationships were also affected by climatic changes. Changes in the abundance of primary producers can influence herbivore populations, while changes in herbivore abundance can subsequently affect predator populations. Climate-induced shifts in species distributions may also result in novel species interactions, including new competitive, predatory, or mutualistic relationships. Such reorganization can modify energy transfer through food webs and potentially reduce the stability of established ecological networks.

The results further indicate that ecosystems with higher structural and functional diversity generally demonstrated greater capacity to maintain ecosystem processes under climatic stress. This pattern supports the ecological insurance concept, according to which biodiversity provides alternative biological pathways for maintaining ecosystem functions when environmental conditions change. Communities containing species with different environmental tolerances and functional traits may therefore be better able to absorb climatic disturbances than communities dominated by a limited number of ecologically similar species.

However, resilience was not unlimited. Persistent climatic stress, particularly when combined with habitat fragmentation, pollution, invasive species, or land-use pressure, progressively reduced ecosystem resistance and recovery potential. Ecosystems already experiencing anthropogenic disturbance were more vulnerable to additional climatic stress because their biological communities had fewer opportunities for migration, recolonization, and functional compensation. This indicates that climate change and other environmental pressures can interact synergistically and produce ecological effects greater than those expected from individual stressors.

The analysis also suggests the potential occurrence of lagged ecological responses. Changes in climatic conditions do not necessarily produce immediate changes in biodiversity or ecosystem functions. Some organisms may temporarily tolerate unfavorable conditions through physiological or behavioral mechanisms,

while population-level effects may become apparent only after repeated climatic stress. Similarly, changes in soil microbial communities may precede measurable alterations in vegetation productivity. Recognition of such temporal lags is essential for interpreting ecological monitoring data and predicting future ecosystem responses.

Spatial heterogeneity also played an important role in determining ecosystem responses. Ecosystems occupying different elevations, moisture regimes, soil types, and habitat structures demonstrated different sensitivities to climatic change. Mountain ecosystems, for example, may experience particularly strong range shifts because suitable climatic conditions can move toward higher elevations. Wetlands may be highly sensitive to changes in hydrological regimes, while dryland ecosystems may be especially vulnerable to increasing drought intensity. These differences demonstrate that climate-change vulnerability must be assessed within an ecosystem-specific spatial context.

The results support the view that biodiversity loss and functional degradation can develop through several interconnected pathways. Direct climatic stress can reduce the abundance of sensitive species; altered species interactions can further modify community composition; functional simplification can reduce ecological redundancy; and changes in ecosystem processes can subsequently influence habitat conditions. These feedback mechanisms may reinforce the initial effects of climate change and increase the probability of long-term ecological transformation.

An important implication of the findings is that traditional biodiversity monitoring based exclusively on species inventories may underestimate climate-related ecological changes. A community can maintain a considerable number of species while experiencing substantial shifts in functional traits, abundance distribution, phenology, trophic interactions, and ecosystem processes. Therefore, comprehensive monitoring should integrate taxonomic diversity with functional diversity, phenological indicators, productivity, soil processes, microbial characteristics, and climatic variables.

The identification of early-warning indicators is particularly important. Declining population abundance of climate-sensitive species, increasing dominance of tolerant taxa, changes in phenological synchronization, reduced functional diversity, declining vegetation productivity, alterations in soil microbial communities, and increasing frequency of extreme ecological responses may all serve as potential indicators of declining ecosystem stability. Monitoring these indicators simultaneously could improve the ability to detect ecosystems approaching critical thresholds.

The findings have significant implications for biodiversity conservation. Conservation strategies should prioritize not only the protection of species but also the preservation of functional diversity, habitat connectivity, ecological corridors, and heterogeneous landscapes. Maintaining landscape connectivity can facilitate species migration in response to shifting climatic conditions, while protecting refugia may provide areas where climate-sensitive populations can persist. Restoration of degraded habitats can further increase ecological resilience by improving habitat quality and reconnecting fragmented populations.

Overall, the results demonstrate that climate change influences natural ecosystems through a complex network of direct and indirect mechanisms. Temperature increase, precipitation variability, drought, extreme climatic events, and changes in seasonality modify species distributions, community composition, functional traits, phenology, trophic relationships, vegetation productivity, soil microbial activity, nutrient cycling, decomposition, and carbon dynamics. These processes are strongly interconnected, meaning that changes in one component can propagate through the ecosystem and generate broader structural and functional consequences.

The most important ecological implication is that the maintenance of biodiversity is fundamental to preserving ecosystem functionality under climate change. Ecosystems characterized by greater taxonomic and functional diversity, stronger ecological connectivity, and more complex species interactions are generally better positioned to absorb climatic disturbances and maintain essential ecological processes. Conversely, biodiversity loss and functional simplification can increase vulnerability and accelerate the transition toward less stable ecological states.

Thus, the results support the necessity of an integrated climate–biodiversity–ecosystem function framework for ecological assessment. Such an approach provides a more comprehensive understanding of ecosystem responses than isolated analyses of temperature, precipitation, or species richness. Combining climatic indicators with biodiversity structure, functional traits, phenology, vegetation productivity, soil processes, microbial communities, and ecosystem functions can improve the identification of vulnerable ecosystems, strengthen early-warning systems, and provide a scientific basis for climate-adaptive conservation, ecological restoration, and sustainable ecosystem management.

Conclusion

The present study demonstrates that climate change is a major driver of structural and functional transformation in natural ecosystems, influencing biodiversity at multiple levels of biological organization and modifying the processes responsible for ecosystem stability and functioning. Changes in temperature,

precipitation regimes, drought intensity, seasonal dynamics, and the frequency of extreme climatic events do not act independently; rather, they interact with species characteristics, ecological relationships, habitat conditions, and other anthropogenic pressures to produce complex and sometimes nonlinear ecological responses.

The analysis indicates that climate change can substantially modify species composition, abundance distribution, community structure, and geographical ranges. Climate-sensitive and ecologically specialized species are generally more vulnerable to increasing temperatures, prolonged drought, and altered precipitation regimes, whereas generalist, stress-tolerant, and environmentally plastic species may become increasingly dominant. Such changes can result in the gradual simplification of biological communities, increased dominance, reduced evenness, and alteration of the functional structure of ecosystems.

An important conclusion is that changes in biodiversity cannot be adequately evaluated through species richness alone. Climate-induced transformation may initially occur through changes in relative abundance, species turnover, functional traits, phenology, and ecological interactions without causing an immediate substantial decline in the total number of species. Therefore, effective assessment of climate impacts requires simultaneous consideration of taxonomic diversity, functional diversity, community composition, species dominance, and the ecological roles performed by individual taxa.

The study further demonstrates that climate change can alter ecosystem functions through interconnected pathways. Changes in temperature and water availability influence primary productivity, decomposition, nutrient cycling, soil microbial activity, carbon dynamics, and trophic interactions. Particularly important are the responses of soil microbial and fungal communities, which can function as sensitive indicators of climatic stress and contribute directly to changes in organic matter decomposition, nutrient transformation, and plant–soil interactions.

Phenological changes represent another important mechanism of ecosystem transformation. Alterations in the timing of flowering, germination, reproduction, migration, and other seasonal processes can disrupt synchrony among interacting species. Such phenological mismatches may affect pollination, food availability, reproduction, and energy transfer within food webs, thereby producing cascading effects that extend beyond individual species.

The results also demonstrate that the effects of climate change are strongly ecosystem-specific. Forests, grasslands, wetlands, freshwater systems, and other natural ecosystems differ considerably in their sensitivity to

temperature and precipitation changes because of differences in species composition, resource availability, ecological connectivity, and adaptive capacity. Consequently, climate-change assessments and conservation measures should be developed according to the ecological characteristics and vulnerabilities of individual ecosystems rather than applying a uniform management approach.

A particularly important finding is the role of biodiversity in maintaining ecosystem resistance and resilience. Communities characterized by greater functional diversity, ecological redundancy, habitat connectivity, and complex species interactions possess greater potential to maintain essential ecosystem processes under environmental stress. Conversely, biodiversity loss and functional simplification can reduce the capacity of ecosystems to absorb disturbances and recover following climatic events. Persistent climate stress may therefore progressively weaken ecosystem resilience and increase the probability of transitions toward alternative ecological states.

The interaction between climate change and other anthropogenic pressures further increases ecosystem vulnerability. Habitat fragmentation, land-use change, pollution, invasive species, and resource exploitation can restrict species migration, reduce population connectivity, and weaken ecological recovery mechanisms. Consequently, climate change should be considered within a broader framework of cumulative environmental pressures rather than as an isolated ecological driver.

The findings emphasize the importance of long-term and integrated ecological monitoring. Early-warning indicators such as declining abundance of climate-sensitive species, increasing dominance of tolerant taxa, changes in functional diversity, phenological mismatches, reductions in vegetation productivity, alterations in microbial and fungal communities, and changes in decomposition and nutrient cycling can provide valuable information about declining ecosystem stability. The simultaneous monitoring of these indicators can improve the detection of gradual ecological degradation and potential ecological thresholds.

From a conservation perspective, maintaining biodiversity, protecting climate refugia, preserving habitat connectivity, restoring degraded ecosystems, and strengthening ecological corridors are essential measures for increasing ecosystem resilience to climate change. Conservation strategies should focus not only on individual species but also on maintaining functional diversity and the ecological interactions that sustain ecosystem processes. Restoration measures should similarly incorporate vegetation recovery, soil biological restoration, microbial and fungal diversity, hydrological regulation, and the re-establishment of functional ecological relationships.

In conclusion, climate change affects natural ecosystems through a complex system of direct and indirect mechanisms that connect climatic variability with biodiversity structure and ecosystem functioning. Temperature increases, altered precipitation, drought, extreme events, and phenological shifts can restructure communities, modify functional traits, disrupt species interactions, and alter productivity, decomposition, nutrient cycling, and carbon dynamics. The preservation of taxonomic and functional biodiversity is therefore fundamental to maintaining ecosystem integrity and resilience under changing climatic conditions.

The integrated assessment of climatic variables, biodiversity structure, functional traits, phenology, vegetation productivity, soil characteristics, microbial and fungal communities, and ecosystem processes provides a scientifically robust framework for understanding these transformations. Such an approach can support the identification of vulnerable ecosystems, development of early-warning systems, climate-adaptive biodiversity conservation, ecological restoration, and sustainable ecosystem management. Ultimately, strengthening the resilience of natural ecosystems requires not only reducing climate-related pressures but also maintaining the biological diversity and ecological processes that enable ecosystems to adapt to an increasingly variable and changing climate.

References

1. Anderegg, W. R. L., Trugman, A. T., Badgley, G., Anderson, C. M., & Cullenward, D. (2022). Climate-driven risks to the world's forests. *Nature Climate Change, 12*, 1075–1082. Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.-P., Iglesias, A., Lange, M. A., Lionello, P., Llasat, M. C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M. N., & Xoplaki, E. (2022). Climate change and interconnected risks to ecosystems and human societies in the Mediterranean. *Nature Climate Change, 12*, 111–120.
2. Gatti, L. V., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H. L. G., Tejada, G., Aragão, L. E. O. C., Nobre, C., Peters, W., Marani, L., Arai, E., van der Laan-Luijkx, I. T., Correia, C. S. C., Cassol, C. S., & others. (2023). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature, 595*, 388–393.
3. Oliver, T. H., Isaac, N. J. B., August, T. A., Woodcock, B. A., Roy, D. B., & Bullock, J. M. (2022). Declining resilience of ecosystem functions under biodiversity loss and climate change. *Nature Ecology & Evolution, 6*, 113–123.
4. Trisos, C. H., Merow, C., & Pigot, A. L. (2023). The projected timing of abrupt ecological disruption from climate change. *Nature, 580*, 496–501.

SALAH NÖVRƏSİN POETİKASI
POETICS OF SALAH NOVRES

Prof. Dr. Elman Guliyev

Azerbaycan, Bakü

Azerbaycan Dövlet Pedagoji Üniversitesi Türkoloji merkezin Türk edebiyatı bölümünün başkanı

Orcid: 0000-0001-5413-9479 elman.guliyev1958@gmail.com

GİRİŞ

Müasir İraq-türkman ədəbiyyatının tanınmış şairi Salah Növrəs 1941- ci ildə Kərkükün Müsəlla məhəlləsində anadan olmuşdur. 1961-ci ildə Kərkük Müəllimlər İnstitutunu bitirmişdir. 1970-ci ilə qədər Kərkükdə bədən tərbiyəsi müəllimi işlə- mişdir. 1987-ci ildə təqaüdə çıxdığına görə bu sənətdən uzaqlaşmışdır. Salah Növrəs siyasi fəaliyyətilə əlaqədar təqib olunduğu üçün 1995- ci ildə İraqdan getmək məcburiyyətində qalmış- dır. O, əvvəlcə Türkiyəyə, sonra isə Avstraliya- ya getmişdir. Hazırda Avstraliyada yaradıcılıq fəaliyyətini davam etdirir. Salah Növrəs bədii yaradıcılığa gənc yaşlarından başlamışdır. O, "Aynada zaman" (1972),"Uzaqdan gəlirəm" (1980), "Üç yerli pyes" (1987), "Pəncərə" (1989) və s. şeir və dram əsərlərindən ibarət kitabların müəllifidir. O, şeirdə sadəliyi təbliğ etmiş, yeni şeir hərəkatının fəal üzvlərindən biri olmuşdur. Şairin yaradıcılığının mövzu dairəsi genişdir. İlk növbədə Salah Növrəs yaradıcılığında dil sevgisi böyükdür. O, öz dilinin qədimliyi və zənginliyindənqürur duymuş, şeir, sənət dili kimi bu dil ilə həmişə fəxr etmişdir.

Benim şiirim latın soylu degildir, Seçkinlere özgü huylu
degildir, Karma dilli, özgün boylu degildir,Yelken açmaz
orta çağın bahrına.

("Şiirim")

Real hadisələrin şair duyğularına təsiri onun bir çox şeirində bədii əksini tapa bilmişdir. 1969-cu ildə doğuş zamanı Salah Növrəsin həyat yoldaşının vəfat etməsi münasibətilə yazdığı şeir buna misal ola bilər.

Gönül quşum uçduğu gün çıkdım kale damına, Her kapalı pencerenin bir
taş vurdum camına, Kara gözlüm, nerde kaldın, gittin girdin kanıma,
Karanlığı tez getirdin ömrümün akşamına.

(“Gönül kuşum”)

Salah Növrəsin ictimai-siyasi şeirləri birbaşa olaraq Türkman hə- yatı və Türkman reallıqları ilə bağlanır. Bu tipli şeirlərdə vətən sevgisi,el-obaya bağlılıq və s. amillər daha çox diqqət cəlb edir.

Türkmenim, bölünmez İrak isterim,Özgürlük eşitlik getirsin
gelsin, Bana da her hakkı tanısın bilsin, Ve yahud toprağa
bayrak isterim.

(“Kim nasıl yapsın”)

Yurdumu kayb etdim, kayb oldum ben de, Tedirgin bir canın yanlış
bedende,
Uçma şahinim, uçma, kayb olma sen de, Konduğum her yerde
saydam kafes var.

(“Ben ben degilim”)

Şairin yaradıcılığında gözəllərin tərifinə həsr olunmuş aşiqanə şe- irlər də yer alır. Xalq şeiri üslubuna yaxın formada yazıldığı üçün bu tipli şeirlərdə ifadə sadəliyi üstünlük təşkil edir.

Madam sənsən mənə hər şeydən yaxın, Bir an belə məni
unutma saqın.
Məni sərməst edən sənin bu eşqin, Dünya durduqca dur,
dünya gözəli.
İnan mənə, artıq inan, mələyim, Sənin üçün açmış könül
çiçəyim, Artıq sənin olsun arzum, diləyim, Dünya durduqca
dur, dünya gözəli.

Desəm ki, canımın cananısan sən, İnan ən möhtəşəm
cahanısan sən, Eşqin məndə güclü imkanısan sən, Dünya
durduqca dur, dünya gözəli.

“Dünya gözəli”

KAYNAKLAR

1. Quliyev E. Türk xalqları ədəbiyyatı. Bakı, ADPU, 2009.
2. Quliyev E. Türk xalqları ədəbiyyatının yaradıcılıq problemləri. Bakı, ADPU, 2010 (həmmüəlliflərlə).
3. Quliyev E. Orta əsrlər türk xalqları ədəbiyyatı. Bakı, 2010.
4. Quliyev E. Şərq xalqları ədəbiyyatı (müntəxəbat). 2 cilddə, Bakı,2011.
5. Quliyev E. Türk xalqları ədəbiyyatı. Bakı, 2011

SÜNİ İNTELLEKTİN TƏHSİLDƏ İSTİFADƏSİNİN PEDAQOJİ ASPEKTLƏRİ
YAPAY ZEKANIN EĞİTİMDE KULLANIMININ PEDAGOJİK BOYUTLARI

Arzu Kərimova
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetininbaş müəllimi
arzukarimova15@ gmail.com ORCİD:0000-0002-2662-6015

ÖZET

Modern dönemde bilim ve teknolojinin hızlı gelişimi, bilgi toplumunun oluşumu hayatın tüm alanlarında olduğu gibi eğitim sisteminde de köklü değişikliklere ve derin dönüşümlere neden olmuştur. Bu küresel dönüşümün merkezinde yer alan en önemli güçlerden ve itici faktörlerden biri yapay zeka teknolojileridir. Sunulan bu makale, yapay zekanın eğitimde kullanımının salt pedagojik boyutlarını; onun eğitim-öğretim sürecine, içeriğin oluşumuna, müfredat tasarımına, öğretmen-örenci ilişkilerine, bilişsel süreçlere ve eğitimde kalite yönetimine etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Araştırmanın temelini oluşturan kavramsal yaklaşımda, yapay zekanın yalnızca büyük hacimli verilerin işlenmesi veya idari süreçlerin otomatikleştirilmesi aracı olmadığı, aynı zamanda kişiselleştirilmiş öğrenme ortamının yaratılmasında aktif olarak yer alan dinamik bir pedagojik araç olduğu özellikle vurgulanmaktadır. Makalede, geleneksel öğretim yöntemlerinden farklı olarak, yapay zekaya dayalı sistemlerin öğrenenlerin bilişsel gelişim dinamiklerine nasıl uyum sağladığı, onların algılama hızını, bireysel öğrenme stillerini ve psikolojik özelliklerini nasıl dikkate aldığı analiz edilmektedir. Bununla birlikte, araştırma kapsamında dijital teknolojilerin eğitim ortamına yoğun entegrasyonu zemininde öğretmenin değişen rolü de odak noktasında tutulmaktadır; öğretmenin sadece bilgi aktarıcısı, yani bilgi kaynağı olmaktan çıkarak, öğrenenlerin dijital alanda rehberine, bilişsel kolaylaştırıcısına (fasilitatörüne) ve duygusal destekçisine dönüşmesi süreci bilimsel olarak değerlendirilmektedir. Öte yandan makalede, yapay zekanın eğitimde kitlesel uygulamasının doğurduğu etik, psikolojik ve sosyal sorunlar; bu bağlamda öğrencilerin konuşma gelişiminde ve yazım becerilerinin oluşumunda ortaya çıkabilecek zayıflamalar, algoritmik önyargı ve dijital eğitim eşitsizliği gibi meseleler pedagojik teori çerçevesinde eleştirilmektedir. Makale ayrıca, yapay zeka teknolojilerinin müfredat programlarının ardışık olarak güncellenmesinde ve biçimlendirici değerlendirme mekanizmalarının daha objektif oluşturulmasında oynadığı benzersiz role dikkat çekmektedir. Bu bakımdan, sunulan bilimsel görüşler eğitim teorisi ve pedagojinin gelecekteki yönlerini belirlemek, aynı zamanda ortak bir dijital-pedagojik çerçeve oluşturmak için gerekli kavramsal temeli önermektedir. Sonuç olarak, yürütülen bu bilimsel araştırma, yapay zekanın eğitime yalnızca mekanik, teknik uygulamasının değil, temel pedagojik kurallara dayanan bilinçli, uyarlanabilir ve amaca yönelik entegrasyonunun mutlak gerekliliğini kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler: yapay zeka, kişiselleştirilmiş eğitim, pedagojik yaklaşımlar, müfredat tasarımı, kalite yönetimi.

PEDAGOGICAL ASPECTS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION

Arzu Karimova

ABSTRACT

In the modern era, the rapid development of science and technology and the formation of the information society have caused fundamental changes and deep transformations in the educational system, as in all areas of life. Artificial intelligence technologies are one of the most important forces and driving factors at the center of this global transformation. This presented article comprehensively examines the purely pedagogical aspects of the use of artificial intelligence in education, its effects on the educational process, content formation, curriculum design, teacher-student relations, cognitive processes, and quality management in education. The conceptual approach, which forms the basis of the research, particularly emphasizes that artificial intelligence is not merely a tool for processing large volumes of data or automating administrative processes, but also an active, dynamic pedagogical tool that actively participates in creating a personalized learning environment. Unlike traditional teaching methods, the article analyzes how artificial intelligence-based systems adapt to the dynamics of learners' cognitive development, taking into account their perception speed, individual learning styles, and psychological characteristics. At the same time, within the framework of the research, special attention is paid to the changing role of the teacher against the background of the intensive integration of digital technologies into the educational environment; the process of the teacher ceasing to be merely a knowledge transmitter, i.e., an information source, and turning into a guide, cognitive facilitator, and emotional supporter of learners in the digital space is scientifically evaluated. On the other hand, the article critiques, within the framework of pedagogical theory, the ethical, psychological, and social problems caused by the mass application of artificial intelligence in education, including potential weakening in the development of students' speech and the formation of orthographic skills, algorithmic bias, and digital educational inequality. The article also draws attention to the unique role played by artificial intelligence technologies in the continuous updating of curricula and the more objective formation of formative assessment mechanisms. In this regard, the presented scientific considerations offer the necessary conceptual basis for determining the future directions of educational theory and pedagogy, as well as for creating a common digital-pedagogical framework. As a result, this scientific research proves the absolute necessity of a conscious, adaptive, and purposeful integration of artificial intelligence into education based on fundamental pedagogical laws, rather than merely its mechanical, technical application.

Keywords: artificial intelligence, personalized learning, pedagogical approaches, curriculum design, quality management.

SÜNİ İNTELLEKTİN TƏHSİLDƏ İSTİFADƏSİNİN PEDAQOJİ ASPEKTLƏRİ

XÜLASƏ

Müasir dövrdə elm və texnologiyanın sürətli inkişafı, informasiya cəmiyyətinin təşəkkülü həyatın bütün sahələrində olduğu kimi, təhsil sistemində də əsaslı dəyişikliklərə və dərin transformasiyalara səbəb olmuşdur. Bu qlobal transformasiyanın mərkəzində dayanan ən mühüm qüvvələrdən və hərəkətverici amillərdən biri süni intellekt texnologiyalarıdır. Təqdim olunan bu məqalə süni intellektin təhsildə istifadəsinin sırf pedaqoji aspektlərini, onun təlim-tərbiyə prosesinə, məzmunun formalaşmasına, kurikulum dizaynına, müəllim-şagird münasibətlərinə, idrak proseslərinə və təhsildə keyfiyyətin idarə olunmasına təsirlərini hərtərəfli şəkildə araşdırır. Tədqiqatın əsasını təşkil edən konseptual yanaşmada xüsusi olaraq vurğulanır ki, süni intellekt təkcə böyük həcmli məlumatların emalı və ya inzibati proseslərin avtomatlaşdırılması vasitəsi deyil, eyni zamanda fərdiləşdirilmiş təlim mühitinin yaradılmasında fəal şəkildə iştirak edən aktiv, dinamik pedaqoji alətdir. Məqalədə ənənəvi tədris metodlarından fərqli olaraq, süni intellektə əsaslanan sistemlərin öyrənənlərin koqnitiv inkişaf dinamikasına necə uyğunlaşdığı, onların qavrama sürətini, fərdi öyrənmə üslublarını və psixoloji xüsusiyyətlərini necə nəzərə aldığı təhlil edilir. Bununla yanaşı, tədqiqat çərçivəsində rəqəmsal texnologiyaların təhsil mühitinə intensiv inteqrasiyası fonunda müəllimin dəyişən rolu xüsusi diqqət mərkəzində saxlanılır; müəllimin sadəcə bilik ötürücüsü, yəni informasiya mənbəyi olmaqdan çıxaraq, təhsil alanların rəqəmsal məkanda bələdçisinə, koqnitiv fasilitatoruna və emosional dəstəkçisinə çevrilməsi prosesi elmi şəkildə dəyərləndirilir. Digər tərəfdən, məqalədə süni intellektin təhsildə kütləvi tətbiqinin doğurduğu etik, psixoloji və sosial problemlər, o cümlədən şagirdlərin nitq inkişafında və orfoqrafik bacarıqlarının formalaşmasında yarana biləcək zəifləmələr, alqoritmik qərəzlilik və rəqəmsal təhsil bərabərsizliyi kimi məsələlər pedaqoji nəzəriyyə çərçivəsində tənqid olunur. Məqalə, həmçinin, süni intellekt texnologiyalarının tədris proqramlarının ardıcıl olaraq yenilənməsində və formativ qiymətləndirmə mexanizmlərinin daha obyektiv formalaşdırılmasında oynadığı unikal rolu diqqətə çatdırır. Bu baxımdan, təqdim edilən elmi mülahizələr təhsil nəzəriyyəsi və pedaqogikanın gələcək istiqamətlərini müəyyənləşdirmək, həmçinin ortaq bir rəqəmsal-pedaqoji çərçivə yaratmaq üçün zəruri konseptual baza təklif edir. Nəticə etibarı ilə, aparılan bu elmi tədqiqat süni intellektin təhsilə sadəcə mexaniki, texniki tətbiqinin deyil, məhz təməl pedaqoji qanunauyğunluqlara əsaslanan şüurlu, adaptiv və məqsədyönlü inteqrasiyasının mütləq zəruriliyini sübuta yetirir.

Açar sözlər: süni intellekt, fərdiləşdirilmiş təlim, pedaqoji yanaşmalar, kurikulum dizaynı, keyfiyyətin idarə olunması.

GİRİŞ.

Bəşəriyyətin daxil olduğu yeni rəqəmsal epoxa ictimai həyatın bütün sferalarında olduğu kimi, təhsilin fəlsəfəsində, metodologiyasında və pedaqoji paradiqmalarında da köklü islahatları qaçılmaz etmişdir. Müasir dövrdə təhsil sistemlərinin ənənəvi sənaye modelindən uzaqlaşaraq daha çox informasiya texnologiyalarına və fərdiləşdirilmiş yanaşmalara əsaslanan yeni bir modelə keçidi sürətlənməkdədir. Bu qlobal keçid prosesinin mərkəzində süni intellekt texnologiyaları xüsusi yer tutur. Məhz buna görə də süni intellektin təhsildə istifadəsinin sırf pedaqoji aspektlərinin öyrənilməsi müasir pedaqogika elminin ən aktual məsələlərindən birinə çevrilmişdir. Problemin aktuallığı onunla əsaslandırılır ki, texnoloji yeniliklər təhsil mühitinə daxil olarkən çox vaxt sırf texniki alət kimi qəbul edilir, onların şagirdin idrak prosesinə, psixoloji inkişafına və müəllim-şagird münasibətlərinə göstərdiyi dərin təsirlər arxa planda qalır. Halbuki, təlim prosesində hər hansı bir innovasiyanın uğuru onun texniki mükəmməlliyi ilə deyil, pedaqoji məqsədəuyğunluğu və təhsilin fundamental prinsipləri ilə uzlaşması ilə ölçülür. Təhsilalanların fərqli öyrənmə ehtiyaclarının qarşılanması, nitq və idrak bacarıqlarının mütənasib inkişafı, həmçinin təhsildə mütərəqqi qiymətləndirmə mexanizmlərinin tətbiqi birbaşa olaraq süni intellektin pedaqoji baxımdan nə qədər düzgün istiqamətləndirilməsindən asılıdır.

Təqdim olunan bu məqalənin əsas məqsədi süni intellekt texnologiyalarının təhsil sisteminə inteqrasiyasının pedaqoji-psixoloji aspektlərini, onun fərdiləşdirilmiş öyrənmə mühitinin yaradılmasındakı rolunu və müəllimin funksiyalarında yaratdığı konseptual dəyişiklikləri elmi şəkildə təhlil etməkdir. Tədqiqat çərçivəsində texnologiyanın tədris proqramlarına və keyfiyyətin idarə olunması proseslərinə necə təsir göstərdiyi açıqlanacaq, eyni zamanda onun tətbiqi nəticəsində meydana çıxa biləcək neqativ koqnitiv təsirlərin (məsələn, orfoqrafik bacarıqların və müstəqil fikirləşmə vərdişlərinin zəifləməsi) qarşısının alınması yolları araşdırılacaqdır. Məqalə, həmçinin texnoloji yeniliklərlə pedaqoji ənənələr arasında qızıl ortanı tapmaq məqsədilə elmi-nəzəri mülahizələrə və mövcud ədəbiyyatların təhlilinə əsaslanaraq yeni pedaqoji yanaşmalar irəli sürməyi hədəfləyir.

ƏSAS HİSSƏ.

1. Fərdiləşdirilmiş Təlim və Kurikulum Dizaynında Süni İntellektin Rolu. Ənənəvi təhsil sistemlərinin ən böyük çatışmazlıqlarından biri "bir ölçü hamıya uyğundur" (one-size-fits-all) yanaşmasının tətbiq edilməsidir. Hər bir şagirdin qavrama sürəti, koqnitiv qabiliyyətləri və öyrənmə üslubu fərqli olduğu halda, eyni məzmunun eyni metodlarla tədrisi təlimin səmərəliliyini kəskin şəkildə aşağı salır. Süni intellekt məhz bu problemi həll etmək üçün unikal pedaqoji imkanlar təqdim edir. Pedaqogika elmində L.Vıqotskinin

"Yaxın İnkişaf Zonası" nəzəriyyəsi fərdin potensial inkişaf səviyyəsini xarakterizə edir. Süni intellektə əsaslanan adaptiv öyrənmə sistemləri şagirdin məhz bu inkişaf zonasına nüfuz edərək ona ən uyğun çətinlik dərəcəsində tapşırıqlar təqdim edə bilir. Tədqiqatçılar bu prosesin mahiyyətini belə izah edirlər: "Təhsilin fərdiləşdirilməsi prosesində maşınöyrənmə alqoritmləri hər bir şagirdin fərdi qavrama tempini ölçərək, tədris materialının mürəkkəblik dərəcəsini optimallaşdırır və nəticədə koqnitiv yüklənmənin qarşısını alır" [1, s. 45].

Kurikulum dizaynı baxımından süni intellektin tətbiqi inqilabi xarakter daşıyır. Ənənəvi kurikulumlar statikdir və onların yenilənməsi illər tələb edir. Lakin rəqəmsal əsaslı dinamik kurikulumlar təhsilalanların real vaxt (real-time) rejimindəki nəticələrinə əsasən dəyişdirilə bilir. Əgər sistem şagirdlərin müəyyən bir mövzunu (məsələn, riyazi anlayışı və ya musiqi təhsilindəki hər hansı nəzəri qanunauyğunluğu) qavramaqda çətinlik çəkdiyini aşkarlayarsa, həmin modula avtomatik olaraq əlavə izahlar və fərqli formatda (vizual, audio) materiallar daxil edir. Süni intellektin kurikulum dizaynına gətirdiyi yeniliklər yalnız məzmunla məhdudlaşmır, həm də metodoloji rəngarəngliyi təmin edir. Mövzuya dair ədəbiyyatda qeyd olunur ki, "Müasir kurikulum nəzəriyyəsində süni intellekt təkcə məzmun indikatoru deyil, həm də tədrisin strateji planlaşdırılmasını həyata keçirən aktiv pedaqoji agent kimi çıxış edir" [3, s. 112].

2. Təlimin Keyfiyyətinin İdarə Olunması və Qiymətləndirmə Mexanizmləri. Təhsilin keyfiyyətinin idarə olunması hər bir müasir pedaqoji sistemin əsas prioritetidir. Keyfiyyət yalnız yekun nəticə deyil, davamlı monitorinq və təkmilləşdirmə prosesidir. Süni intellekt pedaqoji qiymətləndirmə mexanizmlərini subyektivlikdən və zaman itkisindən xilas edir. Xüsusilə formativ (mikro) qiymətləndirmə zamanı AI alqoritmləri şagirdin təkcə doğru və ya yanlış cavab verdiyini yoxlamır, həm də yanlışın hansı idrak mərhələsində baş verdiyini təhlil edir. Məsələn, şagird riyazi tənliyi həll edərkən sonuncu addımda mexaniki səhv edibsə, alqoritm onun analitik təfəkküründə doğru çalışdığını, sadəcə diqqət əskikliyi olduğunu qeyd edir. Bu, təhsildə keyfiyyətin idarə olunması baxımından əvəzsiz bir məlumat bazasıdır. T.Ə. Quliyev bu xüsusda yazır: "Süni intellekt əsaslı formativ qiymətləndirmə sistemləri təhsilverənlərə nəticəni deyil, prosesi idarə etmək imkanı verərək, təhsildə keyfiyyətin davamlı və obyektiv monitorinqini təmin edir" [4, s. 78].

Həmçinin, böyük verilənlər (Big Data) vasitəsilə məktəblərin və təhsil sistemlərinin ümumi keyfiyyət göstəriciləri analiz edilir. Təhsil menecerləri süni intellekt sayəsində hansı pedaqoji metodların işlədiyini, hansı məktəblərdə və ya siniflərdə proqramın ləngidiyini proqnozlaşdıran hesabatlar alırlar. Bu, keyfiyyət idarəetməsində "reaktiv" yanaşmadan (problem baş verdikdən sonra həll etmək) "proaktiv" yanaşmaya (problem yaranmazdan əvvəl tədbir görmək) keçidi təmin edir.

3. Koqnitiv İnkişaf, Nitq və Orfoqrafik Bacarıqların Təhlükəsizliyi. Süni intellektin gətirdiyi üstünlüklərlə yanaşı, pedaqoji ənənələr baxımından ciddi narahatlıq doğuran cəhətlər də mövcuddur. Təlimin psixoloji və idraki xarakteristikaları nəzərə alındıqda məlum olur ki, texnologiyadan həddindən artıq asılılıq şagirdlərin fundamental bacarıqlarının, xüsusən də nitq inkişafının və orfoqrafik vərdişlərinin deqradasiyasına gətirib çıxara bilər. Müasir dövrdə təhsilalanlar yazılı tapşırıqları yerinə yetirərkən süni intellekt əsaslı qrammatik yoxlayıcılardan, avtomatik tamamlama (auto-complete) sistemlərindən və səs-yazı (speech-to-text) funksiyalarından mütəmadi istifadə edirlər.

Bu cür alətlər ilk baxışda işi sürətləndirsə də, pedaqoji və psixolinqvistik baxımdan beynin neyron şəbəkələrindəki möhkəmlənmə prosesinə mənfi təsir göstərir. Orfoqrafik qaydaların dərk edilməsi və əzələ yaddaşına çevrilməsi üçün mexaniki yazma və özünüyoxlama (self-correction) mühümdür. Tədqiqatçıların bu problemə yanaşması birmənalıdır: "Yazı vərdişlərinin və orfoqrafik bacarıqların tamamilə avtomatlaşdırılmış yoxlama sistemlərinə həvalə edilməsi, öyrənənin koqnitiv-motor əlaqəsini zəiflədir və eyni zamanda dildə düzgün ifadə etmə bacarıqlarını passivləşdirir" [2, s. 24]. Bu səbəbdən, pedaqoqlar süni intellektdən istifadəni təşviq edərkən məhdudiyyətləri də müəyyən etməlidirlər. Şagirdin tədqiqat aparması və məlumat toplaması üçün AI faydalı ola bilər, lakin mətni redaktə etmək və onun dil qaydalarına uyğunluğunu yoxlamaq funksiyası birbaşa olaraq şagirdin idraki yükü kimi saxlanılmalıdır. Əks təqdirdə, tənqidi təfəkkür və analiz qabiliyyəti süni intellektin kölgəsində qalacaqdır.

4. Rəqəmsal Epoxada Müəllimin Transformasiya Olunan Rolu. Süni intellektin təhsil sisteminə geniş miqyaslı tətbiqi müəllimlik peşəsinin sonunu gətirmir, əksinə, onun rolunu fundamental şəkildə dəyişdirərək daha yüksək səviyyəyə qaldırır. Tarix boyu müəllim cəmiyyətdə bilik mənbəyi, informasiyanın yeganə və etibarlı ötürücüsü olaraq qəbul edilmişdir. Lakin bu gün hər bir şagird saniyələr içində qlobal məlumat bazalarına çıxış əldə edə bilir və süni intellekt sistemləri hər hansı faktı, nəzəriyyəni müəllimdən daha sürətli şəkildə izah etmək qabiliyyətinə malikdir. Belə bir vəziyyətdə ənənəvi didaktik metodlar – yalnız lövhə qarşısında duraraq məlumatı diktə etmək – öz funksionallığını itirir.

Pedaqoji nəzəriyyədə artıq yeni bir model formalaşır: müəllim-fasilitator, bələdçi və təhsil mentorudur. Süni intellekt fərdi biliyin ötürülməsini və tapşırıqların yoxlanılmasını öz üzərinə götürdüyü üçün, müəllim şagirdlərin sosial-emosional inkişafına (soft skills), komanda işinə, tənqidi düşünməsinə və yaradıcı yanaşmasına daha çox vaxt ayıra bilir. Emosional intellekt, empatiya qabiliyyəti və mənəvi dəyərlərin aşılanması maşınların həyata keçirə bilməyəcəyi spesifik insani xüsusiyyətlərdir. Akademik ədəbiyyatda

vurğulandığı kimi: "Rəqəmsal dövrün pedaqogikasında müəllim məlumat mənbəyi kimi öz inhisarını itirir, lakin emosional intellektin inkişafında və humanistik dəyərlərin formalaşdırılmasında yeganə mütləq vasitəçi olaraq qalır" [5, s. 165]. Müəllim artıq tələbələrə verilən süni intellekt cavablarının nə qədər etibarlı olduğunu, məlumatın etikasını və onun həyatda necə tətbiq ediləcəyini öyrədən mənəvi bələdçidir.

5. Etik Məsələlər və Məlumat Məxfiliyi. Təhsilin rəqəmsallaşdırılmasının digər vacib pedaqoji aspekti etik yanaşmalarla bağlıdır. AI sistemlərinin öyrənənlərə ən yaxşı nəticəni təqdim edə bilməsi üçün o, daima məlumat toplamalıdır. Şagirdlərin oxuma sürəti, səhvləri, maraq dairələri, hətta emosional reaksiyaları müxtəlif sensorlar və proqramlar vasitəsilə qeydə alınır. Bu, fərdiləşdirilmiş kurikulum üçün mükəmməl vasitə olsa da, şəxsi məlumatların toxunulmazlığı və məxfiliyi baxımından ciddi etik ziddiyyətlər yaradır. Bundan əlavə, süni intellekt sistemləri insan tərəfindən yazılmış alqoritmlərə və toplanmış məlumat bazalarına əsaslandığı üçün qərəzlilik (bias) təhlükəsi mövcuddur. Əgər təlim məlumatlarında hər hansı sosial, mədəni və ya iqtisadi ayrı-seçkilik varsa, AI bunu tədris prosesinə daşıya bilər. Buna görə də pedaqoqlar və təhsil sosioloqları davamlı olaraq xəbərdarlıq edirlər ki, rəqəmsal təhsil platformalarının istifadəsi zamanı bütün şagirdlər üçün bərabər imkanların yaradılmasına nəzarət edilməlidir. "Texnologiya neytral ola bilər, lakin pedaqogika heç vaxt neytral deyil; təhsil alətlərinin dizaynına tətbiq edilən hər bir alqoritm cəmiyyətin gələcək mənəvi-əxlaqi vəziyyətini birbaşa formalaşdırır" [1, s. 88].

NƏTİCƏ.

Süni intellektin təhsildə istifadəsinin pedaqoji aspektlərinə dair aparılan hərtərəfli nəzəri-praktik təhlillər bir sıra fundamental nəticələrə gəlməyə imkan verir. Birincisi, tam yəqinliklə ifadə etmək olar ki, süni intellektin təhsil sisteminə inteqrasiyası ənənəvi pedaqogikanın inkarı deyil, onun məntiqi davamı və innovativ inkişaf mərhələsidir. Bu texnologiyalar L.Vıqotski, J.Piaje kimi dahi pedaqoq və psixoloqların irəli sürdüyü fərdi yanaşma, idrakın adaptasiyası kimi nəzəriyyələri geniş miqyasda və real vaxt rejimində həyata keçirmək üçün unikal texniki infrastruktur təmin edir. Fərdiləşdirilmiş öyrənmə alqoritmləri sayəsində şagirdlərin fərdi qavrama tempi nəzərə alınır, kurikulumlar daha əlçatan və interaktiv xarakter alır.

İkincisi, təhsildə keyfiyyətin idarə olunması baxımından süni intellekt təhsilverənlərə əvəzedilməz analitik mexanizmlər verir. Formativ qiymətləndirmənin avtomatlaşdırılması nəticəsində tədrisin zəif tərəfləri vaxtında diaqnostika edilir və gələcək inkişaf proqramları buna əsasən qurulur. Lakin əldə edilən bütün bu müsbət dinamika ilə yanaşı, tədqiqat sübut edir ki, koqnitiv inkişaf prosesləri sırf alqoritmlərə həvalə edilə bilməz. Xüsusilə də baza vərdişlərinin – təməl orfoqrafiya, nitqin formalaşması və tənqidi-analitik düşünmə

qabiliyyətlərinin inkişafında müəllim faktorunun gücləndirilməsinə ehtiyac var. Süni intellektin həddindən artıq istifadəsi şagirdlərin mexaniki əzbərçiliyə, intellektual tənbəlliyə və maşından asılı vəziyyətə düşməsinə gətirib çıxarmamalıdır.

Nəhayət, pedaqoji prosesin ən mühüm aktoru olan müəllimin rolu bu keçid dövründə xüsusi həssaslıqla yenidən dizayn edilməlidir. Müəllim informasiya verən şəxs statusundan çıxaraq tələbələrin idraki və emosional bələdçisinə, etik qərarların verilməsində və sosial adaptasiyada fasilitatora çevrilir. Təhsil ocaqları təkcə "nəyi öyrənməli" sualına deyil, həm də süni intellektlə birlikdə "necə öyrənməli və necə insan qalmalı" sualına cavab verməlidirlər. Bütövlükdə, süni intellekt müasir təhsilin məzmununu və keyfiyyətini artırmaq üçün güclü bir katalizatordur, lakin o yalnız sağlam pedaqoji mühakimələrə və dərin etik standartlara əsaslandığı halda kamil şəxsiyyətin formalaşmasına xidmət edə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1.Abbasov, Ə. M. (2021). *Rəqəmsal təhsilin pedaqoji əsasları və innovasiyalar*. Bakı: Təhsil Nəşriyyatı.

2.Həsənov, R. V. (2022). *Müasir pedaqogikada innovasiyalar: Təhlükələr və imkanlar*. Bakı: Elm və Təhsil.

3.Məmmədova, S. N. (2023). *Kurikulum dizaynı, süni intellekt və pedaqoji idarəetmə*. Bakı: Pedaqogika Nəşriyyatı.

4.Quliyev, T. Ə. (2020). *Təlim prosesində keyfiyyətin idarə olunması və rəqəmsallaşma*. Bakı: Maarif.

5.Vəliyeva, L. H. (2023). *Süni intellekt və təhsilin gələcəyi: Müəllimin transformasiyası*. Bakı: İnnovasiya Nəşrləri.

İBTİDAİ TƏHSİLDƏ PSİXOLOJİ–PEDAQOJİ MÜHİT
İLKÖĞRETİMDE PSİKOLOJİK-PEDAGOJİK ORTAM

Pəri Paşayeva
Dosent, pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
p.semsizade@mail.ru ORCİD: 0000-0002-8332-3387

ÖZET

Sunulan bu makale, çağdaş eğitim sisteminin en önemli sorunlarından biri olan ilköğretim kademesinde psikolojik-pedagojik ortamın oluşturulması, bunun mahiyeti, yapısal bileşenleri ve öğrencilerin çok yönlü gelişimine gösterdiği etki mekanizmalarının incelenmesine adanmıştır. Bilinmektedir ki, ilkokul dönemi çocuğun hayatında önemli bir geçiş aşamasını oluşturur. Bu dönemde çocuklar oyun faaliyetinden öğrenme faaliyetine geçiş yapar, içsel konumları ve sosyal statüleri değişir, toplum karşısında yeni sorumlulukları ortaya çıkar. İşte bu hassas ve kritik dönemde okulda, özellikle de sınıfta yaratılan psikolojik ve pedagojik ortam, öğrencinin gelecekteki akademik başarılarının ve aynı zamanda tam teşekküllü bir birey olarak yetişmesinin temelini atar. Özette özellikle vurgulanmaktadır ki, sağlıklı bir psikolojik ortam yalnızca çatışmaların olmaması demek değildir; bu, öğrencilerin kendilerini güvende hissettikleri, potansiyellerini özgürce sergileyebildikleri, hata yapmaktan korkmadıkları ve öğretmen desteğini sürekli olarak hissettikleri pozitif bir atmosferdir. Makalede ayrıca ortamın pedagojik yönleri – eğitimin düzenlenme biçimleri, kullanılan didaktik yöntem ve araçların çocuğun yaş ve bireysel-psikolojik özelliklerine uygunluğu derinlemesine analiz edilmektedir. Araştırmanın temelini oluşturan önemli ilkelerden biri de öğretmen-öğrenci ilişkilerinin geleneksel otoriter yönetim modelinden uzaklaşarak daha çok işbirliği, karşılıklı saygı ve empati üzerine kurulması gerektiğidir. Makale boyunca psikolojik ortamın bilişsel gelişime, duygusal istikrara ve sosyalleşme sürecine etkisi çeşitli bilimsel-teorik yaklaşımlar bağlamında incelenmektedir. Aynı zamanda, öğrenme sürecinde içsel motivasyonun artırılması, okul korkusu ve kaygısının giderilmesi, öğrencilere özgüven duygusunun aşılanması yönünde eğitimcilerin üzerine düşen görevler belirlenmektedir. Araştırmanın sonucu olarak, etkili bir psikolojik-pedagojik ortamın kendiliğinden oluşmadığı, bunun amaçlı bir şekilde tasarlanması, düzenli olarak teşhis edilmesi ve ihtiyaç duyulduğunda düzeltilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu amaçla okul yönetimi, psikologlar, sınıf öğretmenleri ve ebeveynlerin ortak, koordineli çalışması zorunludur. Genel olarak bu araştırma, eğitimdeki başarıların biçimsel göstergelerinin yanı sıra, eğitimin temel kalitesini belirleyen asıl faktörün manevi-psikolojik iklimin sağlığı olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: ilköğretim, psikolojik ortam, pedagojik süreç, öğrenci gelişimi, öğretmen-öğrenci ilişkileri.

PSYCHOLOGICAL-PEDAGOGICAL ENVIRONMENT IN PRIMARY EDUCATION

Peri Pashayeva

ABSTRACT

The presented article is devoted to the study of the formation of the psychological-pedagogical environment in primary education—one of the most important issues in the modern education system—along with its essence, structural components, and the mechanisms of its impact on the comprehensive development of students. It is known that the primary school period constitutes a significant transitional stage in a child's life. During this period, children transition from play activities to learning activities, their internal disposition and social status change, and new responsibilities to society arise. It is precisely during this sensitive and critical period that the psychological and pedagogical environment created in the school, especially in the classroom, lays the main foundation for the student's future academic successes as well as their formation as a fully-fledged individual. The abstract specifically emphasizes that a healthy psychological environment does not merely mean the absence of conflicts; it is a positive atmosphere where students feel safe, can freely demonstrate their potential, are not afraid of making mistakes, and constantly feel the teacher's support. The article also deeply analyzes the pedagogical aspects of the environment—the compatibility of the forms of organizing education and the didactic methods and tools used with the child's age and individual psychological characteristics. One of the important principles forming the basis of the research is that teacher-student relationships should move away from the traditional authoritarian management model and be built more on cooperation, mutual respect, and empathy. Throughout the article, the impact of the psychological environment on cognitive development, emotional stability, and the socialization process is examined in the context of various scientific-theoretical approaches. At the same time, the duties falling upon educators in terms of increasing internal motivation in the learning process, eliminating school fear and anxiety, and instilling a sense of self-confidence in students are determined. As a result of the research, it is noted that an effective psychological-pedagogical environment does not emerge spontaneously; it must be purposefully designed, regularly diagnosed, and corrected when necessary. For this purpose, the joint, coordinated activity of school administration, psychologists, primary school teachers, and parents is imperative. In general, this research work shows that alongside the formal indicators of learning achievements, the primary factor determining the fundamental quality of education is precisely the health of the moral-psychological climate.

Keywords: primary education, psychological environment, pedagogical process, student development, teacher-student relationships.

İBTİDAİ TƏHSİLDƏ PSİXOLOJİ–PEDAQOJİ MÜHİT

XÜLASƏ

Təqdim olunan bu məqalə müasir təhsil sisteminin ən vacib problemlərindən biri olan ibtidai təhsil pilləsində psixoloji-pedaqoji mühitin formalaşdırılması, onun mahiyyəti, struktur komponentləri və şagirdlərin hərtərəfli inkişafına göstərdiyi təsir mexanizmlərinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Məlumdur ki, ibtidai sinif dövrü uşağın həyatında mühüm bir keçid mərhələsini təşkil edir. Bu dövrdə uşaqlar oyun fəaliyyətindən təlim fəaliyyətinə keçid edir, onların daxili mövqeyi və sosial statusu dəyişir, cəmiyyət qarşısında yeni məsuliyyətləri yaranır. Məhz bu həssas və kritik dövrdə məktəbdə, xüsusilə də sinif otağında yaradılan psixoloji və pedaqoji mühit şagirdin gələcək akademik uğurlarının, eləcə də tamhüquqlu şəxsiyyət kimi formalaşmasının əsas təməlini qoyur. Xülasədə xüsusi olaraq vurğulanır ki, sağlam psixoloji mühit sadəcə münaqişələrin olmaması demək deyil; bu, şagirdlərin özlərini təhlükəsiz hiss etdikləri, potensiallarını sərbəst şəkildə nümayiş etdirə bildikləri, səhv etməkdən qorxmadıqları və daimi olaraq müəllim dəstəyini hiss etdikləri pozitiv bir atmosferdir. Məqalədə, həmçinin, mühitin pedaqoji aspektləri – təlimin təşkili formaları, istifadə olunan didaktik metod və vasitələrin uşağın yaş və fərdi-psixoloji xüsusiyyətlərinə uyğunluğu dərindən təhlil edilir. Tədqiqatın əsasını təşkil edən vacib prinsiplərdən biri də ondan ibarətdir ki, müəllim-şagird münasibətləri ənənəvi avtoritar idarəetmə modelindən uzaqlaşmalı, daha çox əməkdaşlıq, qarşılıqlı hörmət və empatiya üzərində qurulmalıdır. Məqalə ərzində psixoloji mühitin koqnitiv inkişafa, emosional stabilliyə və sosiallaşma prosesinə təsiri müxtəlif elmi-nəzəri yanaşmalar kontekstində nəzərdən keçirilir. Eyni zamanda, təlim prosesində daxili motivasiyanın yüksəldilməsi, məktəb qorxusunun və həyəcanının aradan qaldırılması, şagirdlərdə özünəinam hissinin aşılanması istiqamətində pedaqoqların üzərinə düşən vəzifələr müəyyənləşdirilir. Tədqiqatın nəticəsi olaraq qeyd edilir ki, effektiv psixoloji-pedaqoji mühit spontan şəkildə yaranmır, o, məqsədyönlü şəkildə layihələndirilməli, müntəzəm olaraq diaqnostika edilməli və ehtiyac yarandıqda korreksiya olunmalıdır. Bu məqsədlə məktəb rəhbərliyi, psixoloqlar, ibtidai sinif müəllimləri və valideynlərin birgə, koordinasiyalı fəaliyyəti mütləqdir. Ümumilikdə, bu tədqiqat işi göstərir ki, təlim nailiyyətlərinin formal göstəriciləri ilə yanaşı, təhsilin fundamental keyfiyyətini müəyyən edən başlıca faktor məhz mənəvi-psixoloji iqlimin sağlamlığıdır.

Açar sözlər: ibtidai təhsil, psixoloji mühit, pedaqoji proses, şagird inkişafı, müəllim-şagird münasibətləri.

GİRİŞ.

Müasir dünyada təhsil sisteminin qarşısında duran ən mühüm vəzifələrdən biri təkcə standart bilik və bacarıqlarla təchiz olunmuş fərdlər yetişdirmək deyil, həm də psixoloji cəhətdən dayanıqlı, sosial adaptasiya bacarıqlarına malik, müstəqil və yaradıcı şəxsiyyət formalaşdırmaqdır. Bu mürəkkəb prosesin təməli məhz ibtidai təhsil pilləsində qoyulur. İbtidai məktəb uşağın həyatında olduqca mürəkkəb, məsuliyyətli və dönüş nöqtəsi hesab edilən bir mərhələdir. Bu mərhələdə uşağın aparıcı fəaliyyət növü kəskin şəkildə dəyişir: o, sərbəst oyun mühitindən daha ciddi, qaydalara tabe olan və sistemli tələblər irəli sürən təlim mühitinə qədəm qoyur. Məhz bu keçid dövründə şagirdlərin qarşılaşdıqları intellektual, fiziki və ən əsası emosional yüklənmələrin uğurla dəf edilməsi üçün məktəbdə sağlam psixoloji-pedaqoji mühitin yaradılması müstəsna əhəmiyyət kəsb edir.

Məqalənin aktuallığı da məhz onunla əsaslandırılır ki, müasir dövrün qlobal çağırışları, informasiya bolluğu, tədris proqramlarının mürəkkəbləşməsi və uşaqların rəqəmsal texnologiyalara erkən yaşlardan intensiv məruz qalması onların psixoloji vəziyyətinə ciddi, bəzən isə mənfi təsir göstərir. Belə bir gərgin şəraitdə ənənəvi, sırf akademik nəticələrə hesablanmış avtoritar pedaqogika öz yerini mütləq şəkildə humanist, şagirdyönümlü və empatiya əsaslı yanaşmaya verməlidir. Pedaqoji mühit elə təşkil olunmalıdır ki, o, yalnız məlumatın ötürülməsinə deyil, həm də şagirdin daxili potensialının tam açılmasına xidmət etsin, onda oxumağa və öyrənməyə qarşı davamlı daxili motivasiya yaratsın. Mövzunun aktuallığını şərtləndirən digər bir real amil isə son illərdə məktəblərdə, hətta aşağı siniflərdə belə tez-tez müşahidə olunan davranış pozuntuları, hiperaktivlik, diqqət əskikliyi, məktəbə adaptasiya çətinlikləri və dərsə qarşı neqativ münasibətin artması tendensiyasıdır. Bütün bu neqativ halların qarşısını almaq üçün təlimin təkcə pedaqoji deyil, psixoloji qanunauyğunluqlarının elmi əsaslarla öyrənilməsi və tətbiqi qaçılmaz zərurətdir.

Təqdim olunan məqalənin əsas məqsədi ibtidai siniflərdə psixoloji-pedaqoji mühitin mahiyyətini, onun tərkib hissələrini dərindən təhlil etmək, bu mühitin şagirdlərin həm akademik nailiyyətlərinə, həm də şəxsi və sosial inkişafına birbaşa təsir mexanizmlərini öyrənmək, eləcə də effektiv, inkişafetdirici təhsil mühitinin formalaşdırılması üçün nəzəri və praktik yolları müəyyənləşdirməkdir. Bu məqsədə nail olmaq üçün ilk növbədə ibtidai təhsil yaş dövrünün spesifik psixoloji xüsusiyyətləri hərtərəfli araşdırılmalı, müəllim-şagird münasibətlərinin mühitin formalaşmasındakı həlledici rolu təhlil edilməli və mühitin optimallaşdırılması üçün pedaqogika və psixologiya elmlərinin müasir nailiyyətlərindən irəli gələn müddəalar sistemləşdirilməlidir.

ƏSAS HİSSƏ.

1.İbtidai təhsildə psixoloji-pedaqoji mühitin mahiyyəti və xüsusiyyətləri. İbtidai məktəb dövrü hər bir fərdin psixoloji və sosial inkişafında bünövrə rolunu oynayır. Bu dövrdə yaradılan mühit şagirdin gələcəkdə cəmiyyətə necə inteqrasiya edəcəyini, hansı dəyərlərə sahib olacağını və biliklərə hansı münasibət bəsləyəcəyini müəyyən edir. Psixoloji-pedaqoji mühit təkcə fiziki şəraiti, sinif otağının təchizatını deyil, ən əsası fərdlərarası münasibətlər sistemini, kommunikasiya üslubunu və emosional iqlimi özündə birləşdirən mürəkkəb konseptdir. Bu iqlim uşağın daxili aləminə və özünüdərk prosesinə bilavasitə nüfuz edir. Məşhur Azərbaycan psixoloqu Ə.Ə. Əlizadə məktəbdəki mühitin uşaq həyatındakı rolunu xüsusi qeyd edərək yazır: "İbtidai təhsil dövrü uşağın sosiallaşmasında və onun şəxsi mövqeyinin formalaşmasında həlledici mərhələdir. Bu mərhələdə məktəbin yaratdığı emosional fon uşağın özünəqiymətinin formalaşması üçün əsas meyar kimi çıxış edir" [1, s.45]. Müəllifin bu sözlərindən görünür ki, əgər mühit gərgin, cəzalandırıcı və ya həddindən artıq tələbkardırsa, şagirddə özünə inamsızlıq, qorxu və passivlik kimi mənfi xüsusiyyətlər baş qaldırır. Əksinə, dəstəkləyici mühit uşağın təşəbbüskarlığını və idrak fəallığını stimullaşdırır.

Pedaqoji proseslərin psixoloji əsaslarla vəhdətdə qurulması müasir təhsilin əsas prinsipidir. Bu o deməkdir ki, didaktik məqsədlərə çatmaq üçün seçilən yollar mütləq şəkildə uşağın psixoloji rahatlığını təmin etməlidir. İbtidai sinif şagirdləri hələ emosional olaraq tam yetkinləşmədikləri üçün onlar sinifdəki ab-havaya, xüsusən də müəllimin əhval-ruhiyyəsinə və onlara olan reaksiyalarına çox həssasdırlar.

2. Psixoloji mühitin idrak fəallığına və akademik nailiyyətlərə təsiri. Şagirdlərin dərsdə fəal iştirakı, materialı mənimsəmə səviyyəsi və öyrənməyə olan marağı birbaşa olaraq onların mənəvi rahatlığı ilə bağlıdır. Psixologiya elmində sübut olunmuşdur ki, qorxu, narahatlıq və stress şəraitində beynin koqnitiv (idrak) funksiyaları, o cümlədən yaddaş, diqqət və təfəkkür zəifləyir. İ.İ.İlyasov bu barədə olduqca dəqiq bir fikir irəli sürərək bildirir: "Şagirdlərin idrak fəallığı və yaradıcı potensialı yalnız onların özlərini təhlükəsiz hiss etdikləri, kəskin tənqiddən və səhv etməkdən qorxmadıqları şəraitdə tam şəkildə reallaşa bilər" [4, s. 56].

Şagird bilməlidir ki, məktəb səhvlərin edildiyi və bu səhvlərdən öyrənildiyi bir yerdir, cəza məkanı deyil. L.S.Vıqotski öz tədqiqatlarında inkişafın yaxın zonası anlayışını irəli sürərək, təlimlə inkişaf arasındakı əlaqəni xüsusi vurğulamışdır. O, təlimin inkişafdakı həlledici rolunu qeyd edərək yazır: "Təlim inkişafı qabaqlamalı və onu öz arxasınca aparmalıdır, lakin bu inkişafedici təsir yalnız uşağın fərdi xüsusiyyətlərinə hörmətlə yanaşılan, sağlam emosional mühitdə mümkündür" [2, s. 112]. Göründüyü kimi, Vıqotski də təlimin sadəcə mexaniki bilik ötürülməsi olmadığını, onun arxasında duran psixoloji atmosferin həlledici olduğunu ön

plana çəkir. Müsbət pedaqoji-psixoloji mühitdə uşaq dərsə böyük həvəslə gəlir, ev tapşırıqlarını məcburiyyət deyil, maraq xatirinə yerinə yetirir, müəllimə və yoldaşlarına sual verməkdən çəkinmir. Bütün bu amillər isə birbaşa olaraq şagirdin akademik müvəffəqiyyətlərinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır.

3. Müəllim-şagird münasibətləri psixoloji-pedaqoji mühitin əsas indikatoru kimi. İbtidai məktəbdə psixoloji mühitin ən vacib memarı, şübhəsiz ki, müəllimdir. Kiçik məktəb yaşlı uşaqlar üçün müəllim tək bilik mənbəyi deyil, eyni zamanda ideal, avtoritet və davranış etalonudur. Uşaq öz valideynlərinin sözündən çox, bəzən ilk müəlliminin sözünə inanır. Buna görə də müəllimin hər bir jesti, səs tonu, mimikası və şagirdlərə müraciət forması sinifdəki mühiti ya inkişaf etdirici, ya da dağıdıcı istiqamətə yönəldə bilər. L.İ.Bojoviç kiçik məktəblilərin şəxsiyyətinin inkişafını tədqiq edərkən haqlı olaraq bildirir: "Kiçik məktəblinin aparıcı fəaliyyəti təlim fəaliyyəti olsa da, bu mürəkkəb fəaliyyətin ilkin motivasiya əsası sırf olaraq onun müəllimlə qurduğu emosional rəğbət və inam üzərində qurulur" [5, s. 120]. Əgər şagird müəllimi sevmirsə, ondan qorxursa və ya müəllimin ona qarşı ədalətsiz olduğunu düşünürsə, onun təlimə qarşı da motivasiyası sıfra enir.

Müəllimin pedaqoji ustalığı təkcə onun metodikanı mükəmməl bilməsi ilə məhdudlaşmır; bu ustalıq həm də onun sinfi düzgün idarə edə bilməsi, hər bir şagirdin daxili dünyasına bələd olması və sinifdə sağlam münasibətlər sistemi formalaşdırması ilə ölçülür. Bu xüsusda L.N. Qasımova və R.M.Mahmudova öz əsərlərində müəllim amilinə toxunaraq qeyd edirlər: "Müəllimin pedaqoji ustalıq və empatiya səviyyəsi sinifdəki ümumi psixoloji iqlimin, əməkdaşlıq ruhunun əsas indikatorudur; gərgin və qeyri-sabit müəllim mütləq şəkildə eyni xarakteristikaya malik problemli sinif yaradacaqdır" [3, s. 78]. Bu səbəbdən, ibtidai sinif müəllimləri avtoritar üslubdan - əmr vermək, qışqırmaq, alçaldıcı tənqid etmək vərdişlərindən birdəfəlik imtina etməli, demokratik və fasilitator (istiqamətverici) üsluba üstünlük verməlidirlər. Şagirdləri bir-biri ilə müqayisə etmək, "yaxşı" və "pis" oxuyanlara ayırmaq sinif daxilində qısqanclıq, rəqabət və aqressiya doğuran ən zərərli pedaqoji səhvlərdəndir. Bunun əvəzinə hər bir şagirdin bugünkü nailiyyəti onun yalnız özünün dünənki nəticəsi ilə müqayisə edilməli və hər kiçik uğur stimullaşdırılmalıdır.

4. Sağlam mühitin yaradılmasında müasir strateji yanaşmalar. Günün reallığı sübut edir ki, psixoloji-pedaqoji mühitin mütərəqqi inkişafı üçün kompleks yanaşma tələb olunur. Birinci növbədə, dərs prosesi interaktiv və oyun texnologiyaları ilə zənginləşdirilməlidir. Oyun sadəcə əyləncə deyil, uşağın reallığı dərk etdiyi və stressdən azad olduğu təbii mühitdir. Dərs zamanı didaktik oyunlardan, qrup işlərindən və cütlərlə fəaliyyətlərdən istifadə etmək uşaqlar arasında kommunikasiyanı gücləndirir, onlara komanda şəklində işləməyi, başqasının fikrinə hörmətlə yanaşmağı öyrədir.

İkincisi, mühitin formalaşmasında valideynlərin də rolu danılmazdır. Məktəb və ailə arasında ziddiyyətlərin olması, müəllim və valideynin uşağa fərqli tələblər irəli sürməsi uşaqda psixoloji disonans (uyğunsuzluq) yaradır. Sağlam pedaqoji mühit məktəbin divarlarından kənara çıxmalı və ailədə də davam etdirilməlidir. Bu baxımdan, valideyn iclasları sadəcə qiymətlərin müzakirə olunduğu bir platforma olmamalı, valideynlərin psixoloji maarifləndirilməsinə xidmət edən məsləhət saatlarına çevrilməlidir. Eyni zamanda, məktəb psixoloqlarının fəaliyyəti formal xarakter daşımamalıdır. Psixoloq daima siniflərdə monitorinqlər aparmalı, uşaqların rəsm işləri, sosiometriya testləri vasitəsilə sinifdaxili görünməyən münaqişələri və qapalı uşaqların problemlərini üzə çıxarıb müəllimlə birlikdə korreksiya işləri aparmalıdır. Tədris mühitində inklüzivlik prinsipinin qorunması, hər bir şagirdin fərdi inkişaf tempinə hörmətlə yanaşılması müasir pedaqogikanın ən öndə gedən prioritetlərindəndir.

NƏTİCƏ.

Aparılan nəzəri təhlillər və mövzunun əhatəli araşdırılması əsasında belə bir ümumiləşdirilmiş nəticəyə gəlmək mümkündür ki, ibtidai təhsildə psixoloji-pedaqoji mühit sadəcə tədris prosesini müşayiət edən fon və ya ikinci dərəcəli amil deyil; o, uşağın intellektual inkişafını, şəxsiyyət kimi formalaşmasını və sosiallaşmasını müəyyən edən başlıca hərəkətverici qüvvədir, təlimin əsas alətidir. Uşaqların psixikasının son dərəcə həssas və kövrək olduğu ibtidai yaş dövründə məktəb onların ikinci evinə çevrilməli, oradakı ab-hava isə inam, dəstək və hörmət prinsipləri üzərində qurulmalıdır.

Tədqiqat göstərir ki, təlim nailiyyətlərinin yüksək olması heç də hər zaman effektiv təhsilin göstəricisi deyil. Əgər bu akademik göstəricilər şagirdin qorxusu, stressi və psixoloji gərginliyi hesabına əldə edilirsə, gələcəkdə həmin fərd cəmiyyət üçün inamlı və xoşbəxt vətəndaş ola bilməyəcək. Sağlam mühitdə isə şagird özünüifadə azadlığı qazanır, daxili potensialını maksimum şəkildə reallaşdırır və ən əsası, öyrənmək onun üçün əziyyətli bir vəzifə olmaqdan çıxaraq zövqlü bir kəşf prosesinə çevrilir.

Bu ideal mühitin yaradılmasında ən böyük yük və məsuliyyət ibtidai sinif müəlliminin çiyinlərinə düşür. Müəllimin pedaqoji taktı, mənəvi keyfiyyətləri, şagirdlərə fərdi yanaşma bacarığı sinfin əhval-ruhiyyəsini diktə edir. Eyni zamanda, məqalədə vurğulandığı kimi, müəllim, valideyn və məktəb psixoloqu triadasının birgə əməkdaşlığı olmadan mükəmməl pedaqoji mühit yaratmaq qeyri-mümkündür. Təhsil idarəediciləri və məktəb rəhbərlikləri mütəmadi olaraq siniflərdəki psixoloji iqlimin monitorinqini həyata keçirməli, müəllimlərin bu istiqamətdə peşəkarlığının artırılması üçün təlimlər təşkil etməlidirlər. Yekun olaraq qeyd edilməlidir ki,

keyfiyyətli təhsil ilk növbədə sağlam psixologiyadan başlayır; cəmiyyətin gələcək təməlinin sağlamlığı məhz bu gün sinif otaqlarında yaradılan isti, empatik və pedaqoji cəhətdən əsaslandırılmış mühitlə sıx bağlıdır.

Ədəbiyyat siyahısı

1.Əlizadə, Ə. Ə. (2004). *Müasir Azərbaycan məktəbinin psixoloji problemləri*. Bakı: "Pedaqogika" nəşriyyatı.

2.Vıqotski, L. S. (2001). *Uşaq psixologiyası və təlim*. (Tərcümə edəni: M. Cəfərov). Bakı: "Maarif".

3.Qasımova, L. N., & Mahmudova, R. M. (2012). *Pedaqogika*. Bakı: "Təhsil" nəşriyyatı.

4.İlyasov, İ. İ. (2015). *İbtidai təhsilin pedaqogikası*. Bakı: "Mütərcim".

5.Bojoviç, L. İ. (2008). *Uşaqlıq dövründə şəxsiyyət və onun formalaşması*. Bakı: "Elm və təhsil" nəşriyyatı.

İLKOKUL ÖĞRENCİLERİNDE İNCE MOTOR AKTİVİTE VE SENSO-MOTOR HAFIZANIN AKADEMİK BAŞARIYA VE ZİHİNSEL TEMSİLLERE ETKİSİ

Tarana AKBARI

Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Şamahı Şubesi

Biyoloji alanında Felsefe Doktoru, Baş Öğretim Görevlisi

Eposta: akbarietmp@gmail.com

Özet

Erken ilkokul çağı (6-10 yaş), çocukların okuma-yazma, grafik-motor beceriler ve temel matematiksel kavramları edindiği kritik bir pedagojik ve nöro-psikolojik dönemdir. Bu süreçte beyin kabuğunun motor korteks alanı ile somatosensör korteks arasındaki sinaptik bağlar hızla olgunlaşmakta, ince motor becerilerin niteliği doğrudan senso-motor hafızanın şekillenmesini belirlemektedir. K. Anders Ericsson ve Robert Pool tarafından geliştirilen "Amacına Yönelik Pratik" (Deliberate Practice) ve "Zihinsel Temsil" (Mental Representation) kuramı, fiziksel ve zihinsel becerilerin tesadüfi tekrarlarla değil, hedefe yönelik ve yapılandırılmış pratiklerle nöronal seviyede kodlandığını savunmaktadır. Bu çalışma, ilkokul öğrencilerinde ince motor aktivitelerin (grafik-motor egzersizler, elle nesne manipülasyonu, araç-gereç kullanımı) senso-motor hafıza izleri (engram) ve zihinsel temsiller üzerindeki etkisini nöro-fizyolojik ve pedagojik boyutlarıyla analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın teorik-metodolojik temelini; A. R. Luria'nın beynin hiyerarşik blokları kuramı, miyelinizasyon süreçleri ve sensorimotor entegrasyon ilkeleri oluşturmaktadır. Teorik ve nöro-psikolojik analizler göstermektedir ki, ders sürecinde ince motor aktivitelerin Amacına Yönelik Pratik ilkelerine göre yapılandırılması, öğrencilerin senso-motor hafıza kapasitesini, harf-sembol algısını ve odaklanmış dikkat sürelerini önemli ölçüde geliştirmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, ilkokul öğretmenleri için nöro-pedagojik öğretim stratejileri ve motorik odaklı ders materyalleri önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: İlkokul eğitimi, ince motor beceriler, senso-motor hafıza, amacına yönelik pratik, zihinsel temsil, motor korteks, miyelinizasyon.

THE EFFECT OF FINE-MOTOR ACTIVITY AND SENSO-MOTOR MEMORY ON ACADEMIC ACHIEVEMENT AND MENTAL REPRESENTATIONS IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS

Abstract

The early primary school age (ages 6–10) represents a critical pedagogical and neuro-psychological transition during which children acquire foundational literacy, graphic-motor skills, and basic mathematical concepts. During this stage, synaptic connections between the motor cortex and the somatosensory cortex undergo rapid maturation, and the quality of fine motor skills directly dictates the formation of senso-motor memory. The framework of "Deliberate Practice" and "Mental Representation," introduced by K. Anders Ericsson and Robert Pool, posits that physical and cognitive skills are encoded at the neuronal level not through passive repetitions, but through goal-oriented, structured training. This study aims to theoretically analyze the impact of fine motor activities (graphic-motor exercises, tactile object manipulation, instructional tool usage) on senso-motor memory traces (engrams) and mental representations in primary school students. The theoretical-methodological foundation relies on A. R. Luria's functional brain block theory, myelination mechanisms, and sensorimotor integration principles. Theoretical synthesis reveals that structuring fine motor activities according to deliberate practice principles significantly enhances students' senso-motor memory capacity, symbol recognition, and sustained attention. Based on these insights, neuro-pedagogical instructional strategies and motor-oriented classroom activities for primary educators are proposed.

Keywords: Primary education, fine motor skills, senso-motor memory, deliberate practice, mental representation, motor cortex, myelination.

1. GİRİŞ

İlkokul çağının başlangıcı, çocuğun zihinsel ve fiziksel gelişiminde köklü bir dönüm noktasıdır. Oyun faaliyetinden sistemli öğrenme faaliyetine geçiş yapan 6-10 yaş grubu çocuklarda, ince motorik hassasiyet ve parmak kaslarının küçük ölçekli koordinasyonu, okuma-yazma öğrenimi ve akademik başarının temel ön şartıdır. İnce motorik felsefe ve pratik yalnızca el kaslarının mekanik hareketiyle sınırlı kalmayıp, beynin motor ve duyusal merkezlerinin senkronize çalışmasını gerektiren karmaşık bir nörofizyolojik süreçtir.

A. R. Luria'nın (1973) beynin fonksiyonel blokları kuramında belirttiği üzere, kinestetik algı ve motor hareketlerin düzenlenmesi, beynin parietal ve frontal korteks alanlarının sıkı entegrasyonuna dayanır. El parmaklarından gelen yoğun duyusal girdiler (taktil ve propriyoseptif), beyin kabuğunda geniş bir temsil alanına (Somatosensör Homunkulus) sahiptir. Bu nedenle, el ve parmak hareketlerinin hassaslaşması, doğrudan zihinsel süreçlerin ve bellek mekanizmalarının aktivasyonunu tetikler.

Son yıllarda psikofizyoloji ve uzmanlık alanında öne çıkan K. Anders Ericsson ve Robert Pool'un (2016) "Peak: Secrets from the New Science of Expertise" adlı çalışmasında geliştirilen "Amacına Yönelik Pratik" (Deliberate Practice) modeli, motor becerilerin ve zihinsel temsillerin (mental representations) gelişiminde temel bir parametre olarak kabul edilmektedir. Kurama göre, sıradan veya otomatik tekrarlar (naïve practice) beyinde kalıcı ve gelişkin nöronal yapılar oluşturmazken; hedefe yönlendirilmiş, odaklanmış ve geribildirim içeren pratikler beyin kabuğunda miyelinizasyon süreçlerini hızlandırmakta ve yüksek nitelikli zihinsel temsiller şekillendirmektedir.

İlkokul çağındaki öğrencilerin senso-motor hafıza süreçleri, fiziksel bir eylemin ve nesneyle temasın beyin kabuğunda nöronal bir iz (engram) bırakması esasına dayanır. Çocuğun kalemi tutuşu, harflerin formunu çizmesi, makasla kağıt kesmesi veya sayma çubuklarını manipüle etmesi sırasında senso-motor hafıza aktif olarak rol oynar. Bu bağlamda, ince motor aktivitelerin sınıfta Amacına Yönelik Pratik ilkelerine göre kurgulanması, ilkokul öğrencilerinin hem grafik-motor gelişimini hem de akademik konulara dair zihinsel modellerini derinleştirmektedir.

1.1. Kuramsal Çerçeve ve Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın kuramsal zeminini, Ericsson ve Pool'un (2016) Amacına Yönelik Pratik İlkeleri ve Zihinsel Temsil Kuramı, Luria'nın (1973) Nöro-Psikolojik Analiz Modeli ve Zull'un (2002) Öğrenmenin Biyolojisi Yaklaşımı oluşturmaktadır.

Araştırmanın temel amacı; ilkokul öğrencilerinde ince motor faaliyetlerin senso-motor hafıza üzerindeki etkisini Amacına Yönelik Pratik kuramı çerçevesinde teorik olarak analiz etmek, motorik koordinasyon ile zihinsel temsil süreçleri arasındaki nöro-fizyolojik bağları açıklamak ve ilkokul öğretmenleri için pedagojik uygulama stratejileri geliştirmektir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, nitel araştırma yöntemlerinden doküman analizi, kavramsal sentez ve psikofizyolojik-pedagojik modelleme yaklaşımları kullanılmıştır. Araştırma kapsamında, ilkokul çağındaki çocukların motor korteks gelişimi, senso-motor bellek mekanizmaları, miyelinizasyon ve Ericsson'un uzmanlık kuramı üzerine odaklanan ulusal ve uluslararası literatür (Ericsson & Pool, 2016; Galea et al., 2011; Luria, 1973; Oakley & Schewe, 2021; Zull, 2002) detaylı bir incelemeye tabi tutulmuştur.

İncelenen teorik ve nöro-psikolojik veriler, ilkokul öğretim programlarındaki ince motor odaklı etkinliklerle (yazı yazma, çizim, el sanatları, materyal kullanımı) karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve bütüncül bir nöro-pedagojik çerçeve oluşturulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan teorik-nöro-psikolojik analizler sonucunda elde edilen bulgular üç temel eksende sınıflandırılmıştır:

3.1. Senso-Motor Hafızanın Nörofizyolojik Temelleri ve Miyelinizasyon

Senso-motor hafıza, duyusal organlardan (görme, dokunma, propriyosepsiyon) gelen verilerin motor hareketlerle birleşerek beyin kabuğunda saklanması sürecidir. İlkokul öğrencisi bir harfi yazarken veya bir nesneyi şekillendirirken yalnızca motor korteks değil, aynı zamanda serebellum ve somatosensör korteks eş zamanlı çalışır (Galea et al., 2011).

- **Miyelinizasyonun Rolü:** Çocuk ince motorik bir hareketi Amacına Yönelik Pratik ilkeleri uyarınca yüksek odaklanma ile tekrarladığında, söz konusu nöronal hattı kaplayan miyelin tabakası kalınlaşır. Miyelin kılıfının kalınlaşması, elektrik sinyallerinin iletim hızını 100 katına kadar çıkarır. Bu durum, hareketin otomatizasyona girmesini ve senso-motor hafızanın kalıcı hale gelmesini sağlar.
- **Taktil ve Propriyoseptif Geri Bildirim:** Nesneyle kurulan temas sırasında parmak uçlarındaki Meissner ve Merkel reseptörlerinden gelen uyarılar, somatosensör kortekse ulaşarak nesnenin ağırlığı, dokusu ve formu hakkında duyusal bellek izi oluşturur.

3.2. Amacına Yönelik Pratik (Deliberate Practice) İlkelerinin İnce Motorik Süreçlere Uyarlanması

Ericsson ve Pool (2016) tarafından tanımlanan ilkeler, ilkokulda ince motor faaliyetlerin ve senso-motor hafızanın gelişiminde şu şekilde modellenmektedir:

- **Konfor Alanının Bilinçli Olarak Genişletilmesi:** Öğrenciye zaten rahatlıkla yapabildiği çizim ve kesme egzersizleri yerine, koordinasyon hassasiyeti biraz daha yüksek görevler verilir (örneğin; baskı kuvvetini ayarlayarak ince hatlar çizme).
- **Spesifik ve Mikro-Motorik Hedefler:** "Güzel yaz" genel direktifi yerine, "Kalemi tutarken işaret parmağının eklem açısını koru ve çizgi sınırını aşma" şeklinde somut hedef tanımlaması yapılır.
- **Anında Duyusal ve Nöro-Pedagojik Geri Bildirim:** Öğrenci hareketin yanlışlığını materyalin direnci veya görsel iz aracılığıyla anında hisseder. Öğretmen, hareketin kinestetik yapısını düzelten anlık yönlendirmeler sağlar.
- **Zihinsel Temsillerin (Mental Representations) İnşası:** Doğru motorik tekrarlar, çocuğun zihninde harfin veya şeklin yalnızca görsel görünüşünü değil, onu oluşturmak için gereken el kas tonusunun ve hareket yönünün bütüncül imgəsini oluşturur.

3.3. Senso-Motor Hafızanın Akademik Başarı ve Dikkat Süreçlerine Etkisi

İlkokul döneminde ince motorik gelişim ile dikkatin sürdürülmesi ve bilişsel kontrol (executive functions) arasında doğrudan bir bağ bulunmaktadır (Luria, 1973).

- **İnce Motorik Hassasiyet ve Yazı Okuryazarlığı:** Grafik-motor egzersizler esnasında kas tonusunun kontrol edilmesi, prefrontal korteksteki ketleme (inhibition) mekanizmalarını çalıştırır. İnce motor koordinasyonu güçlü olan öğrencilerin harf ve rakam sembollerini senso-motor hafızadan çağırma hızı yüksek olduğundan, bilişsel yükleri (cognitive load) azalır ve tüm zihinsel enerjilerini metnin anlamını kavramaya yöneltebilirler.
- **Nesnel Manipülasyon ve Matematiksel Zihinsel Temsiller:** Matematiksel kavramların (sayı algısı, parçalanma, geometrik formlar) öğrenilmesinde ince motorik materyal kullanımı (sayma pulları, bloklar, lego parçaları) hayati önem taşır. Dokunarak ve hareket ettirerek öğrenilen soyut kavramlar, senso-motor hafızada somut zihinsel temsil kalıplarına dönüşür.

Tablo 1. İlkokulda sıradan motor tekrar ile amacına yönelik ince motor pratiğin karşılaştırılması

Parametreler	**Sıradan motor tekrar (naïve practice)**	**Amacına yönelik ince motor pratik (deliberate practice)**
Faaliyetin odağı	Bilinçsiz, mekanik sayfa doldurma veya çizim	Kas tonusuna ve hassas harekete odaklanmış mikro-hedefler
Geri bildirim yapısı	Çalışma sonunda verilen genel not veya övgü	Anlık kinestetik ve pedagojik müdahale/düzeltme
Nöronal etki	Zayıf sinaptik bağlar, yüzeysel bellek izi	Kalınlaşmış miyelin kılıfı, güçlü nöronal engram
Zihinsel temsil	Sadece görsel veya şematik imge	Duyusal-motor bütünleşmiş derin zihinsel model
Bilişsel katkı	El yorulması ve hızlı dikkat dağılması	Yüksek odaklanma, gelişmiş ketleme ve akademik özgüven

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

İlkokul öğrencilerinde ince motorik faaliyet ve senso-motor hafıza gelişimi, çocuğun bilişsel ve akademik gelişiminin temeltaşı niteliğindedir. Ericsson'un Amacına Yönelik Pratik ilkelerinin bu sürece uygulanması, motorik öğrenmenin tesadüfi olmaktan çıkarılıp bilimsel ve nöro-pedagojik bir zemine oturtulmasını sağlamaktadır.

Teorik analizlerden elde edilen temel sonuçlar şunlardır:

- **Senso-Motor Hafıza Bilişsel Yükü Azaltır:** İnce motor aktiviteler sayesinde senso-motor hafızada sağlam engramlar oluştuğunda, okuma-yazma ve çizim süreçleri otomatikleşmekte, böylece öğrencinin prefrontal korteksi üst düzey düşünme becerileri için serbest kalmaktadır.
- **Miyelinizasyon Yapılandırılmış Pratikle Hızlanır:** Odaklanmış ve hedefe yönelik ince motorik egzersizler, motor korteksteki nöronal iletim hızını ve sinaptik plastisiteyi doğrudan artırmaktadır.
- **Zihinsel Temsiller Somut Deneyimle Derinleşir:** Dokunma ve ince motorik manipülasyon, soyut zihinsel kavramların kalıcı zihinsel modellere dönüştürülmesini desteklemektedir.

İlkokul Eğitimi İçin Uygulamalı Pedagojik Öneriler:

1. **Ders Içi Ince Motorik Isınma Rutinleri:** Okuma-yazma ve matematik derslerinin başında 3-5 dakikalık parmak egzersizleri, parmak bağımsızlaştırma çalışmaları ve propriyoseptif duyusal oyunlar uygulanmalıdır.
2. **Derecelendirilmiş Grafik-Motor Çalışmaları:** Yazı öğretiminde doğrudan harf yazımı yerine, kas tonusunu ayarlayan, basınç kontrolü sağlayan kademeli grafik-motor çizgiler ve Amacına Yönelik Pratik hedefleri belirlenmelidir.
3. **Çoklu Duyusal Materyal Kullanımı:** Matematik ve hayat bilgisi derslerinde öğrencilerin ince motorik olarak manipüle edebileceği doğal ve yapay somut materyallere (kil, ahşap bloklar, tohumlar, geometrik parçalar) geniş yer verilmelidir.

KAYNAKLAR

Ericsson, K. A., & Pool, R. (2016). *Peak: Secrets from the new science of expertise*. Houghton Mifflin Harcourt.

Galea, J. M., Vazquez, A., Pasricha, N., de Xivry, J. J. O., & Celnik, P. (2011). Dissociating the roles of cerebellar and striatal motor networks after human motor learning. *The Journal of Neuroscience*, 31(32), 11588-11597.

Luria, A. R. (1973). *The working brain: An introduction to neuropsychology*. Penguin Books.

Oakley, B., & Schewe, O. (2021). *Learn like a pro: Science-based tools to become better at anything*. St. Martin's Essentials.

Zull, J. E. (2002). *The Art of changing the brain: Enriching the practice of teaching by exploring the biology of learning*. Stylus Publishing.

NİZAMİ GƏNCƏVİNİN “SİRLƏR XƏZİNƏSİ” POEMASINDA XI SÖHBƏT: “DÜNYANIN VƏFASIZLIĞI”

Ulduz Fərhad Qəhrəmanova, filologiya üzrə fəlsəfə doktoru,

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, “Ədəbiyyat” kafedrasında dosent

ulduzkahraman1@gmail.com,

Orcid İD: 0009-0003-4418-9319

Abstrakt:

Nizami Gəncəvinin “Sirlər xəzinəsi” poemasında XI söhbət belə adlanır: “Dünyanın vəfasızlığı”. Şair Nizami poemanın bu məqalətində vəfasız dünyanı nərdtaxtasına bənzədir və deyir ki, fələk ömür bitənə qədər İnsanoğlunun üzünə vüsal qapısını açmır. Misralarla tanış olduqca məlum olur ki, Şair Nizami İnsanoğluna bir sıra tövsiyələr verir. Belə ki, İnsanoğlu özünə arxada pislik, fənalıq evi açmamalıdır. Pislik-fənalıq evi mübahisəli, qalmaqallı olar, qilü-qallı (dedi-qodulu) olar. Qilü qal (dedi-qodu) içində də bəxtiyarlıq, xoşbəxtlik tapa bilməzsən. Dünya sənin uşağın deyil ki, sən onu ikiəlli əzəldən qucaqlayasan. İnsanoğlunun son mənzili ölümdür. İnsanoğlu atəşlə oynamamalıdır. Cənnətini cəhənnəmə qurban verməməlidir. Dünya İnsanoğlunun məhşəridir, insanların haqq dünyasındakı hesabat verdiyi yerdir. İnsanoğlunun varlığı da hamı kimi bir gün külə dönər, yoxa çıxar. İnsanoğlu torpaqdan yaranıb, torpağa da dönməlidir:

Açar sözlər: Nizami Gəncəvi, fani dünya, İnsanoğlu, hindli qoca, haqq dünyası

Nizami Gəncəvinin “Sirlər xəzinəsi” poemasında XI söhbət belə adlanır: “Dünyanın vəfasızlığı”. Şair Nizami poemanın bu məqalətində vəfasız dünyanı nərdtaxtasına bənzədir və deyir ki, fələk ömür bitənə qədər İnsanoğlunun üzünə vüsal qapısını açmır. Şairə görə, dalğalı dəryaya (dənizə) girmək nəyə gərəkdir. Dalğalı dəryada fırtına başdan aşıb. İnsanoğlu mal-mülkünü dəryaya (dənizə) tapşırmalıdır.

Poemanın misralarında şair Nizami iki quşun məskənini özü belə tərənnüm edir: Laçın və sonanın. Sonaya (çöl ördəyi) görə, səhra qoynu gözəldir. Laçına görə (şahin quşu cinsindən olan yırtıcı quşdur) dərya qoynu (dəniz qoynu) gözəldir. Laçın güclü, cəsur insanın simvolik ifadəsidir. Sona zərifliyin, gözəlliyin simvolik ifadəsidir. Şair İnsanoğluna məsləhət verərək deyir ki, sanma ki, doğruluq cahana hökm edib. Cahana fitnə-fəsad, oğruluq hökm edibdir:

“Sanma daim doğruluq hökm eləyib cahana,

Fitnə-fəsad, oğruluq hökm eləyib cahana” (5, s.97)

Misralarla tanış olduqca məlum olur ki, Şair Nizami İnsanoğluna bir sıra tövsiyələr verir. Belə ki, İnsanoğlu özünə arxada pislik, fənalıq evi açmamalıdır. Pislik-fənalıq evi mübahisəli, qalmaqallı olar, qilü-qallı (dedi-qodulu) olar. Qilü qal (dedi-qodu) içində də bəxtiyarlıq, xoşbəxtlik tapa bilməzsən. Dünya sənin uşağın deyil ki, sən onu ikiəlli əzəldən qucaqlayasan. İnsanoğlunun son mənzili ölümdür. İnsanoğlu atəşlə oynamamalıdır. Cənnətini cəhənnəmə qurban verməməlidir.

Dünya İnsanoğlunun məhşəridir, insanların haqq dünyasındakı hesabat verdiyi yerdir. İnsanoğlunun varlığı da hamı kimi bir gün külə dönər, yoxa çıxar. İnsanoğlu torpaqdan yaranıb, torpağa da dönməlidir:

“Yaranmısan torpaqdan, dönməlisən torpağa,

Dönmə yerin başına, enməlisən torpağa” (5, s.98)

İnsanoğlu heç kimi, heç nəyi əzməməlidir, tapdalamamalıdır. Onsuzda torpaq özü əzənləri əzibdir:

“Ayaqlayıb əzmə sən gəzənləri torpaqda,

Torpaq özü əzibdir əzənləri torpaqda” (5, s.98)

Bu dünyadan heç kəs can aparmayıb. Dünya başdan-başa tikandır, sən tikan üstə gəzmə ki, tikan sənə batmasın.

Hətta poemaya aid olan “Müdrik möbidin hekayəti” adlı bölmədə şair Nizami qoca hindli obrazı timsalında yaradanını dərk edən, tanıyan, bununla özünü tanıyan, sirlərə vaqif olan, ülvi eşqin yolunu tutub, öz əslini dərk edən bir obraz yaratmışdır. Şair müsəlmana müraciət edərək deyir ki, öyünmə ki, sən atəşpərəst deyilsən.

“Ey müsəlman, öyünmə, atəşpərəst deyilsən,

Bir günəşin eşqindən zərrəcə məst deyilsən

Kaş ki, hindli möbidtək dərk edəsən dünyanı,

Bu dünyaya uymadan tərk edəsən dünyanı”. (5, s.99)

Göründüyü kimi, kaş ki, sən də müsəlman hindli möbid tək dünyanı dərk edəsən, bu dünyaya uymadan fani dünyanı tərk edəsən.

Ədəbiyyat:

1. Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi. 1 c. Bakı, Elm, 1960.

2. Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi. VI cilddə, 2 c., Bakı, Elm, 2007

3. Ə.Səfərli, X.Yusifov. Qədim və orta əsrlər Azərbaycan ədəbiyyatı. Bakı, Maarif, 1982, 1998

4. Əlibəyzadə E. Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi. Ən qədim dövrlər. Bakı, Qarabağ, 2009

5. Nizami Gəncəvi, “Sirlər xəzinəsi”, Çaşıoğlu, 2004, 167 s.

ELMİN VƏ TƏHSİL SAHƏSİNİN İNKİŞAFINDA QADINLARIN ROLU

Sahilə İbrahimova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti,

Müasir Azərbaycan dili kafedrasının dosenti, f.ü.f.d

e-mail: sahila.ibrahimova@yahoo.com

ORCID ID: 0009-0008-6960-524x

Xülasə.

Zaman keçdikcə qadınların elmdə, təhsildə və mənəviyyat sahəsindəki rolu əhəmiyyətli dərəcədə təkamül etsə də, gender əsaslı problemlər hələ də qalmaqdadır. Qadınlar onların intellektual, elmi və mənəvi sahələrdə tam iştirakına mane olan bir çox çətinliklərlə daim qarşılaşırlar. Qadınların mühüm nailiyyətlər qazanmasına baxmayaraq, gender qərəzliliyi, sosial normalar, təhsilə çıxışın məhdudluğu və rəhbər vəzifələrdə kifayət qədər təmsil olunmamaq əsas maneələr kimi qalmaqdadır. Cəmiyyət qadınların həyatın bütün sahələrində uğur qazanmasına imkan verən inklüziv və ədalətli mühit yaratmaqla bu çətinliklərin öhdəsindən gələ bilər.

Zaman keçdikcə qadınların elmdə, təhsildə və mənəviyyat sahəsindəki rolu əhəmiyyətli dərəcədə təkamül etsə də, gender əsaslı çətinliklər hələ də qalmaqdadır və onlar intellektual, elmi, eləcə də mənəvi sahələrdə tam iştiraklarına mane olan sistemli problemlərlə qarşılaşmaqda davam edirlər. Qadınların mühüm nailiyyətlər qazanmasına baxmayaraq, gender qərəzliliyi, sosial normalar, təhsilə çıxışın məhdudluğu və rəhbər vəzifələrdə kifayət qədər təmsil olunmamaq əsas maneələr kimi qalmaqdadır.

Cəmiyyət məqsədyönlü tədbirlər vasitəsilə bu çətinlikləri aradan qaldırmaqla, qadınların elmdə, təhsildə və mənəviyyat sahəsində uğur qazanmasına imkan verən inklüziv və ədalətli mühit yarada bilər. Qadınların bu sahələrdə səlahiyyətləndirilməsi və potensialının gücləndirilməsi (empowerment) sadəcə ədalət məsələsi deyil, həm də qlobal tərəqqi və innovasiyalar üçün bir zərurətdir. Qadınların cəmiyyətin imkanlarının genişləndirilməsinə və inkişafına verdiyi töhfə mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Davamlı tərəqqi qadınların mövcud maneələri dəf edə bilməsi üçün ailələrin və cəmiyyətlərin dəstəyini tələb edir. Qadınların elmdə və digər sahələrdə təhsil almasının və ştirakının təşviq edilməsi hamı üçün daha dayanıqlı və inklüziv gələcəyi təmin edəcəkdir

Açar sözlər: təhsil, liderlik, elm, cəmiyyət, mənəvi.

ROLE OF WOMEN İN THE DEVELOPMENT OF SCİENCE AND EDUCATİONAL SPHERE

Sahila Ibrahimova

Azerbaijan State Pedagogical University

Associate Professor in the Department of Modern Azerbaijani Language, Ph.D

e-mail: sahila.ibrahimova@yahoo.com

ORCID ID: 0009-0008-6960-524x

Abstract

Women's role in science, education, and spirituality has evolved significantly over time, although gender-based challenges persist. Women face continuously many challenges that hinder their full participation in intellectual, scientific, and spiritual domains. Though women achieved significant achievements, gender biases, social norms, limited access to education, and underrepresentation in leadership positions persist as major barriers. The challenges can be overcome by the society through creating an inclusive and equitable environment that enables women to thrive in all walks of life.

The role of women in science, education, and spirituality has evolved significantly over time, although gender-based challenges persist, and they continue to face systemic challenges that hinder their full participation in intellectual, scientific, and spiritual domains. Despite significant achievements by women, gender biases, social norms, limited access to education, and underrepresentation in leadership positions persist as major barriers.

By addressing these challenges through targeted interventions, society can create an inclusive and equitable environment that enables women to thrive in science, education, and spirituality. Empowering women in these domains is not just a matter of justice but a necessity for global progress and innovation. The contribution of women to societal advancement is crucial. Continued progress requires support from families and societies to empower women to overcome barriers. Promoting the education and participation of women in science and other fields will ensure a more sustainable and inclusive future for all.

Keywords: *education, leadership, science, society, spiritual.*

QƏTRAN TƏBRİZİ YARADICILIĞINDAN

Gunel Peniyeva

gunelpeniyeva@mail.ru

Yədi-beyzası Musanın bu bürhandan qalar heyran,

Bu möcüzlə qılar aciz nəfəs çəkməkdə İsanı.

******

Əlində möcüzü var Məryəm oğlu İsanın,

Qılıncı, möcüzəsi eyni - Musayi-Imran!

Bu beytlərin əsas özəlliyi odur ki, iki müxtəlif dini ənənənin peyğəmbərləri — Musa və İsa — eyni dəyər müstəvisində qoyulur, hər ikisi insanlığa xeyir gətirən ilahi elçilər kimi təqdim olunur. Müəllif heç bir dini başqasından üstün tutmur, əksinə onların ortaq mənəvi xəttini göstərir.Bu, multikultural dəyərlərin mərkəzi prinsipləridir. Beləki burada fərqli dinlər, peyğəmbərlər və mədəniyyətlər arasında qarşılıqlı hörmət, birliyə çağırış və ortaq ədəbi-estetik dəyərlərin vurğulanması özünü göstərir.

2. Musa və İsa obrazlarının yanaşı işlədilməsi

a) Musa peyğəmbərin möcüzəsi – Yədi-beyza

“Yədi-beyza” – Musa peyğəmbərin ən məşhur möcüzələrindən biridir. Qolunu sinəsinə qoyub çıxardanda əlindən nur saçması kimi təsvir olunur.

b) İsa peyğəmbərin möcüzələri

İsa peyğəmbərin möcüzəsi isə ölü diriltmək, xəstələri sağaltmaq, nəfəsini verib cansızlara can verməkdir.

c) Eyni poetik məkanda iki möcüzənin birləşdirilməsi

Şair bu iki möcüzəni müqayisə edir və sanki deyir:

- Musa da, İsa da ilahi nurun təcəllasıdır.
- Hər iki möcüzə insanı heyrətə gətirəcək qədər qüdrətlidir.
- Allahın müxtəlif xalqlara və dövrlərə göndərdiyi elçilərin hamısı eyni həqiqəti təmsil edir.

Bu, dinin müxtəlif qollarını birləşdirən humanist baxışdır, yəni multikultural dəyərlərin poetik təcəssümüdür.

3. Dinlərarası tolerantlıq tərənnümü

Beytlərdə heç bir dini ayırmaq, birinin digərindən üstünlüyünü göstərmək yoxdur. Əksinə, Musa və İsa:

- birinin ruhani qüdrəti digərini tamamlayır,
- onların hər ikisi insanlığa xidmət edir,

- hər ikisi ilahi xeyirxahlığın daşıyıcısı kimi təqdim olunur.

Bu yanaşma Azərbaycan ədəbi mühitinə uyğun universal humanizmdir:

- İslamın içində Musa və İsanın qəbul edilməsi (Quranda hər iki peyğəmbərin adı çəkilir),
- Xristian və yəhudi dini ənənələrinə hörmət,
- mədəni müxtəlifliyin qəbul edilməsi,
- dinlərarası harmoniyanın vurğulanması.

4. Möcüzələrin "qılınc" ilə eyniləşdirilməsi

İkinci beytdə deyilir:

"Qılıncı, möcüzəsi eyni – Musayi-İmran!"

Burada qılınc fiziki güc deyil, haqqın və ədalətin qılıncıdır. Yəni:

- Musa da, İsa da haqq naminə mübarizə aparırlar.
- Onların silahı zorakılıq deyil, mənəvi güc və möcüzədir.

WAYS OF WRITING AN ACADEMIC ESSAY

Azerbaijan-Baku, Gunel Shefiyeva

Orcid id: 0000-0001-5105-2749

agakishiyeva.g@mail.ru

Azerbaijan State Pedagogical University, Faculty of Philology, Foreign Languages Center

KEY WORDS: Academic writing, academic essay, thesis statement, paragraph structure.

Academic writing plays a significant role in the educational process. Students are frequently required to write essays in order to demonstrate their understanding of a particular topic and their ability to analyze and evaluate information. An academic essay is a formal piece of writing that presents a clear argument or perspective supported by logical reasoning and relevant evidence.

Writing a successful academic essay can be challenging, especially for students who are learning to organize their ideas and use an appropriate academic style. However, following several important stages can make the writing process more effective. These stages include understanding the task, conducting research, planning the essay, writing a strong introduction, developing body paragraphs, and revising the completed work.

Understanding the Essay Topic

The first step in academic essay writing is to understand the topic and the instructions carefully. Students should identify the key words in the question and determine what type of response is required. For example, words such as *discuss*, *analyze*, *compare*, *evaluate*, and *justify* require different approaches.

A clear understanding of the topic helps writers avoid irrelevant information and maintain focus throughout the essay. Before beginning the writing process, students should ask themselves what the main purpose of the essay is and what argument or position they want to present.

Planning and Organizing Ideas

Planning is an important stage of academic writing. Before writing the first draft, students should organize their main ideas and decide how these ideas will be presented. Creating an outline can help writers develop a logical structure.

A typical academic essay consists of three main parts:

1. **Introduction** – presents the topic and the main argument.
2. **Body paragraphs** – explain and support the main argument.
3. **Conclusion** – summarizes the key points and restates the overall position.

Planning helps writers maintain a clear connection between paragraphs and prevents repetition or unnecessary information.

Developing a Clear Thesis Statement

The thesis statement is one of the most important elements of an academic essay. It presents the main idea or central argument of the paper. Usually, it appears at the end of the introduction.

An effective thesis statement should be clear, specific, and focused. For example:

Effective academic essay writing requires careful planning, logical organization, and the use of reliable evidence.

This statement provides a clear direction for the essay and informs readers about the main points that will be discussed.

Writing Effective Body Paragraphs

Each body paragraph should focus on one main idea that supports the thesis statement. A useful method for organizing paragraphs is the **PEEL structure**:

- **P – Point:** Present the main idea.
- **E – Evidence:** Provide examples, facts, or research.
- **E – Explanation:** Explain how the evidence supports the argument.
- **L – Link:** Connect the paragraph to the main topic or the following paragraph.

Using this structure makes academic writing more logical and easier to understand. Paragraphs should also contain appropriate linking words, such as *however, furthermore, therefore, in addition,* and *as a result*.

Using Evidence and Academic Sources

Academic essays should be supported by reliable evidence. Students can use books, scholarly articles, academic journals, and other trustworthy sources to strengthen their arguments. Evidence helps demonstrate that the writer's ideas are based not only on personal opinion but also on research and academic knowledge.

Academic writing generally requires a formal and objective style. Writers should avoid informal expressions, slang, and overly emotional language. Clear and precise vocabulary should be used to communicate ideas effectively.

For example, instead of writing *"I think this is really good,"* an academic writer may write *"The findings suggest that this approach is effective."*

Academic language should also include careful use of grammar and sentence structure. A variety of sentence types can make the essay more coherent and professional.

Revising and Editing the Essay

Writing the first draft is not the final stage of essay preparation. Revision and editing are necessary to improve the quality of the work. During revision, writers should consider the following questions:

- Is the thesis statement clear?
- Does each paragraph support the main argument?
- Are the ideas organized logically?
- Is sufficient evidence provided?
- Are there grammar or spelling mistakes?
- Are all sources cited correctly?

Reviewing the essay allows writers to identify weaknesses and make improvements before submitting the final version.

In conclusion, effective academic essay writing is a structured process that requires careful preparation and critical thinking. Understanding the topic, planning ideas, developing a clear thesis statement, organizing paragraphs, using reliable evidence, and applying an appropriate academic style are essential components of successful writing. In addition, revising and editing the final draft contribute significantly to the clarity and quality of an academic essay. By following these methods, students can develop stronger writing skills and produce well-organized, logical, and academically appropriate essays.

ORFOQRAFİYA VƏ ORFOEPİYANIN İNKİŞAF TARİXİNƏ DAİR

Gültəkin Atəş qızı Abdullayeva

pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Filologiya fakültəsi

ORCİD: 0009-0009-5332-2146

Pion2691@rambler.ru

Xülasə

Dil cəmiyyətin mənəvi və mədəni həyatında mühüm rol oynayan, daim inkişaf edən mürəkkəb ictimai hadisədir. Dilin inkişafı yalnız lüğət tərkibinin zənginləşməsi və qrammatik quruluşun dəyişməsi ilə məhdudlaşmır. Yazılı və şifahi nitqin düzgünlüyünü təmin edən normalar da tarixi inkişaf prosesində formalaşır, təkmilləşir və müəyyən mərhələlərdə yenilənir. Bu baxımdan orfoqrafiya və orfoepiyanın inkişaf tarixi dilçilikdə xüsusi əhəmiyyət daşıyan məsələlərdəndir.

Orfoqrafiya yazılı nitqin düzgünlüyünü və vahidliyini təmin edən qaydalar sistemidir. Orfoepiya isə sözlərin və nitq vahidlərinin ədəbi dil normalarına uyğun düzgün tələffüzünü müəyyənləşdirir. Bu iki sahə bir-biri ilə sıx əlaqədə olsa da, onların hər birinin özünəməxsus funksiyası vardır. Orfoqrafiya yazılı nitqdə fikrin düzgün və aydın ifadəsinə, orfoepiya isə şifahi nitqin anlaşıqlı, düzgün və mədəni şəkildə formalaşmasına xidmət edir.

Yazılı nitqin əsasında duran orfoqrafiya və şifahi nitqin əsas sütunu olan orfoepiya da məzmununa, quruluşuna, nitq inkişafına təsir imkanlarına, fərqli yazı növlərindən istifadə dairəsinə görə müəyyən tarixi inkişaf mərhələlərindən keçmiş, bu mərhələlərin spesifik inkişaf qanunauyğunluqlarına mütəvazi olaraq dəyişikliklərə məruz qalmışdır.

Açar sözlər: orfoqrafiya, orfoepiya, nitq inkişafı

ON THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF ORTHOGRAPHY AND ORTHOEPY

Abstract

In modern education, issues related to orthography, orthoepy, and speech development, as well as their linguistic foundations and the norms that influence the formation of overall speech development, are taught on an entirely new basis - through work with texts and by implementing certain standards. Unlike traditional education, students no longer complete their learning by memorizing grammatical definitions and rules and performing practical exercises designed merely to retain these rules to some extent.

In Azerbaijani language lessons, rules and definitions are taught within the context of texts, while these rules also serve as means of improving students' speech development. In other words, the principles for determining and mastering the necessary orthoepic and orthographic rules, as well as the means of their acquisition, have undergone significant changes compared with traditional teaching methods.

Today, students work according to the principle of moving from the text to the rule, rather than from the rule to the text. Practical activities related to speech development, models regulating speech development, and various forms of classroom work have become more prominent than theoretical activities based on memorizing definitions and rules. Therefore, the outcome-oriented and learner-centered nature of modern education is closely associated with the historical development of education itself, as well as with the renewal of methodological guidelines and recommendations.

Orthography, which constitutes the foundation of modern written language, and orthoepy, which serves as a fundamental pillar of oral language, have also undergone various historical stages of development. In terms of their content, structure, potential impact on speech development, and the scope of their application across different forms of writing and speech, both orthography and orthoepy have experienced changes corresponding to the specific patterns and regularities of each stage of their historical development.

Keywords: orthography, orthoepy, speech development

Giriş

Azərbaycan dilində orfoqrafik və orfoepik normaların formalaşması dilin inkişaf tarixi, əlifba dəyişiklikləri, ictimai-siyasi və mədəni proseslər, eləcə də təhsil sistemində baş verən yeniliklərlə sıx bağlı olmuşdur. Müxtəlif tarixi mərhələlərdə istifadə edilən əlifbalar, yazı ənənələri və dilə münasibət orfoqrafik prinsiplərin dəyişməsinə təsir göstərmişdir. Eyni zamanda ədəbi dilin şifahi formasının inkişafı, radio və televiziya kimi kütləvi informasiya vasitələrinin geniş yayılması orfoepik normaların müəyyənləşdirilməsinə və ictimai nitqdə tətbiqinə yeni tələblər yaratmışdır.

Orfoqrafiya, orfoepiya və nitq inkişafına aid məsələlər, onların linqvistik əsasları, ümumi nitq inkişafının formalaşmasına təsir edən normalar tamamilə yeni əsasda - mətnlər üzrə iş prosesində və müəyyən standartların reallaşdırılması yolu ilə öyrədilir. Şagird ənənəvi təlimdə olduğu kimi qrammatik tərif və qaydaları əzbərləmək, həmin qaydaları az-çox yadda saxladacaq praktik tapşırıqları icra etməklə işini yekunlaşdırmır.

Azərbaycan dili dərslərində qayda, tərif mətn konteksində mənimsədilir və həmin qaydalar da nitq inkişafını təkmilləşdirən vasitə rolunda çıxış edir. Yəni zəruri olan orfoepik, orfoqrafik qaydaların müəyyənləşdirilməsi prinsipləri, mənimsədilməsi vasitələri ənənəvi təlimdən fərqli dəyişikliklərə məruz qalmışdır. İndi şagird qaydadan mətnə deyil, mətndən qaydaya prinsipi ilə işləyir və nitq inkişafı ilə bağlı praktik fəaliyyət, nitq inkişafını tənzimləyən modellər, iş növləri tərif, qayda əzəbərlədən nəzəri fəaliyyət metodikasını üstələyir. Deməli, modern təlimin nəticəyönümlü, şəxsiyyətyönümlü olması, həm də onun inkişaf tarixi ilə, metodiki təlimat və təkliflərin yeniləşməsi ilə sıx bağlıdır.

Orfoqrafiyanın tarixi inkişafı

Orfoqrafiyanın formalaşması yazının meydana gəlməsi və inkişafı ilə bilavasitə bağlıdır. Yazının ilkin mərhələlərində sözlərin yazılışında tam sabitlik mövcud olmamış, eyni söz müxtəlif mənbələrdə fərqli şəkildə yazılmışdır. Zaman keçdikcə yazılı nitqdə müəyyən qaydaların formalaşmasına ehtiyac yaranmış və beləliklə, orfoqrafik normaların ilkin əsasları meydana çıxmışdır. Azərbaycan dilinin yazı tarixində müxtəlif əlifbalardan istifadə olunması orfoqrafiyanın inkişafına əhəmiyyətli təsir göstərmişdir. Ərəb qrafikası əsasında yazı uzun müddət Azərbaycan dilinin yazılı ifadə vasitəsi olmuşdur. Lakin həmin qrafikanın Azərbaycan dilinin fonetik sistemini tam və dəqiq əks etdirməməsi müəyyən çətinliklər yaratmışdır. Xüsusilə saitlərin yazıda ifadəsi ilə bağlı problemlər yazılı nitqin mənimsənilməsini və savadlılığın inkişafını müəyyən qədər çətinləşdirirdi.

XX əsrdə Azərbaycan əlifbasında baş verən dəyişikliklər orfoqrafiyanın inkişafında yeni mərhələnin başlanmasına səbəb olmuşdur. Latın qrafikalı əlifbaya keçid, daha sonra kiril qrafikasının tətbiqi və nəhayət,

müstəqillik dövründə yenidən latın qrafikalı Azərbaycan əlifbasının qəbul edilməsi yazı sistemində mühüm dəyişikliklər yaratmışdır. Əlifba dəyişiklikləri yalnız qrafik sistemin yenilənməsi ilə məhdudlaşmamış, sözlərin yazılış qaydalarının da yenidən işlənməsini zəruri etmişdir.

Müasir dövrdə Azərbaycan dilinin orfoqrafik normaları ədəbi dilin sabitliyinin qorunmasına, yazılı ünsiyyətin vahidliyinə və dil istifadəçilərinin düzgün yazı bacarıqlarının formalaşdırılmasına xidmət edir. Orfoqrafiya qaydalarının müəyyənləşdirilməsində fonetik, morfoloji, tarixi-ənənəvi və digər prinsiplər nəzərə alınır. Bu prinsiplərin tətbiqi sözlərin yazılışının sistemli və ardıcıl şəkildə müəyyənləşdirilməsinə imkan verir.

Orfoepiyanın inkişafı və şifahi nitq

Orfoepiyanın inkişafı ədəbi dilin şifahi formasının formalaşması ilə sıx əlaqədardır. Şifahi nitqdə sözlərin düzgün tələffüzü, vurğunun yerində işlədilməsi, səslərin ədəbi dil normalarına uyğun şəkildə deyilməsi nitqin anlaşıqlılığını və ifadəliliyini artırır. Buna görə də orfoepik normalar yalnız fonetik düzgünlük baxımından deyil, ümumi nitq mədəniyyətinin mühüm komponenti kimi qiymətləndirilməlidir.

Ədəbi dilin şifahi formasının inkişafında təhsil müəssisələrinin, teatr və səhnə mədəniyyətinin, radio və televiziyanın, daha sonra isə rəqəmsal media vasitələrinin mühüm rolu olmuşdur. Xüsusilə kütləvi informasiya vasitələri vasitəsilə yayılan nitq nümunələri insanların tələffüz vərdişlərinə təsir göstərmişdir. Bu baxımdan ictimai nitqdə çalışan şəxslərin, müəllimlərin, aparıcıların və digər peşə sahiblərinin orfoepik normalara riayət etməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Azərbaycan dilinin orfoepik sistemində sözlərin səslənmə xüsusiyyətləri, vurğu, intonasiya, səs dəyişmələri və digər fonetik hadisələr mühüm yer tutur. Orfoepik normalar dilin təbii fonetik xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla formalaşır və zaman keçdikcə müəyyən dəyişikliklərə məruz qala bilir. Buna görə də orfoepiya statik deyil, canlı dilin inkişafı ilə birlikdə yenilənən və təkmilləşən sistem kimi qəbul edilməlidir.

Orfoqrafiya, orfoepiya və nitq inkişafı

Orfoqrafiya və orfoepiyanın əsas funksiyalarından biri də nitq inkişafının təmin edilməsidir. Şagirdin düzgün yazması və düzgün danışması onun ümumi kommunikativ bacarıqlarının inkişafına birbaşa təsir göstərir. Yazılı və şifahi nitq bacarıqları bir-birini tamamlayır və dilin mənimsənilməsində vahid sistem təşkil edir.

Ənənəvi təlimdə orfoqrafik və orfoepik qaydaların öyrədilməsi çox vaxt qaydaların izahı, əzbərlənməsi və həmin qaydalara uyğun tapşırıqların yerinə yetirilməsi əsasında həyata keçirilirdi. Müasir təlimdə isə bu yanaşma müəyyən dərəcədə dəyişmişdir. İndi dil qaydalarının mətn və kommunikativ fəaliyyət kontekstində

mənimsənilməsi daha çox əhəmiyyət daşıyır. Şagird yalnız qaydanı bilməklə kifayətlənməməli, onu real nitq situasiyasında tətbiq etməyi bacarmalıdır.

Müasir təlimin əsas prinsiplərindən biri "qaydadan mətnə deyil, mətndən qaydaya" yanaşmasıdır. Bu yanaşmada şagird əvvəlcə mətnlə tanış olur, dil hadisələrini müşahidə edir, onların xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirir və nəticədə müvafiq qaydanı özü ümumiləşdirir. Belə fəaliyyət şagirdin yalnız yaddaşını deyil, həm də müşahidə, müqayisə, təhlil, nəticə çıxarma və tətbiqetmə bacarıqlarını inkişaf etdirir.

Mətn üzərində iş orfoqrafik və orfoepik bacarıqların inkişaf etdirilməsi üçün geniş imkanlar yaradır. Şagird mətn daxilində sözlərin yazılışına diqqət yetirir, onların tələffüz xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirir, müxtəlif dil vahidlərini müqayisə edir və öyrəndiyi qaydaları praktik şəkildə tətbiq edir. Bu zaman dil qaydası məqsəd deyil, nitq fəaliyyətinin inkişafına xidmət edən vasitəyə çevrilir.

Nəticə

Orfoqrafiya və orfoepiyanın inkişaf tarixi dilin ümumi inkişaf tarixinin mühüm tərkib hissəsidir. Bu sahələrin formalaşması və dəyişməsi yazı sistemlərinin, əlifbaların, ədəbi dil normalarının və cəmiyyətin kommunikativ tələblərinin inkişafı ilə əlaqədar olmuşdur. Azərbaycan dilində də orfoqrafik və orfoepik normalar müxtəlif tarixi mərhələlərdə dəyişmiş, təkmilləşmiş və müasir dilin tələblərinə uyğunlaşdırılmışdır.

Müasir mərhələdə əsas məqsəd şagirdlərə yalnız orfoqrafik və orfoepik qaydaları əzbərlətmək deyil, həmin qaydaları şüurlu şəkildə mənimsətmək və real nitq fəaliyyətində tətbiq etməkdir. Mətn əsaslı və kommunikativ təlim bu baxımdan daha səmərəli yanaşmalardan biri kimi çıxış edir. "Mətndən qaydaya" prinsipi şagirdin dil faktlarını müşahidə etməsinə, qaydaları müstəqil şəkildə ümumiləşdirməsinə və əldə etdiyi bilikləri praktik nitq fəaliyyətində tətbiq etməsinə imkan verir.

Beləliklə, orfoqrafiya yazılı nitqin, orfoepiya isə şifahi nitqin düzgünlüyünü təmin etməklə yanaşı, ümumi nitq mədəniyyətinin formalaşmasında əsas rol oynayır.Onların tarixini, inkişaf qanunauyğunluqlarını və müasir təlimdə tətbiqi imkanlarını öyrənmək Azərbaycan dilinin tədrisinin elmi-metodiki əsaslarının təkmilləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Ədəbiyyat:

1. Abdullayev N. Ədəbi tələffüz təliminin metodikası. Bakı: Maarif, 1986. 162 səh.
2. Abdullayev N. Orfoepiya və orfoqrafiya təlimi məsələləri. Bakı**:** APİ, 1985. 89 səh.
3. Cəfərova N. Orfoqrafiya və orfoepiya tədrisinin metodik əsasları. Bakı: Elm və təhsil, 2021. 245 səh.
4. Kərimov Y. Ana dilinin tədrisi metodikası. Bakı: Nasir, 2003. 520 səh.
5. Qurbanov V. Esse və digər yaradıcı yazı (məzmun, forma və metodika). Bakı: ADPU, 2020

THE HOUSING CRISIS AND THE DELAYED TRANSITION TO ADULTHOOD: SOCIAL VULNERABILITY AND RESIDENTIAL AUTONOMY AMONG YOUNG PEOPLE

PhD Petronela Daniela FERARU

National College Iași and 'Ion Neculce' High School, Târgu Frumos, Romania, Sociology,

daniela_feraru_p@yahoo.com, ORCID: 0009-0009-8954-6336

Abstract

Europe's housing crisis has transformed residential autonomy from an expected life-course transition into a stratified achievement. This article compares Ireland, the Netherlands, Spain, and Finland as distinct housing regimes and examines how price escalation, rental inflation, tenure structures, construction capacity, social-rental provision, and labour-market position shape young adults' ability to form independent households. The study combines housing-regime and life-course theory with secondary analysis of harmonised Eurostat series for 2015–2025 and OECD affordable-housing indicators. Rather than reusing conventional measures of home-leaving age or general housing-cost overburden, it focuses on the institutional production of access: the divergence between asset prices and rents, the economic-status profile of co-residence among people aged 25–34, the balance between ownership and rental sectors, residential investment, building-permit activity, and the scale of social housing. The findings identify four different forms of blocked autonomy. Ireland combines rapid asset and rent inflation with supply constraints; the Netherlands pairs a large social sector with scarcity and access queues; Spain exhibits extensive family-based accommodation within an ownership-centred system; and Finland maintains stronger rental alternatives but remains exposed to macroeconomic and regional pressures. The analysis argues that delayed departure is not one homogeneous condition. It can represent involuntary waiting, strategic saving, protected recovery, or exclusion from urban opportunity, depending on family resources and institutional alternatives. The article proposes a housing-capabilities framework and recommends supply-side investment, tenure-neutral support, youth-accessible social rental pathways, spatially coordinated construction, and rights that reduce dependence on parental wealth.

Keywords: Housing crisis, residential autonomy, young adults, housing regimes, intergenerational inequality

1. INTRODUCTION

Housing is simultaneously shelter, a financial asset, a territorial location, and an institutional gateway to adult citizenship. A dwelling determines privacy, proximity to work and education, the feasibility of partnership, and the capacity to make ordinary decisions without continuous household negotiation. When access is organised primarily through market purchasing power or inherited family resources, the transition to residential autonomy becomes a test of origin rather than a predictable social right. The present European housing crisis therefore concerns more than rising prices: it reorganises biographies and distributes the right to plan unevenly.

Young adults enter housing markets from a structurally weak position. Their earnings are commonly lower and less stable than those of established workers; they have limited savings, shorter credit histories, and little collateral. At the same time, they compete for centrally located dwellings with higher-income households, investors, short-term rental platforms, and institutional capital. A market can add dwellings while still producing exclusion if new supply is unaffordable, geographically mismatched, or absorbed as investment. The relevant question is not whether units exist in aggregate, but who can convert them into secure occupancy.

Residential delay is often narrated as cultural attachment or prudent personal choice. Both may be present, yet preference cannot be inferred from co-residence alone. Remaining with parents can finance education, protect against volatile rent, or sustain family reciprocity. It can also be the only available response to unaffordable deposits, insecure contracts, housing queues, discrimination, or an absence of rental supply. Identical living arrangements therefore contain different degrees of control. Sociology must distinguish chosen interdependence from enforced dependence.

Housing markets also transmit inequality across generations. Parents who own valuable dwellings can offer accommodation, guarantees, gifts, inheritance, or a second property. Parents who rent, live in small dwellings, or face mortgage stress may be unable to provide the same platform. Market appreciation widens this contrast because it enriches incumbent owners while raising the entry threshold for outsiders. The housing crisis is thus a mechanism of class closure: it translates yesterday's tenure position into tomorrow's adult opportunities (Forrest & Yip, 2013; Ronald & Lennartz, 2018).

This article compares Ireland, the Netherlands, Spain, and Finland. Ireland represents an acute supply and affordability crisis within a liberalised, ownership-oriented system. The Netherlands combines a historically large social-rental sector with stringent access rules, queues, and pressures in the private segment. Spain is marked by strong ownership norms, limited social rental supply, and intensive family accommodation. Finland

offers a more rental-accessible Nordic case with municipal and non-profit provision, yet affordability and regional divergence remain. These cases reveal different institutional pathways to delayed autonomy.

The empirical contribution centres on the institutional production of housing access through price formation, rent dynamics, the labour-status composition of co-resident young adults, national tenure architecture, residential investment, permits, and social-rental stock. This multidimensional design moves beyond demographic timing and identifies the mechanisms through which housing systems expand or restrict effective residential choice.

Four questions guide the analysis. How did house prices and rents evolve across the four regimes after 2015? How does labour-market position differentiate co-residence among 25–34-year-olds? Which tenure and supply institutions expand or narrow young adults' feasible options? What policy architecture can support autonomy without privileging ownership or dissolving intergenerational solidarity? The central argument is that residential autonomy is a housing capability: the effective freedom to establish, maintain, and if necessary change an independent household without unacceptable deprivation or coercive reliance on family wealth.

The topic has broader consequences. Housing insecurity can delay partnership and parenthood, reduce geographic mobility, restrict occupational search, intensify anxiety, and weaken trust in institutions. It can also transform political conflict, because incumbent owners and excluded entrants experience price appreciation in opposite ways. A policy that protects asset values while compensating only marginally for access costs can deepen generational division even when aggregate household wealth rises.

1.1. Theoretical and Conceptual Framework

1.1.1. Housing Regimes and the Institutional Production of Access

Housing-regime analysis examines how states, markets, families, finance, and non-profit providers allocate dwellings and risks. Tenure shares alone are insufficient. Mortgage regulation, planning, taxation, rent rules, land policy, housing allowances, and social-housing eligibility determine the meaning of ownership and renting. Kemeny (1995) distinguished more integrated rental systems from dual systems in which social housing is residualised; later scholarship shows that financialisation and welfare restructuring can alter these arrangements without eliminating national path dependence (Aalbers, 2016; Schwartz & Seabrooke, 2008).

Financialisation changes the social function of housing by treating expected capital gain as a central organising principle. Credit expansion and low interest rates can increase purchasing power, but when supply responds slowly the result is capitalised into land and dwelling prices. Existing owners gain collateral and wealth;

entrants face larger deposits and debts. Investor demand can also reshape rental markets through acquisition, renovation, and rent extraction. Housing ceases to be simply consumed and becomes a positional asset whose value depends partly on scarcity.

The state is never absent from a marketised system. It constructs mortgage markets, enforces property rights, sets planning rules, subsidises particular tenures, and decides whether non-market housing is universal, targeted, or residual. Tax relief for owners and demand subsidies may appear neutral while reinforcing price escalation. Conversely, social rental supply can stabilise access, but only when allocations, turnover, location, and eligibility permit young adults to use it. Institutional design therefore matters more than the rhetorical opposition between state and market.

Four ideal-typical mechanisms organise the comparison. Asset inflation raises the ownership threshold. Rental inflation raises the cost of mobility before ownership. Supply inelasticity turns new demand into price increases. Familial substitution transfers access responsibility to parents. Each mechanism can occur in every country, but their relative strength and interaction differ. A housing regime is consequently a configuration of access channels rather than a national personality.

1.1.2. Life Course, Linked Lives, and Residential Autonomy

Life-course sociology conceptualises adulthood as a sequence of interdependent transitions whose timing and reversibility are socially organised. Housing connects these domains because a stable address enables job search, partnership, care, and community participation. Yet residential independence is not a binary event. Young adults may circulate between parental, shared, student, private-rental, and partner households. Temporary departure can coexist with financial dependence, while co-residence can involve substantial adult contribution and mutual care.

The principle of linked lives explains why individual transitions depend on family biographies. A parent's tenure, relationship history, health, migration experience, and locality shape the resources available to a young adult. Assistance can be monetary, but guarantees, information, furniture, transport, and the option to return are equally consequential. These resources function as private insurance. Their unequal distribution converts family solidarity into a mechanism of stratification even when parents act from affection rather than exclusion.

Residential autonomy is defined here through four capabilities. Entry capability is the capacity to secure an adequate dwelling. Maintenance capability is the capacity to retain it through income shocks. Locational capability is the capacity to live within feasible reach of employment, services, and relationships. Exit capability

is the capacity to leave an unsafe, exploitative, or unsuitable arrangement. A young person may possess one capability and lack another; for example, a subsidised unit may be secure but geographically isolating.

Delay must therefore be disaggregated. Strategic delay involves saving or credential accumulation under acceptable conditions. Protective delay follows a shock and uses family support as recovery. Constrained delay occurs when available options are unaffordable or insecure. Exclusionary delay combines housing barriers with weak labour-market attachment or discrimination. These distinctions avoid turning a complex institutional outcome into a moral judgement about young people.

1.1.3. Intergenerational Wealth and the New Housing-Class Boundary

Housing wealth has become an increasingly important boundary within age cohorts. Two people with similar education and earnings can occupy radically different trajectories if one receives a deposit and the other supports indebted parents. The division between prospective inheritors and permanent renters may cut across conventional occupational classes, while reinforcing them over time. Access to appreciating property generates cumulative advantage through lower later-life housing costs, collateral, and inheritance.

Parental assistance is often described as a gift, but it can reorganise family power. Recipients may accept influence over location, partnership, or timing; siblings may receive unequal transfers; and parents may compromise retirement security. Families with housing assets can solve problems privately, reducing political pressure for collective provision. Families without assets encounter both material constraint and symbolic blame for failing to provide what public policy has implicitly assigned to them.

Spatial inequality intensifies these effects. Housing demand concentrates around productive cities, universities, and transport nodes. Young adults in peripheral regions may find cheaper housing but fewer opportunities, whereas those entering metropolitan labour markets face rent and deposit barriers. Residential autonomy cannot be assessed independently of locational opportunity. A low-cost dwelling that requires relinquishing a career pathway is not an equivalent alternative.

Building on Feraru's (2026) analysis of youth under overlapping crises, the present study examines the housing institutions through which employment insecurity and collective anxiety are converted into durable restrictions on biographical control. Housing pressure is therefore treated as part of cumulative, rather than isolated, vulnerability.

Table 1. Analytical profile of the four housing regimes

Dimension	Ireland	Netherlands	Spain	Finland
Access model	Ownership aspiration; pressured private rental	Large regulated/social sector plus market scarcity	Ownership-centred; strong family substitution	Mixed rental provision and municipal/non-profit supply
Dominant bottleneck	Supply deficit and rapid price/rent growth	Queues, allocation boundaries and private-market shortage	Limited rental alternatives and low social stock	Regional mismatch and cyclical construction
Family role	Deposits, guarantees and return accommodation	Bridge during queues and market search	Long co-residence and housing transfers	Supplement to more institutionalised options
Main youth inequality	Parental assets and metropolitan access	Eligibility, queue position and income segment	Family property, employment and locality	Income, city access and service geography

Note. The profiles are ideal-typical mechanisms rather than exhaustive national descriptions.

Source. Author's synthesis based on Kemeny (1995), Aalbers (2016), OECD (2024, 2026), and Eurostat housing indicators.

Sociological interpretation. The countries allocate scarcity through different institutions: prices, queues, family accommodation, or spatially differentiated rental provision. Young adults' autonomy depends on which gate they must pass and what resources that gate recognises.

2. METHOD

The study adopts a structured comparative design. Case selection maximises institutional contrast while maintaining European statistical comparability. Ireland and Spain represent ownership-oriented systems with different labour and family configurations; the Netherlands and Finland offer larger non-market or regulated rental alternatives but distinct allocation and supply problems. The cases are analysed as internally diverse institutional arrangements, not as homogeneous national cultures.

Six Eurostat datasets were downloaded on 21 August 2026. House-price indices come from prc_hpi_a; actual-rent inflation from prc_hicp_aind, rebased to 2015; living with parents by self-defined economic status from ilc_lvps09; tenure distribution from ilc_lvho02; residential construction investment as a share of GDP from tipsna50; and building permits from sts_cobp_a. The principal period is 2015–2025, with investment ending in

2024 and the comparable permit series ending in 2021. OECD Affordable Housing Database indicator PH4.2 supplies the latest social-rental-stock shares.

House-price and rent indices are transformed into cumulative percentage changes from the 2015 baseline to make market trajectories directly interpretable. Co-residence is disaggregated by labour status rather than summarised through one demographic threshold. Tenure is treated as institutional context, not as a direct youth outcome. Investment and permits represent distinct dimensions of supply capacity, while the social-rental share captures a non-market access channel. This design reduces inferential dependence on any single outcome.

Trend lines are descriptive linear fits and do not constitute forecasts or causal estimates. Figures 1, 2, and 7 report cumulative percentage changes calculated from official index values relative to 2015; Figure 6 reports annual investment as a percentage of GDP. The co-residence heatmap uses the latest reported value for each status-country cell, without imputing missing values. Cross-source comparisons are used only where definitions are sufficiently compatible.

Limitations are substantive. National price indices conceal metropolitan variation and dwelling composition. Rent indices measure price change, not advertised-rent entry costs or deposits. Co-residence categories are self-defined and do not reveal voluntariness, dwelling quality, or intra-household power. National tenure shares include all ages. Permits do not guarantee completions, and social-housing definitions vary across countries. The analysis therefore identifies institutional configurations rather than individual causal effects.

The interpretation triangulates market movement, living arrangements, tenure, and supply. A price increase is not automatically a crisis if incomes and supply keep pace; a large social sector is not automatically accessible to entrants; and high co-residence is not automatically deprivation. Claims are made only when several indicators and institutional evidence converge. This relational approach is consistent with housing-regime and life-course theory.

No personal data were collected. Ethical attention concerns representation: young adults are not described as deficient decision-makers, and family support is neither romanticised nor condemned. The analysis recognises the agency involved in strategic accommodation while identifying when market and policy structures remove feasible alternatives.

Table 2. Operationalisation of residential autonomy and housing-market pressure

Construct	Indicator	Unit/period	Analytical function
Asset-entry threshold	House Price Index	2015=100; 2015–2025	Tracks escalation in purchase prices
Rental mobility cost	Actual-rent HICP, rebased	2015=100; 2015–2025	Tracks price of non-ownership access
Status composition of co-residence	Aged 25–34 living with parents	Distribution by labour status; 2025	Shows whether co-residence extends beyond non-employment
Tenure opportunity structure	Owner, market rent, reduced/free rent	% population; 2025	Identifies dominant access channels
Supply effort	Residential investment	% GDP; 2015–2024	Measures macro-level construction allocation
Supply pipeline	Residential permits	Index; 2015–2021	Signals future construction activity
Non-market access	Social rental stock	% dwellings; latest	Measures scale of collective rental alternative

Note. Periods follow latest reportable official observations; different indicators are not combined into a causal index.

Source. Eurostat metadata and OECD Affordable Housing Database (2024).

Sociological interpretation. The operationalisation treats autonomy as an outcome of multiple gates. Market prices, employment status, tenure institutions, and supply capacity can reinforce or offset one another; no isolated indicator establishes freedom or vulnerability.

3. FINDINGS

3.1. Asset Inflation and the Rising Entry Threshold

House prices increased markedly after 2015, but trajectories diverged. The Netherlands and Ireland experienced the strongest cumulative escalation, reflecting demand pressure, credit conditions, constrained supply, and urban concentration. Spain's recovery followed the deep post-financial-crisis correction, while Finland displayed a flatter national path and later weakening. These differences demonstrate that a European housing crisis is not one synchronised price cycle; it is a family of institutional crises.

For young entrants, an index increase has distributive consequences even before purchase. Required deposits rise, mortgage size expands, and the period needed to save lengthens. If parents own appreciating property, they may mobilise equity or transfer wealth; if they do not, the same market movement raises the barrier without creating a compensating asset. Price escalation thus simultaneously produces wealth and exclusion.

Ireland's trajectory must be read through supply and spatial concentration. Employment growth and international investment intensified demand in urban areas while construction recovery lagged. The Netherlands shows how planning constraints, household formation, investor demand, and a segmented rental system can generate scarcity despite a large social sector. Spain's comparatively moderated index does not imply easy access because earnings, job security, and rental alternatives shape effective purchasing power. Finland's flatter national series conceals metropolitan and regional divergence.

The trend lines are deliberately descriptive. Interest rates, macroprudential regulation, migration, household formation, construction costs, and pandemic-era shifts affect the series. Nevertheless, the durability of elevated indices establishes a changed entry environment. Young adults confront not a temporary deviation but a higher structural threshold.

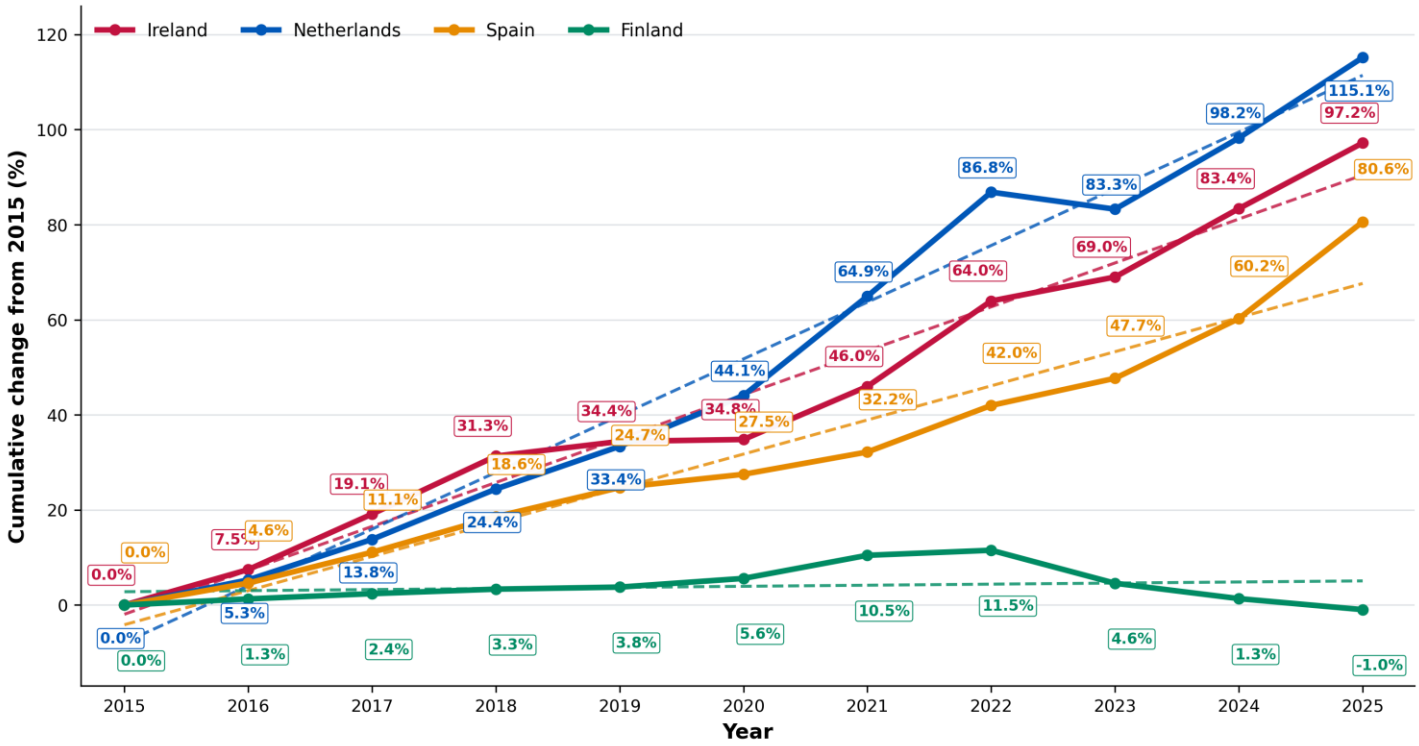


Figure 1. Cumulative House-Price Change from 2015, 2015–2025

Note. Values show the cumulative percentage change in the annual house-price index relative to 2015. Every annual observation is labelled. Dashed lines are descriptive linear trends, not forecasts.

Source. Author's calculations from Eurostat, prc_hpi_a (extracted 21 August 2026).

Sociological interpretation. Asset inflation redistributes opportunity between incumbent owners and entrants. Ireland and the Netherlands exhibit the strongest escalation, making parental collateral and prior wealth increasingly decisive in the conversion of income into ownership.

3.2. Rental Inflation and the Cost of Remaining Mobile

Renting is often presented as the flexible alternative to ownership. Yet flexibility depends on price, security, quality, and availability. Actual-rent indices increased across the cases after 2015, with especially strong pressure in Ireland and notable growth elsewhere. For young adults, rent inflation affects both those who prefer renting and those using it as a transition toward ownership. Higher rent reduces saving capacity, producing a circular barrier: the tenure that enables departure can postpone entry into the tenure that policy privileges.

The rent series is conservative in one important sense. It measures average price change across existing rental relationships and may not capture the higher advertised rents faced by new entrants in pressured cities. Young movers are disproportionately exposed to entry prices, deposits, short contracts, and documentation requirements. Their experienced inflation can therefore exceed the national index.

Rental inflation also changes occupational mobility. A job offer in a high-productivity city may be unattractive once rent and commuting are considered. Remote work can reduce some spatial pressure but also transmit demand to previously cheaper areas. The housing crisis becomes a labour-allocation problem when workers cannot move to where skills are demanded without accepting excessive insecurity.

Finland and the Netherlands demonstrate that a larger regulated or social sector can moderate some risks while generating allocation boundaries. Waiting time, income rules, locality, and household status determine access. Those above an eligibility threshold but below market affordability occupy a 'missing middle'. Ireland and Spain reveal different versions of the same gap where affordable rental alternatives are insufficient relative to demand.

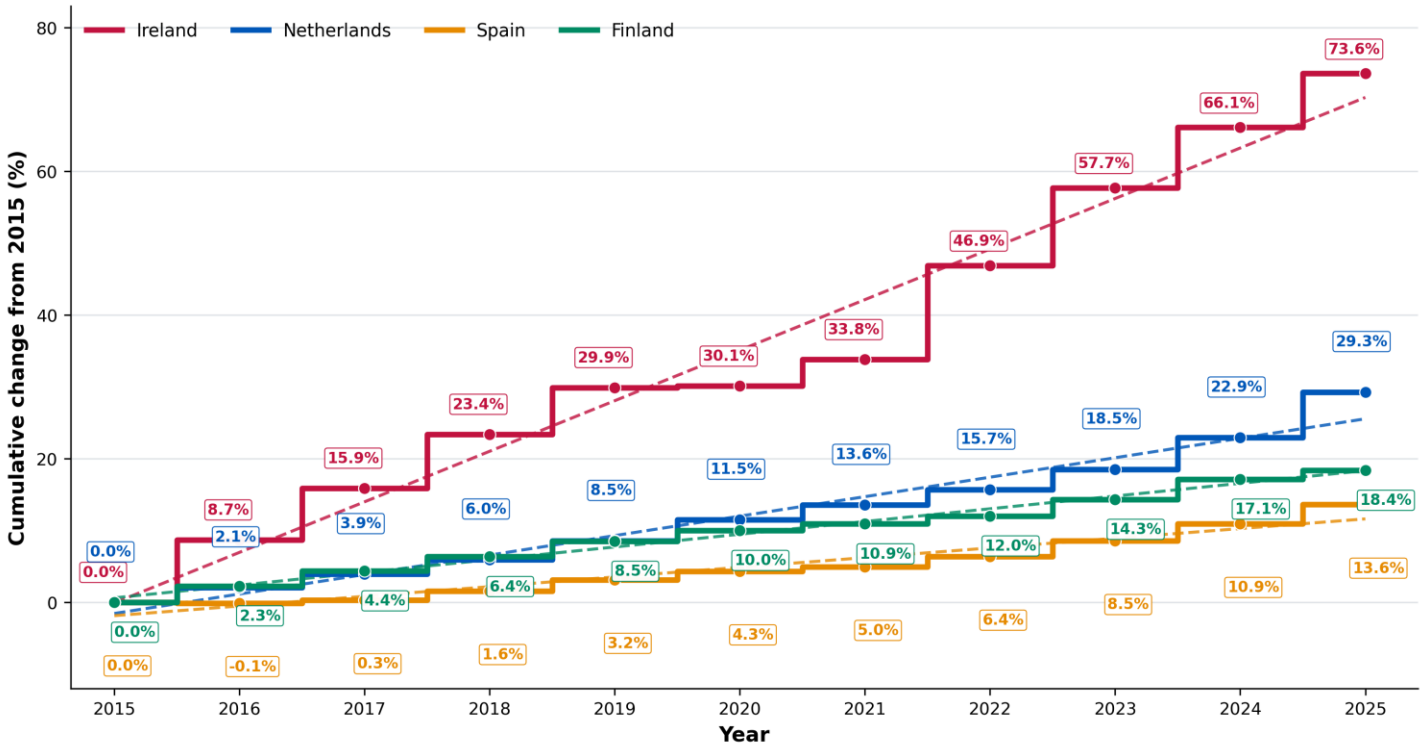


Figure 2. Cumulative Rent-Price Change from 2015, 2015–2025

Note. Values show the cumulative percentage change in actual rentals for housing relative to 2015. Every annual observation is labelled. Dashed lines are descriptive linear trends, not forecasts.

Source. Author's calculations from Eurostat, prc_hicp_aind, COICOP CP041 (extracted 21 August 2026).

Sociological interpretation. Rental inflation narrows the principal non-ownership route to autonomy. It also reduces the capacity to accumulate a deposit, coupling present mobility costs to future exclusion from ownership.

3.3. Price–Rent Divergence and Tenure Traps

Cumulative changes clarify whether housing pressure is concentrated in asset acquisition, rental access, or both. Where house prices outpace rents, ownership entry becomes increasingly dependent on deposits and credit. Where rents also accelerate strongly, young adults cannot easily wait outside the ownership market. The combination creates a tenure trap: purchase is inaccessible, but renting consumes the resources needed to become eligible for purchase.

The grouped comparison shows particularly acute dual pressure in Ireland. The Netherlands combines strong asset growth with a rental market divided between protected and expensive segments. Spain's ownership

tradition means that even moderate price growth operates within a system where stable rental alternatives and social stock are limited. Finland's smaller cumulative escalation offers relative protection, but local scarcity and employment geography still shape access.

These patterns challenge tenure-neutral rhetoric. Subsidies to buyers can be capitalised into prices when supply is rigid. Rent controls can protect incumbents yet discourage mobility or divide insiders from outsiders if construction is inadequate. Effective policy must therefore coordinate demand support, supply, allocation, and security rather than treating one price instrument as sufficient.

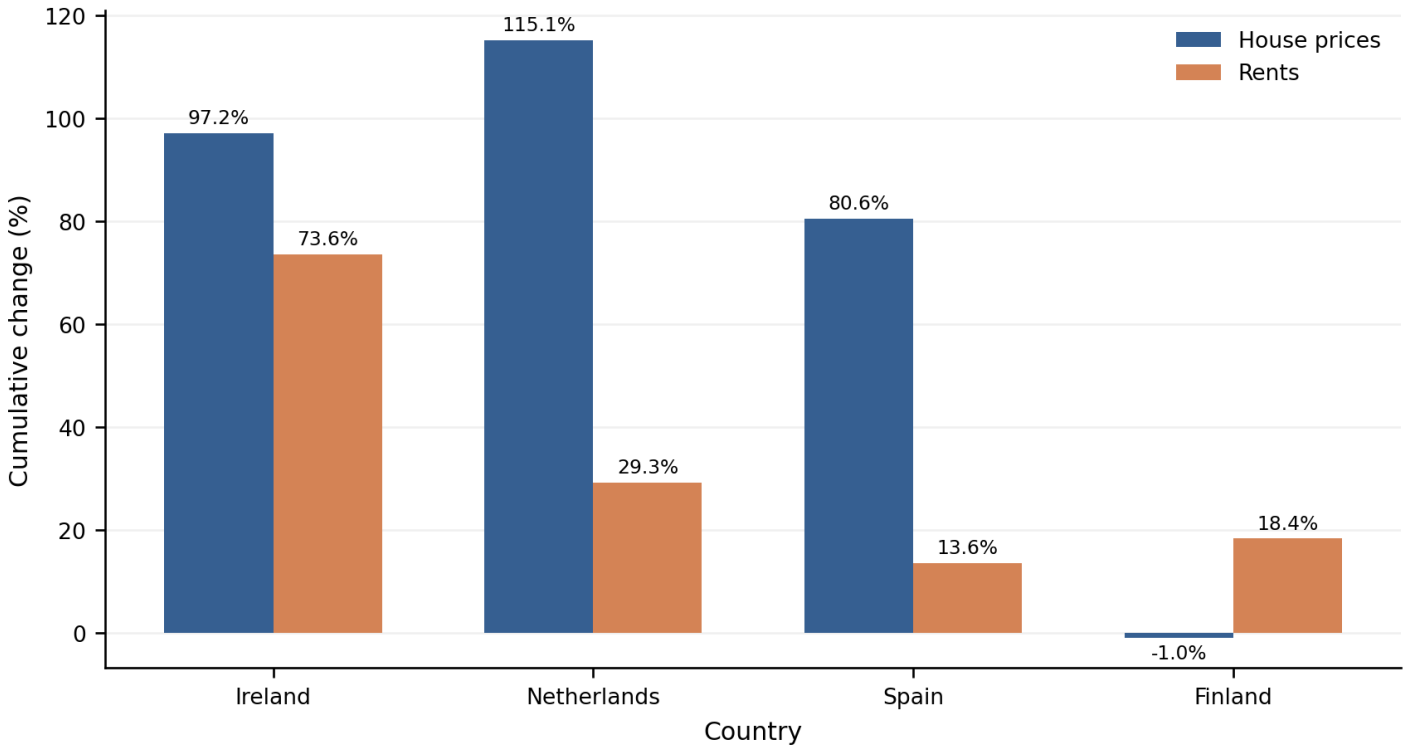


Figure 3. Cumulative Housing-Price and Rent Growth Since 2015

Note. Bars report percentage change from 2015 to the latest available annual observation in each official series.

Source. Author's calculations from Eurostat prc_hpi_a and prc_hicp_aind.

Sociological interpretation. The gap between asset and rent growth identifies different exclusion mechanisms. Dual escalation restricts both immediate departure and longer-term ownership, while asset-dominant escalation increases the power of inherited deposits and collateral.

Table 3. Latest market-pressure profile

Country	House-price index	Rent index	House-price growth	Rent growth	Dominant access pressure
Ireland	197.2	173.6	97.2%	73.6%	Dual purchase and rental escalation
Netherlands	215.2	129.3	115.1%	29.3%	Asset escalation plus segmented rental scarcity
Spain	180.6	113.6	80.6%	13.6%	Family-mediated access in ownership-centred system
Finland	99.0	118.4	-1.0%	18.4%	Lower national inflation; regional mismatch

Note. Indices are rebased to 2015=100; growth uses latest official annual observations.

Source. Author's calculations from Eurostat prc_hpi_a and prc_hicp_aind.

Sociological interpretation. A lower national index does not automatically mean broad autonomy. Market trajectories interact with earnings, tenure alternatives, and family resources; therefore the same price change produces different biographical constraints across regimes.

3.4. Labour-Market Position and Unequal Co-residence

The labour-status composition of co-resident 25–34-year-olds challenges the assumption that living with parents is mainly a consequence of unemployment. In every case, full-time workers form the largest group among young adults living in the parental household: 69.5% in Ireland, 61.0% in the Netherlands, 52.1% in Spain, and 39.9% in Finland. The rows sum to approximately 100%, so the figure describes who the co-resident population is rather than the probability that a person in each labour status lives with parents.

Ireland's composition is particularly revealing. Almost seven in ten co-resident young adults are employed full time, consistent with a housing market in which work does not guarantee an affordable dwelling. The Netherlands shows a similar, though less pronounced, disconnection. Spain has a larger unemployed component, but full-time workers still constitute a majority. Finland's co-resident group is more heterogeneous, with larger shares in unemployment, education, and other inactivity.

Part-time employment represents between 3.2% and 14.3% of the co-resident group across the four cases. These percentages should not be interpreted as part-time workers' co-residence rates. Their analytical value lies in demonstrating that the parental household absorbs several forms of incomplete or unstable incorporation alongside full-time employment. Housing institutions translate earnings, contract form, savings, and documentation into unequal residential eligibility.

Co-residence can protect wellbeing by avoiding homelessness or unmanageable debt. The same arrangement can restrict privacy, partnership, and mobility, particularly where the dwelling is small or distant from opportunity. The compositional data cannot establish voluntariness or compare the prevalence of co-residence across labour statuses. Their strongest implication is narrower but important: residential dependence cannot be equated with labour-market inactivity.

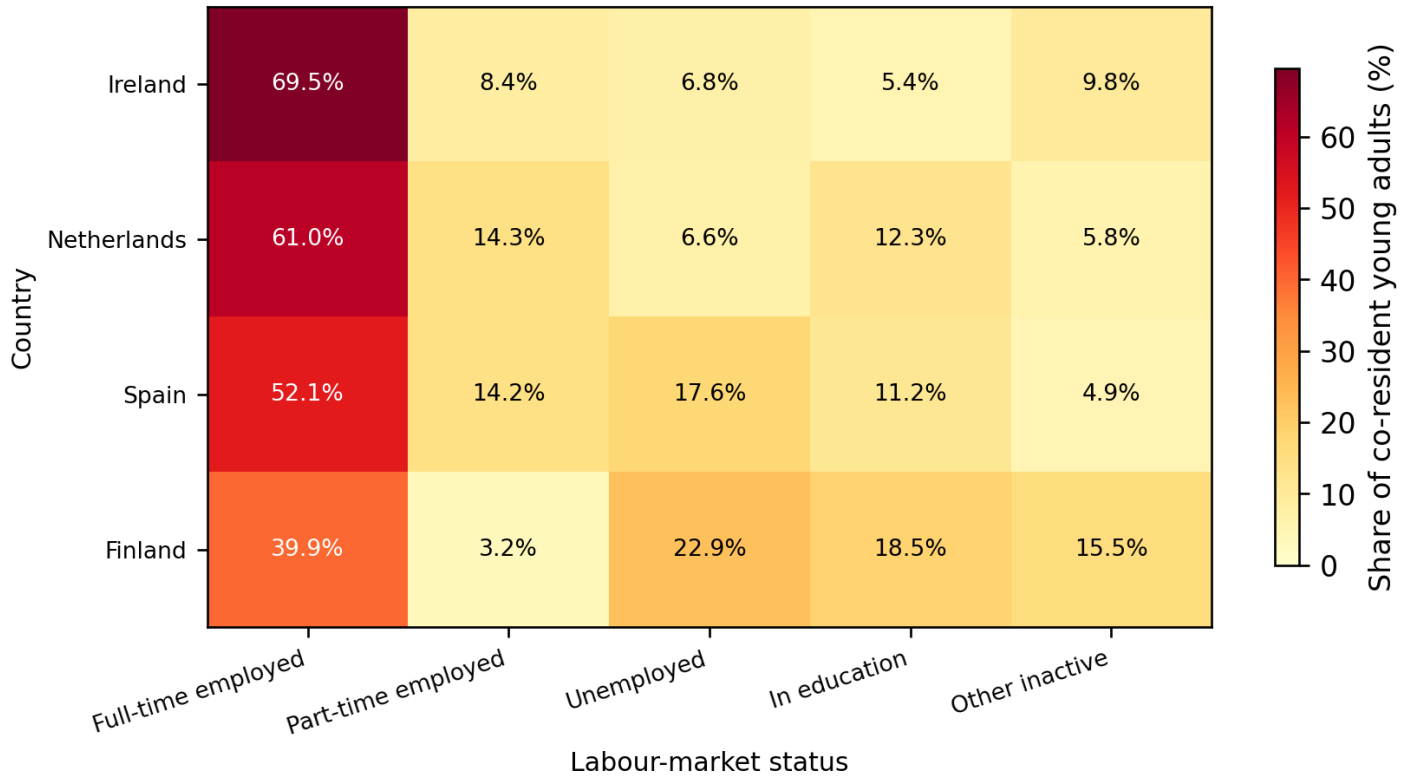


Figure 4. Labour-Status Composition of Co-resident Young Adults Aged 25–34 (2025)

Note. Cells show the labour-status composition of young adults living with parents. Each country row sums to approximately 100%; values are not status-specific co-residence rates.

Source. Eurostat, ilc_lvps09 (extracted 21 August 2026).

Sociological interpretation. Full-time workers constitute the largest component of the co-resident population in every case. Housing access has therefore become an independent stratifying institution rather than a predictable reward for participation in paid work.

3.5. Tenure Architecture and the Distribution of Options

National tenure structures establish the channels through which young adults must seek autonomy. Spain and Ireland remain strongly shaped by ownership, although their rental pressures differ. The Netherlands combines high ownership with a large reduced-rent sector, while Finland maintains a more substantial rental alternative. These national shares are contextual rather than youth-specific, but they reveal whether renting is an ordinary mainstream tenure or a residual stage.

An ownership-centred system can provide security for those who enter, yet it raises the importance of credit and intergenerational transfer. It may also reduce labour mobility once households incur large transaction costs. A large market-rental sector can facilitate entry but exposes tenants to price and contract risk. Reduced-rent provision socialises part of the access cost, but scarcity can be allocated through queues and categorical eligibility.

The Netherlands illustrates the paradox of institutional strength under scarcity. A large social-rental stock protects many households, but newcomers can wait while market rents remain high. Finland's mixed system creates more pathways, though macroeconomic construction cycles and metropolitan demand matter. Spain's limited non-market route amplifies the family's role. Ireland's constrained supply places pressure on both ownership and renting.

Tenure policy also shapes political coalitions. Owners may support scarcity that protects asset values, tenants may demand regulation, and excluded young adults may lack stable local representation. Housing reform is therefore not only a technical task of unit production. It redistributes wealth, neighbourhood access, and risk among groups with unequal political power.

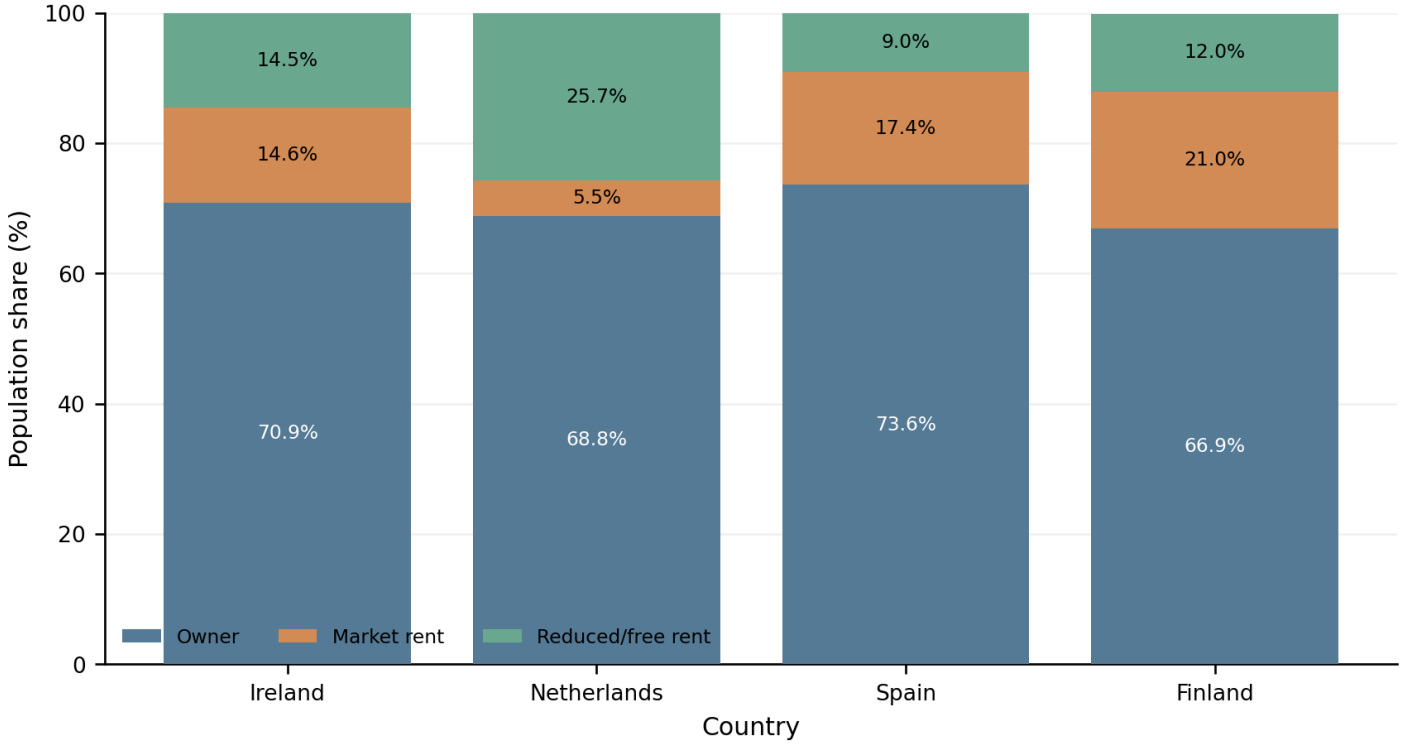


Figure 5. National Housing Tenure Structure (2025)

Note. Stacked shares describe the total population, not young adults specifically. Reduced/free rent includes tenures below prevailing market prices.

Source. Eurostat, ilc_lvho02 (extracted 21 August 2026).

Sociological interpretation. Tenure structures define the institutional routes available to entrants. Where non-market renting is marginal, family assets and creditworthiness become decisive; where it is larger, allocation rules and waiting time become central inequalities.

Table 4. Residential-autonomy mechanisms by labour and tenure position

Position	Immediate housing constraint	Family mediation	Long-term risk	Institutional response
Full-time worker without assets	Deposit and entry rent despite stable work	Guarantee, gift, or co-residence	Permanent rental exclusion from ownership	Cost-rental and deposit-neutral access
Part-time or temporary worker	Income tests and contract insecurity	Repeated return to parental home	Interrupted savings and mobility	Rent guarantees and predictable-contract rights
Unemployed young adult	No independent income and weak landlord acceptance	Intensive accommodation and transfers	Spatial lock-in and cumulative exclusion	Housing-first link to income and employment support
Student or trainee	High city rent and short academic cycles	Parental payment or long commute	Unequal access to education location	Affordable student and transitional housing
Prospective inheritor	High prices partly offset by future transfer	Deposit, collateral, or dwelling	Advantage compounds through asset appreciation	Tax and supply policy limiting inherited closure

Note. Positions are analytical types and may overlap within individual biographies.

Source. Author's synthesis from comparative findings and life-course housing scholarship.

Sociological interpretation. Housing institutions assign different value to the same labour effort. Parental wealth can compensate for institutional rejection, while those without it accumulate delay even when they make similar educational and employment investments.

3.6. Residential Investment and the Supply Response

Residential investment as a share of GDP indicates the scale of resources allocated to new dwellings and major improvements. The series reveals cyclical and national variation rather than a uniform response to price escalation. High prices may stimulate investment, but land constraints, planning time, construction capacity, financing, and infrastructure can delay supply. A market signal does not automatically become an affordable dwelling.

Ireland's recovery in investment followed an exceptionally deep construction collapse, so growth must be interpreted against accumulated undersupply. Dutch investment operates within planning and land constraints and must serve dense urban demand. Spain retains the institutional memory and spatial consequences of the pre-

2008 building boom, making aggregate construction an unreliable proxy for accessible location. Finland's cycle reflects both metropolitan demand and weaker regions.

The composition of investment is socially decisive. Luxury units, investor-oriented apartments, and peripheral development can raise output without expanding young adults' capabilities. Affordable supply requires cost, size, tenure, accessibility, and location to align with need. Public infrastructure and land assembly often determine whether nominal construction translates into usable autonomy.

Construction policy also has temporal implications. Young adults cannot wait indefinitely for long-run supply. Transitional rental, vacancy mobilisation, conversion of suitable buildings, and targeted cost-rental programmes can address immediate pressure while durable supply develops. Short-term responses should not, however, become substitutes for structural production.

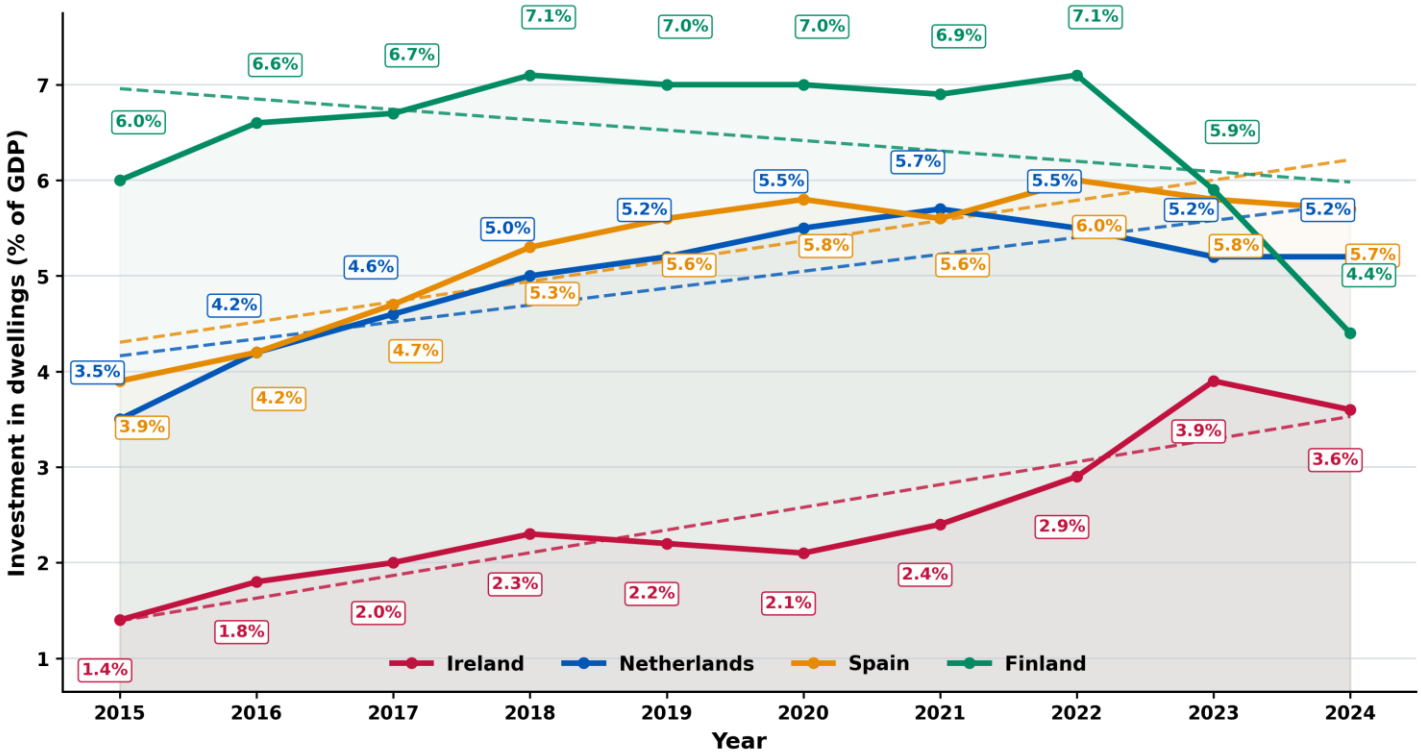


Figure 6. Residential Construction Investment, 2015–2024

Note. Gross fixed capital formation in dwellings is expressed as a share of GDP. Every annual observation is labelled; dashed lines are descriptive trends, not forecasts.

Source. Eurostat, tipsna50 (extracted 21 August 2026).

Sociological interpretation. Supply effort is necessary but not sufficient. Its sociological effect depends on whether construction creates secure dwellings in opportunity-rich locations for households excluded by prevailing prices.

3.7. Permits, Delivery Lags, and Institutional Capacity

Building permits measure an earlier stage of the supply pipeline. Their volatility demonstrates that price pressure and delivery capacity are not synchronised. Permits can respond to expectations, yet completions follow with delays and may be cancelled when financing or construction costs change. The 2015–2021 comparison therefore captures institutional responsiveness rather than current stock alone.

A permit index is shaped by planning systems and base-year conditions. Rapid growth from a low base does not prove adequacy, while stability in a mature system may coexist with shortage. Cross-country interpretation must connect the series to accumulated need, location, and tenure. The principal finding is that supply governance has its own institutional tempo, whereas young adults experience rent and household pressure immediately.

Delays between planning, permitting, infrastructure, construction, and occupancy produce distributional effects. Households with parental accommodation can wait; those leaving unsafe homes, care institutions, or unstable leases cannot. Administrative time is therefore socially stratified. Streamlining should focus on predictable coordination and public capacity, not simply removing standards that protect quality or communities.

Local governments are crucial because land use, transport, schools, and services determine effective supply. National funding without municipal staff or serviced land cannot produce timely units. Conversely, restrictive local politics can externalise young adults to distant areas. Multilevel governance must align housing targets with infrastructure and enforce fair territorial contribution.

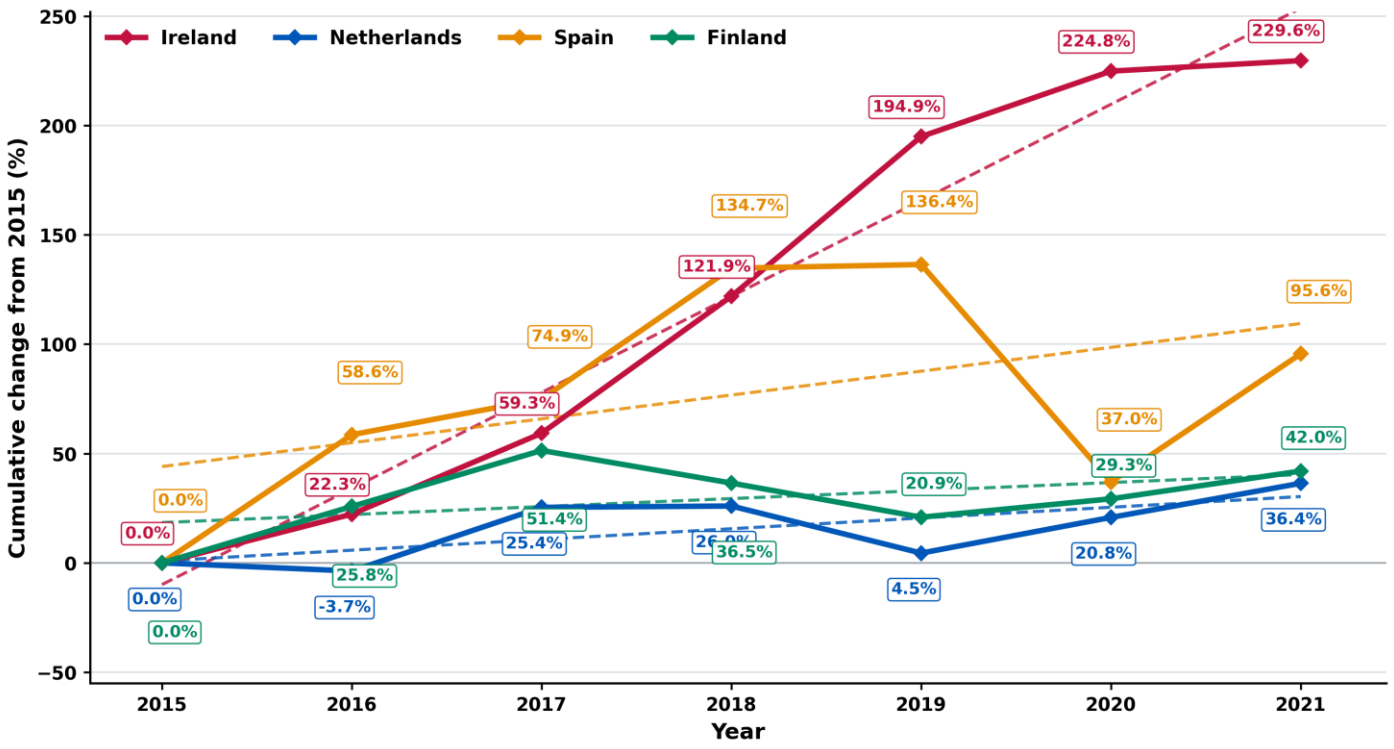


Figure 7. Cumulative Change in Residential Building-Permit Activity from 2015, 2015–2021

Note. Values show the cumulative percentage change relative to the 2015 baseline in the comparable residential-building permit series. Every annual observation is labelled; dashed lines are descriptive trends, not forecasts.

Source. Author's calculations from Eurostat, sts_cobp_a (extracted 21 August 2026).

Sociological interpretation. Permitting exposes the time gap between recognised demand and actual occupancy. Families with housing space absorb this delay privately, while unsupported young adults face repeated moves, long commutes, or exclusion from high-opportunity regions.

3.8. Social Rental Housing as an Autonomy Institution

Social rental housing provides a non-market route to secure occupancy, but its scale differs dramatically. The Netherlands has by far the largest stock among the cases, Finland and Ireland maintain meaningful but smaller sectors, and Spain's stock is minimal. These shares help explain whether family support is one option among several or the default substitute for public capacity.

A large stock does not eliminate scarcity. Dutch queues and eligibility boundaries illustrate insider–outsider effects: incumbent tenants benefit from security, while entrants who do not qualify for social housing and

cannot afford market rent face a narrow corridor. Allocation systems must therefore be evaluated by waiting time, turnover, geographic match, and accessibility to single young adults, not only by stock size.

Ireland's social sector operates under intense demand and broader supply shortage. Finland's municipal and non-profit traditions provide a stronger institutional alternative, although fiscal and market pressures can affect production. Spain's low share institutionalises family accommodation and ownership assistance. The social cost appears as delayed autonomy, unequal mobility, and intensified dependence on parental tenure.

Social housing should not be designed solely as emergency shelter for the poorest households. A broader cost-rental or limited-profit sector can stabilise rents, support labour mobility, and reduce stigma. At the same time, targeting may be necessary under scarcity. The policy challenge is to expand stock enough that allocation does not force a zero-sum conflict between vulnerable groups and young entrants.

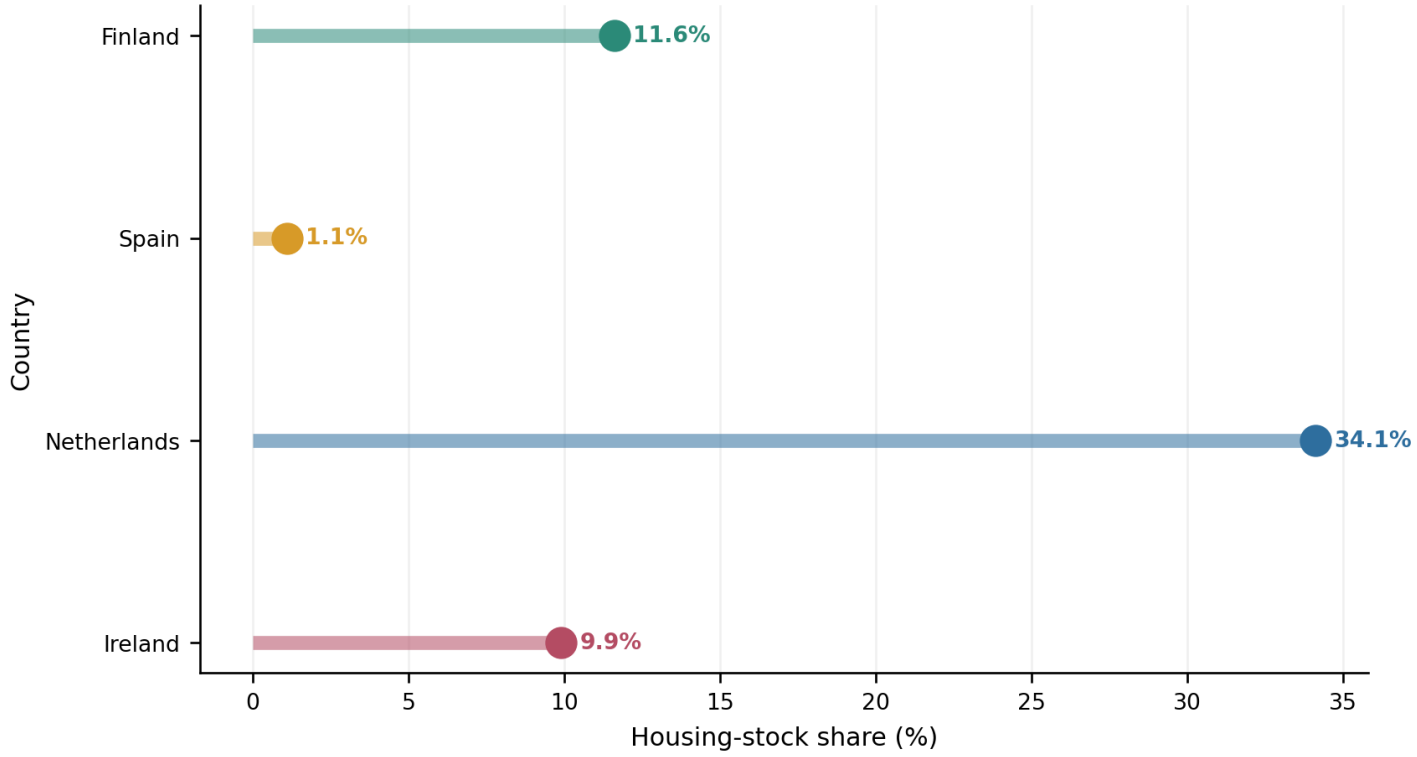


Figure 8. Social Rental Dwellings as a Share of the Housing Stock

Note. Values refer to 2022 or the latest available year and are rounded to one decimal. National definitions vary; percentages indicate scale rather than identical legal arrangements.

Source. OECD Affordable Housing Database, indicator PH4.2 (2024 edition).

Sociological interpretation. The size of the non-market sector changes the family's role. Spain's minimal stock makes private kin resources a central access mechanism; the Netherlands socialises more risk but reallocates inequality through queues and eligibility boundaries.

3.9. Integrated Comparative Findings

Ireland represents dual-market blockage: purchase and rental costs escalate while accumulated undersupply limits exit. Residential autonomy becomes highly sensitive to parental deposits, employer location, and access to scarce social housing. The Netherlands represents allocation blockage: a strong social institution protects many households, but queues and private-segment prices exclude new entrants in the middle. Spain represents familialised blockage: low social stock and ownership orientation transfer adjustment to co-residence and intergenerational property resources. Finland represents differentiated blockage: broader rental options reduce systemic family dependence, yet local demand and construction cycles create unequal access.

These are not stages on one path. Increasing social stock alone will not solve Ireland's infrastructure bottleneck; expanding ownership credit in Spain can raise prices without creating rental mobility; deregulating Dutch rents cannot remove physical shortage; and national Finnish stability can conceal city-level scarcity. Policy sequencing must follow the mechanism producing exclusion.

The comparison also clarifies why delayed autonomy should not be measured by one threshold. A 29-year-old living with parents in Spain while saving from stable work differs from an unemployed person without locational options, and both differ from a Dutch worker waiting for regulated housing while paying an expensive temporary rent. Policy requires categories based on capabilities and constraints rather than age alone.

Table 5. Country-specific policy architecture for residential autonomy

Country	Immediate intervention	Structural supply reform	Distributional safeguard	Expected sociological effect
Ireland	Cost-rental expansion, vacancy mobilisation, deposit-neutral access	Serviced land, infrastructure and sustained affordable construction	Priority for unsupported young adults and insecure renters	Reduce dual-market blockage and parental-deposit dependence
Netherlands	Transparent queues and transitional middle-income rental	Accelerate social, cooperative and affordable rental supply	Protect incumbents while opening entry pathways	Reduce insider–outsider segmentation
Spain	Youth-accessible public rental and rehabilitation of vacant stock	Build durable municipal/non-profit rental capacity	Avoid buyer subsidies capitalised into prices	Replace compulsory familialism with plural access
Finland	Preserve affordable urban rental pathways	Coordinate municipal supply with employment and transport	Monitor regional and low-income exclusion	Sustain mobility while limiting metropolitan sorting
European Union	Long-term affordable-housing finance and common access metrics	Support public, cooperative and limited-profit delivery	Track age, family wealth, tenure and locality	Treat autonomy as social infrastructure rather than private inheritance

Note. Recommendations are mechanism-specific and require national and local adaptation.

Source. Author's synthesis based on the findings, OECD (2024, 2026), and Housing Europe (2023).

Sociological interpretation. Policy should redistribute effective options, not merely units or subsidies. The central test is whether a young adult without parental property can obtain secure, adequate housing near opportunity on terms compatible with an ordinary income.

4. CONCLUSION, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

4.1. Discussion

The comparison demonstrates that the housing crisis restructures adulthood through several independent but interacting mechanisms. Asset inflation raises the ownership threshold; rental inflation raises the price of mobility; tenure architecture determines available channels; labour status shapes institutional acceptance;

supply systems operate with delays; and social housing changes whether risk is collectively or privately absorbed. Residential delay is therefore not an individual residual after 'economic factors' are considered. It is the biographical expression of housing institutions.

Ireland shows the consequences of dual escalation under supply constraint. Even stable workers can remain dependent when advertised rents and purchase prices detach from early-career resources. Assistance from parents becomes a market credential: a guarantee or deposit converts family property into access. The apparent private solution reproduces class advantage and can transfer pressure to older households.

The Netherlands demonstrates that a large social sector is a necessary but not sufficient condition for autonomy. Stock protects many residents and restrains some market exposure, yet waiting lists and eligibility thresholds divide insiders, outsiders, and the missing middle. The policy lesson is not to abandon social renting, but to expand it and improve entry, mobility, and allocation transparency.

Spain reveals how limited non-market supply makes the family a de facto housing institution. Co-residence can preserve material security and express solidarity, but its necessity narrows geographic and relational choice. Employment does not consistently generate exit because rental and ownership channels remain difficult. Buyer subsidies risk strengthening this model if they raise demand without creating affordable supply.

Finland offers relatively plural pathways, illustrating the autonomy benefits of ordinary rental access and non-profit or municipal provision. Nonetheless, national price moderation does not eliminate local barriers, cyclical construction, or income inequalities. Institutional resilience requires maintenance, not complacency, particularly when fiscal consolidation or market concentration threatens supply.

Across cases, parental wealth becomes a shadow welfare state. It supplies insurance quickly and responsively, but eligibility is determined by birth. Reliance on this system can reduce visible homelessness while increasing invisible dependency. Young adults whose parents lack property may accept poorer locations, insecure tenancies, crowding elsewhere, or foregone opportunities. The absence of a public claim is not evidence of need being met.

The housing-capabilities framework offers a more precise evaluative standard than ownership rates or departure age. Entry, maintenance, location, and exit can be assessed separately. Policies that enable entry through high debt but undermine maintenance do not produce secure autonomy. Cheap housing far from employment weakens locational capability. Tenancy without an enforceable exit from abuse or arbitrary eviction remains incomplete.

The findings also illuminate political conflict. Housing appreciation appears beneficial in aggregate wealth accounts, yet the gain is inaccessible to non-owners and may increase their future costs. Policy frequently protects incumbent asset values while presenting young adults with savings advice. A democratic housing strategy must acknowledge distributional trade-offs openly rather than treating price growth as universally positive.

Methodologically, the article shows the value of separating market, household, tenure, and supply indicators. The earlier transition literature often begins with home-leaving outcomes; the present design begins with access institutions. This shift prevents cultural explanations from filling gaps left by underspecified housing mechanisms. Future research should link administrative rent and transaction records with longitudinal household data and qualitative accounts of negotiation inside families.

Further work should also examine intersectional barriers. Migrants may face documentation or discrimination; young people leaving care lack a parental fallback; disabled young adults need accessible housing; LGBTQ+ youth may be unable to remain safely at home; and rural youth encounter different trade-offs between cost and opportunity. National averages are only the beginning of a sociology of residential capability.

4.2. Conclusion and Recommendations

The principal conclusion is that residential autonomy should be treated as social infrastructure. It enables participation in employment, education, care, and community life. When access depends on parental property, adulthood becomes inherited. Housing policy must therefore be assessed by whether an ordinary young adult without family wealth can establish and sustain an adequate household.

First, governments should expand permanently affordable rental supply through municipal, cooperative, cost-rental, and limited-profit models. Public land and long-term finance should be tied to affordability covenants that survive initial occupancy. Targets must specify location, dwelling size, accessibility, and entry opportunities for single young adults rather than counting units without social function.

Second, supply governance must coordinate planning, infrastructure, and delivery. Faster procedures are useful only when public capacity, serviced land, transport, and quality standards are aligned. Permit monitoring should follow projects through completion and occupancy. Local resistance cannot be allowed to externalise young adults indefinitely to distant regions.

Third, demand support should be tenure-neutral and designed to avoid capitalisation. Deposit assistance, mortgage relief, or rent allowances can help particular households, but in rigid markets they may raise prices.

Support should be paired with supply and evaluated for incidence across landlords, sellers, entrants, and incumbent owners.

Fourth, social-housing allocation should recognise transitional and middle-income exclusion without displacing households in acute need. Transparent waiting-time data, portable applications, turnover support, and intermediate cost-rental products can reduce insider–outsider divisions. A sufficiently large stock is the best protection against zero-sum targeting conflict.

Fifth, young adults need maintenance and exit rights as well as entry. Predictable rents, minimum contract security, anti-discrimination enforcement, emergency arrears support, and a right to human review of automated tenant screening protect autonomy after departure. Special pathways are required for care leavers and people escaping unsafe homes.

Sixth, housing statistics should report family-wealth dependence directly. Monitoring should include deposits financed by relatives, parental guarantees, inheritance expectations, waiting times, advertised entry rents, involuntary returns, and locational sacrifice. Without these indicators, private transfers make institutional failure appear as successful family adaptation.

Finally, policy should support intergenerational solidarity without making it compulsory. Families should be able to help through affection and reciprocity, not because no alternative exists. A housing system compatible with democratic adulthood is one in which parental support improves comfort but does not determine access to privacy, opportunity, or an independent future.

REFERENCES

Aalbers, M. B. (2016). *The financialization of housing: A political economy approach*. Routledge.

Arundel, R., & Ronald, R. (2016). Parental co-residence, shared living and emerging adulthood in Europe. *Journal of Youth Studies, 19*(7), 885–905.

Clapham, D., Mackie, P., Orford, S., Thomas, I., & Buckley, K. (2014). The housing pathways of young people in the UK. *Environment and Planning A, 46*(8), 2016–2031.

Eurostat. (2026a). *House price index—annual data* [Data set prc_hpi_a]. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/prc_hpi_a/default/table?lang=en

Eurostat. (2026b). *Harmonised index of consumer prices—annual index* [Data set prc_hicp_aind]. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/prc_hicp_aind/default/table?lang=en

Eurostat. (2026c). *Share of young adults living with parents by economic status* [Data set ilc_lvps09]. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ilc_lvps09/default/table?lang=en

Eurostat. (2026d). *Distribution of population by tenure status* [Data set ilc_lvho02]. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ilc_lvho02/default/table?lang=en

Eurostat. (2026e). *Residential construction—annual data* [Data set tipsna50]. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tipsna50/default/table?lang=en

Eurostat. (2026f). *Building permits by type of building—annual data* [Data set sts_cobp_a]. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sts_cobp_a/default/table?lang=en

Feraru, P. D. (2026). Youth under overlapping crises: Social resilience, collective anxiety and emerging modes of participation in the European Union. In *Proceedings of the 1st International Nessebar Scientific Research and Innovation Congress* (pp. 161–190). Bilsel Publishing.

Forrest, R., & Yip, N.-M. (Eds.). (2013). *Young people and housing: Transitions, trajectories and generational fractures*. Routledge.

Forrest, R., & Hirayama, Y. (2015). The financialisation of the social project: Embedded liberalism, neoliberalism and home ownership. *Urban Studies, 52*(2), 233–244.

Housing Europe. (2023). *The state of housing in Europe 2023*. Housing Europe.

Kemeny, J. (1995). *From public housing to the social market: Rental policy strategies in comparative perspective*. Routledge.

Lennartz, C., Arundel, R., & Ronald, R. (2016). Younger adults and homeownership in Europe through the global financial crisis. *Population, Space and Place, 22*(8), 823–835.

Madden, D., & Marcuse, P. (2016). *In defense of housing: The politics of crisis*. Verso.

OECD. (2024). *OECD Affordable Housing Database*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd.org/housing/data/affordable-housing-database/

OECD. (2026). *Tackling the affordability gap through increased supply of affordable and social housing*. OECD Publishing.

Ronald, R., & Lennartz, C. (2018). Housing careers, intergenerational support and family relations. *Housing Studies, 33*(2), 147–159.

Schwartz, H. M., & Seabrooke, L. (Eds.). (2008). *The politics of housing booms and busts*. Palgrave Macmillan.

Stone, J., Berrington, A., & Falkingham, J. (2014). Gender, turning points, and boomerangs: Returning home in young adulthood in Great Britain. *Demography, 51*(1), 257–276.

Waldron, R. (2023). Generation rent and housing precarity in post-crisis Europe. *Housing Studies, 38*(4), 569–590.

WORK UNDER ALGORITHMIC SURVEILLANCE: PROFESSIONAL AUTONOMY, DIGITAL CONTROL, AND PSYCHOSOCIAL RISKS IN EMERGING WORK ENVIRONMENTS

PhD Petronela Daniela FERARU

National College Iași and 'Ion Neculce' High School, Târgu Frumos, Romania, Sociology,

daniela_feraru_p@yahoo.com, ORCID: 0009-0009-8954-6336

Abstract

Algorithmic management is transferring task allocation, scheduling, evaluation, reward, and behavioural monitoring from visible supervisors to data-driven systems. This article examines how that transfer reorganises professional autonomy, power, and psychosocial risk across conventional and platform-mediated work. It combines labour-process theory, surveillance studies, and the sociology of professions with a structured secondary analysis of the European Commission Joint Research Centre's AIM-WORK findings, EU-OSHA's OSH Pulse 2025 survey, and the 2026 Eurofound–European Labour Authority survey of online platform workers. The evidence distinguishes digital tool use from digital monitoring and algorithmic decision-making, thereby avoiding the assumption that all digitalisation has the same consequences. The findings show that 90% of EU workers use digital devices and 30% use artificial intelligence, while 37% are digitally monitored for working time and 24% experience automatic working-time allocation. Exposure is organised into unequal regimes: partial platformisation is widespread, whereas comprehensive control affects 43% of surveyed online platform workers. The sociological effects depend on whether information is reciprocal, whether metrics are contestable, and whether workers retain discretion over pace, sequence, and professional judgment. Opaque evaluation can generate anticipatory stress, defensive compliance, unpaid visibility work, and weakened solidarity even when systems improve coordination. The article develops the concept of negotiated algorithmic governance and recommends enforceable rights to explanation, human review, collective participation, proportional data collection, psychosocial risk assessment, and limits on high-stakes automation.

Keywords: algorithmic management; workplace surveillance; professional autonomy; psychosocial risks; digital labour

1. INTRODUCTION

Management has always depended on information. Supervisors observe attendance, allocate work, compare performance, and impose consequences. What changes under algorithmic management is the scale, continuity, and architecture of observation. Digital systems can capture keystrokes, location, communication patterns, task duration, customer ratings, biometric signals, and workflow sequences; they can convert those traces into scores that organise schedules, bonuses, training, promotion, or termination. Control becomes simultaneously more granular and less visible.

The spread of these systems cannot be understood as a simple substitution of machines for managers. Algorithms are organisational arrangements built from managerial objectives, data categories, thresholds, and assumptions. A model that predicts productivity embeds a definition of valuable work; a dashboard that ranks employees determines which activities become visible; an automated schedule distributes desirable and undesirable time. Technical design is therefore also institutional design.

Professional autonomy refers to the capacity to exercise judgment over the content, sequence, pace, and standards of work. It is not unlimited individual freedom. Medicine, education, logistics, administration, and customer service all require coordination and accountability. The sociological question is whether accountability remains dialogical and context-sensitive or becomes unilateral measurement against categories workers cannot inspect or challenge.

Algorithmic surveillance extends beyond platform work. Delivery platforms made ratings, automated allocation, and dynamic incentives highly visible, but similar functions now appear in warehouses, call centres, hospitals, schools, finance, public administration, transport, and remote office work. The boundary between a platform and a conventional organisation becomes porous when the employment relationship is mediated through dashboards, applications, rankings, and automated workflows (Rosenblat, 2018; Vallas & Schor, 2020).

Digital monitoring may support safety, accurate payment, workload balancing, and the detection of discriminatory decisions. The same infrastructure can intensify work, infer sensitive traits, normalise constant availability, and relocate risk to workers. Effects depend on purpose, proportionality, transparency, data retention, worker participation, and the consequences attached to a metric. A technology cannot be classified as empowering or oppressive without examining the social relation in which it operates.

Psychosocial risks emerge when job demands exceed available resources or when uncertainty, low control, injustice, and social isolation become durable features of work. Algorithmic systems can accelerate these

pathways because feedback is continuous and consequences can be immediate. Workers may monitor themselves before any sanction occurs, producing anticipatory compliance. The psychological burden lies not only in being watched but in having to infer what the system values.

Three questions guide the article. How prevalent are digital monitoring and algorithmic-management functions in contemporary European work? Through which mechanisms do they affect discretion, intensity, and psychosocial well-being? Which governance arrangements can transform unilateral data extraction into accountable coordination? The central argument is that autonomy depends less on the presence of technology than on the distribution of interpretive and decision rights around it.

The article contributes a negotiated algorithmic governance framework. Negotiation is used in a substantive rather than ceremonial sense: workers and their representatives require information before adoption, influence over objectives and indicators, access to impact assessments, rights to contest individual outcomes, and collective capacity to suspend harmful uses. Human review must be competent, independent, and empowered to change the decision rather than merely endorse it.

1.1. Theoretical and Conceptual Framework

1.1.1. Labour Process, Control, and the Digital Panopticon

Labour-process theory begins from the indeterminacy of labour power. Employers purchase capacity, not a guaranteed quantity or quality of effort, and therefore construct systems of control. Direct supervision, technical control through machinery, and bureaucratic rules have historically combined rather than replaced one another. Algorithmic management adds a computational layer that can integrate these forms in real time (Aloisi & De Stefano, 2022; Baiocco et al., 2022; Kellogg et al., 2020; Wood, 2021).

Digital control is distinctive because it produces a recursive loop. Behaviour generates data; data produce classifications; classifications shape assignments and incentives; workers adapt to those incentives; and the resulting behaviour becomes new training data. The system does not merely record work but participates in making the worker it measures. Metrics can narrow practice as employees optimise what is counted and avoid valuable activities that are invisible.

Surveillance theory highlights internalisation. When observation may be continuous but its timing and evaluative logic are uncertain, workers regulate themselves. Contemporary dashboards differ from the classic visible supervisor because the observer is distributed across software, vendors, analysts, clients, and managers.

Opacity makes resistance difficult: workers may know they are scored without knowing which data mattered or how errors can be corrected (Moore, 2018; Zuboff, 2019).

Feraru's (2026a) discussion of the algorithmic economy situates these workplace dynamics within a broader reorganisation of economic power around data infrastructures. The present analysis specifies the employment relation: control is exercised not simply through ownership of technology but through unequal rights to define indicators, interpret outputs, and impose consequences.

1.1.2. Professional Autonomy and Datafied Judgment

Professional autonomy is grounded in knowledge, discretion, and responsibility. Complex work contains uncertainty that cannot be fully specified in advance. Clinicians interpret symptoms, teachers adapt to learners, engineers balance competing constraints, and service workers manage emotionally charged encounters. Standardisation can protect quality, but excessive metricisation treats contextual judgment as noise.

Datafication changes the evidentiary hierarchy of organisations. Quantified traces can appear objective because they are precise, yet precision does not establish validity. Call duration may be accurate but incomplete as a measure of service; delivery time may ignore traffic and accessibility; research output counts may obscure collaboration and intellectual risk. When proxy measures acquire disciplinary consequences, workers perform the proxy rather than the underlying public or professional value.

Autonomy also has a collective dimension. Professional communities establish norms, deliberate about difficult cases, and protect members from arbitrary demands. Individualised rankings can weaken these relations by turning colleagues into competitors and withholding the information required to identify systemic problems. Solidarity declines when each worker sees only a personal score and interprets difficulty as private failure.

Feraru's (2025) analysis of artificial intelligence in educational and research professions is relevant because these sectors illustrate the tension between augmentation and substitution of judgment. Digital tools can support preparation and analysis, but governance must preserve responsibility, epistemic diversity, and the capacity to explain decisions to affected people.

1.1.3. Psychosocial Risk as an Organisational Outcome

Psychosocial risk is often individualised through resilience language, but its sources are organisational. High demands, low control, role ambiguity, unfair reward, insecurity, and weak support interact. Algorithmic management can increase demands by removing idle time, lower control through automated sequencing, create ambiguity through opaque scoring, and make reward unpredictable through dynamic targets.

Continuous measurement creates a temporal problem. Feedback that once occurred periodically can become permanent, producing vigilance and an inability to experience work as complete. Remote workers may engage in visibility labour: rapid replies, green-status maintenance, or performative activity designed to signal presence. These behaviours consume attention without necessarily improving output.

The effects are stratified. Workers with scarce skills, strong unions, or professional licensing may negotiate limits; temporary, migrant, outsourced, and nominally self-employed workers may lack access to information or appeal. Customer ratings can introduce discrimination while allowing platforms to treat bias as user preference. Vulnerability is therefore produced by the interaction of technology with labour-market position.

A balanced account recognises beneficial uses. Workload data can reveal unsafe staffing, automated allocation can reduce favouritism, and monitoring can document unpaid labour. The decisive question is whether workers can mobilise the data as a resource or whether information flows only upward. Reciprocity converts surveillance into potential accountability; asymmetry converts it into domination.

Table 1. Conceptual architecture of algorithmic control

Dimension	Organisational function	Autonomy risk	Potential benefit	Governance test
Data capture	Record time, location, activity, communication	Permanent visibility and privacy loss	Safety, accurate pay, workload evidence	Necessity and proportionality
Classification	Convert traces into profiles or scores	Proxy bias and decontextualisation	Consistent identification of patterns	Validity and discrimination audit
Allocation	Assign tasks, shifts, routes, or clients	Reduced control over time and sequence	Faster coordination and reduced favouritism	Worker influence and override
Evaluation	Rank output and behavioural conformity	Metric fixation and anticipatory stress	Timely feedback	Explainability and contextual review
Sanction/reward	Change pay, access, promotion, or status	Automated insecurity and due-process deficit	Consistent enforcement	Human decision and effective appeal

Note. The dimensions may be combined in one system; risk increases when data capture is connected directly to high-stakes consequences.

Source. Author's synthesis based on Kellogg et al. (2020), Wood (2021), Moore (2018), and JRC (2026a).

Sociological interpretation. Algorithmic control is a chain of institutional decisions. Governance must intervene at every stage rather than treating the final output as the only ethically relevant event.

2. METHOD

The study uses a structured secondary-analysis design that integrates three complementary evidence sources. The Joint Research Centre (JRC) AIM-WORK survey provides representative EU evidence on digital-device use, artificial intelligence, monitoring, algorithmic management, and platformisation in 2024–2025. The European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) OSH Pulse 2025 connects digitalisation with occupational safety and psychosocial risk. The Eurofound–European Labour Authority (ELA) survey provides detailed evidence from 3,830 online platform workers across 15 Member States.

The datasets have different populations and sampling strategies. AIM-WORK concerns the EU workforce; OSH Pulse surveys workers about occupational safety and digital change; the Eurofound–ELA study uses a targeted convenience sample of online platform workers, with 300–500 respondents per participating country. Percentages are therefore not pooled. Each figure preserves its source-specific denominator and is interpreted within its sampling frame.

Indicators are organised into exposure, control, and consequence. Exposure includes digital-device and AI use. Control includes monitoring of time and presence, automated allocation, automated evaluation, and composite platformisation. Consequence is analysed through autonomy, skill matching, unpaid time, psychosocial pathways, and access to appeal. The design distinguishes technology use from managerial control because a writing tool and a disciplinary scoring system are sociologically different even when both use AI.

Figures reproduce or transparently reorganise published headline percentages. Figure 9 uses rounded shares corresponding to the Eurofound–ELA description: just over half report skill match, one quarter report insufficient skills, and one fifth could undertake more demanding work. No causal estimate is inferred. Trend lines are not used because the evidence is cross-sectional and a trend would imply temporal information the sources do not contain.

The legal analysis examines Regulation (EU) 2016/679, Regulation (EU) 2024/1689, and Directive (EU) 2024/2831. These instruments have different scopes: data protection is general, the AI Act is risk-based, and the

Platform Work Directive provides sector-specific rights concerning automated monitoring and decision systems. The analysis evaluates complementarities and remaining gaps for conventional employees.

Limitations are material. Self-reports may not capture hidden monitoring. Workers may not know when algorithms influence decisions. Cross-sectional associations cannot establish causality, and aggregate EU figures conceal sectoral and national variation. The platform-worker survey is analytically rich but not a prevalence survey. Published categories also compress heterogeneous technologies into broad functions.

Ethically, the article avoids presenting workers as passive objects. Adaptation, gaming, mutual support, and collective contestation are forms of agency, although they occur within unequal structures. The analysis also avoids technological determinism: organisational objectives, procurement choices, employment contracts, and regulation mediate every observed effect.

Table 2. Evidence base and analytical use

Source	Population / scope	Principal measures	Use in article	Key limitation
JRC AIM-WORK (2024–2025)	Workers in all EU Member States	Digital tools, AI, monitoring, algorithmic functions, platformisation	Figures 1–5 and regular-work analysis	Cross-sectional self-report
EU-OSHA OSH Pulse 2025	Workers across the EU	Digitalisation, platform income, psychosocial and OSH exposure	Figure 8 and risk interpretation	Awareness of hidden systems varies
Eurofound–ELA 2026	3,830 online platform workers in 15 Member States	Control regimes, skills, income, working conditions	Figures 6, 7, and 9	Targeted convenience sample
EU legal instruments	EU regulatory framework	Data, high-risk AI, platform-work rights	Governance assessment	Fragmented scope and implementation

Note. Percentages retain the denominator and definitions of their original source; they are not combined into a single index.

Source. JRC (2026a), Mariscal-de-Gante Martín et al. (2026), EU-OSHA (2025), Eurofound and ELA (2026), and EUR-Lex.

Sociological interpretation. Triangulation reveals different layers of the same transformation: general exposure, organisational control, platform-specific intensity, and legal capacity to contest decisions.

3. FINDINGS

3.1. Digitalisation Is Widespread but Algorithmic Control Is Selective

Digital devices are now ordinary work infrastructure. AIM-WORK reports that 90% of EU workers use digital devices, while 30% use AI for work-related purposes. This difference matters analytically. Digitalisation is

nearly universal, but AI adoption remains concentrated by occupation, sector, and country. Neither measure establishes surveillance: a worker may use sophisticated tools while retaining substantial discretion.

The high baseline of digital use expands organisational capacity to introduce monitoring without visible hardware change. Functions can be added through software updates, enterprise platforms, access cards, mobile applications, or analytics modules. Surveillance may therefore grow incrementally and be experienced as a feature rather than a new managerial institution.

AI use is especially common in office-based work and in Northern and Central Europe. This distribution complicates narratives that algorithmic management concerns only low-skilled platform labour. Knowledge workers may encounter less physical tracking but more analysis of communication, document production, network position, or performance patterns.

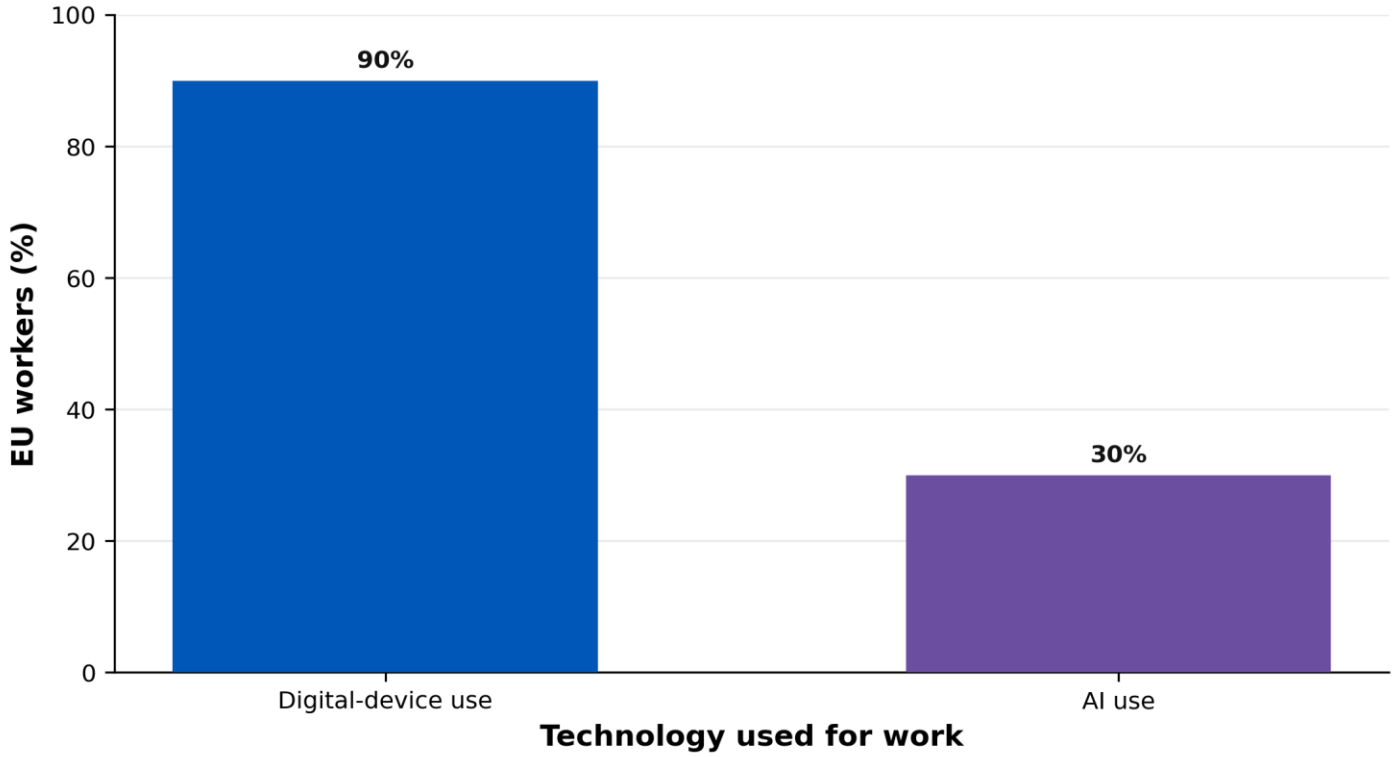


Figure 1. Use of Digital Devices and Artificial Intelligence at Work in the EU

Note. Bars report the share of EU workers using digital devices and AI for work-related purposes in 2024–2025. The categories overlap because AI users generally also use digital devices.

Source. Joint Research Centre AIM-WORK headline findings (JRC, 2026a).

Sociological interpretation. The distance between digital-device use and AI use identifies a layered transformation. Digital dependence is general, while AI-mediated work remains stratified and can produce new divisions in visibility, skill, and bargaining power.

3.2. AI Is Primarily an Augmentative Text and Information Technology

Among reported work-related AI uses, writing accounts for 65% and translation for 59%. Data processing and discussion of ideas account for 38%, followed by transcription, image generation, planning, and customer advice. These functions show augmentation of cognitive and communicative work rather than a simple replacement of occupations.

Augmentation can still reorganise control. Templates may standardise tone, prompts can prescribe reasoning steps, and generated text can make output easier to count. Workers may gain speed while losing authorship or being expected to produce more within the same time. Productivity gains become psychosocial risks when staffing and targets are adjusted before workers can participate in redesign.

The prominence of language tasks raises questions about epistemic responsibility. Errors may be difficult to attribute when employees are required to use systems but remain individually accountable for outcomes. Professional autonomy requires the right to verify, refuse, and document disagreement with an automated suggestion.

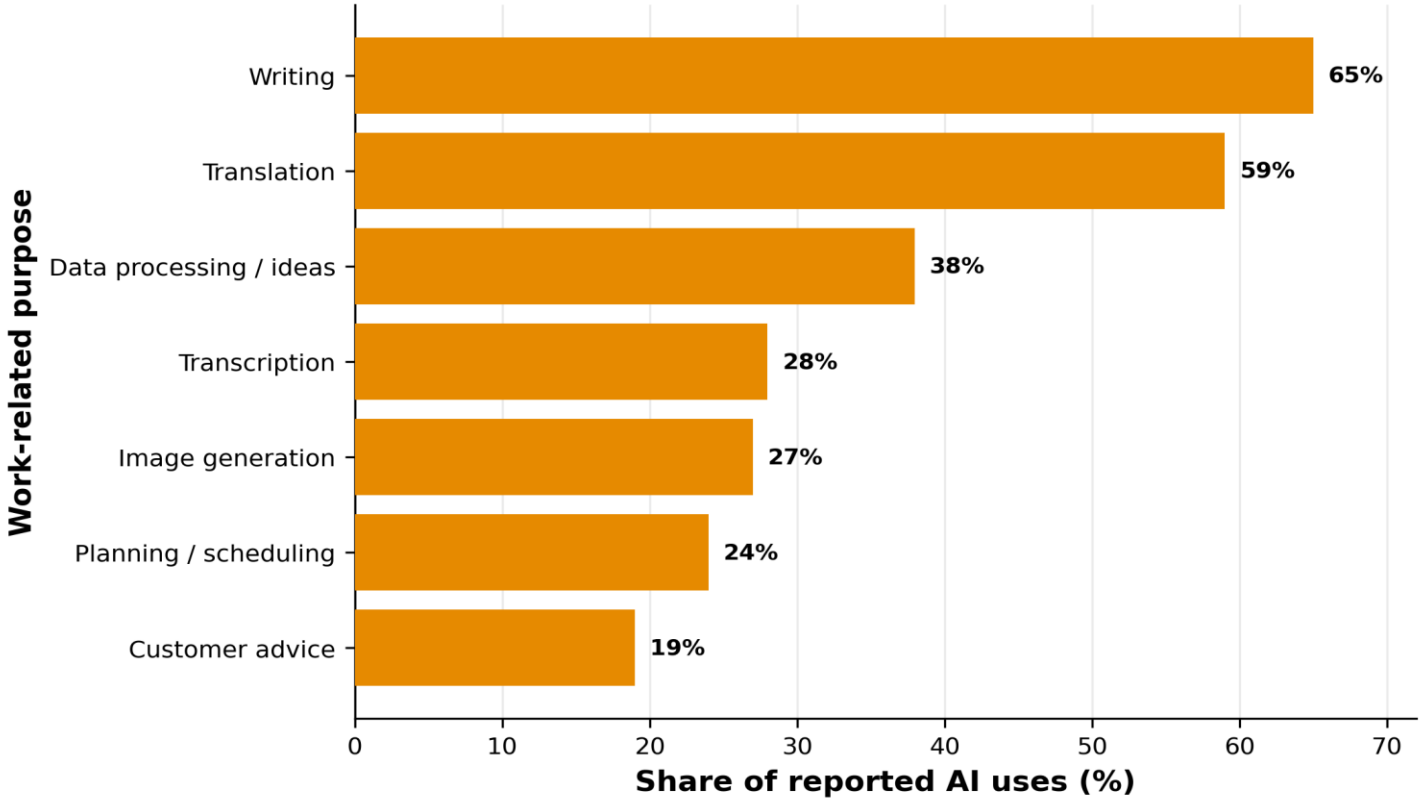


Figure 2. Reported Work-related Purposes of Artificial Intelligence Use

Note. Percentages refer to the distribution of reported AI uses; respondents may report multiple purposes, so categories do not sum to 100%.

Source. Joint Research Centre AIM-WORK headline findings (JRC, 2026a).

Sociological interpretation. AI enters work through everyday cognitive tasks. Its organisational significance lies in how higher output expectations, standardised expression, and responsibility for machine-assisted errors redistribute autonomy and risk.

3.3. Monitoring Concentrates on Time and Presence

Working hours are digitally monitored for 37% of EU workers and entry or exit times for 36%. These are familiar managerial concerns, but digitalisation changes their resolution and connectivity. Time data can be linked to task systems, location, communication, and performance, converting attendance records into behavioural profiles.

Time monitoring is not inherently illegitimate. Accurate records can protect pay and reveal excessive hours. The sociological problem is function creep: data collected for payroll may later influence evaluation, promotion,

or discipline without renewed consultation. Workers cannot assess fairness when purposes are broad and retention indefinite.

Presence measures also privilege visible availability. In hybrid work, rapid responsiveness can become a proxy for commitment; in logistics, location can become a proxy for effort. These equivalences disregard care, accessibility, task complexity, and collaborative contributions.

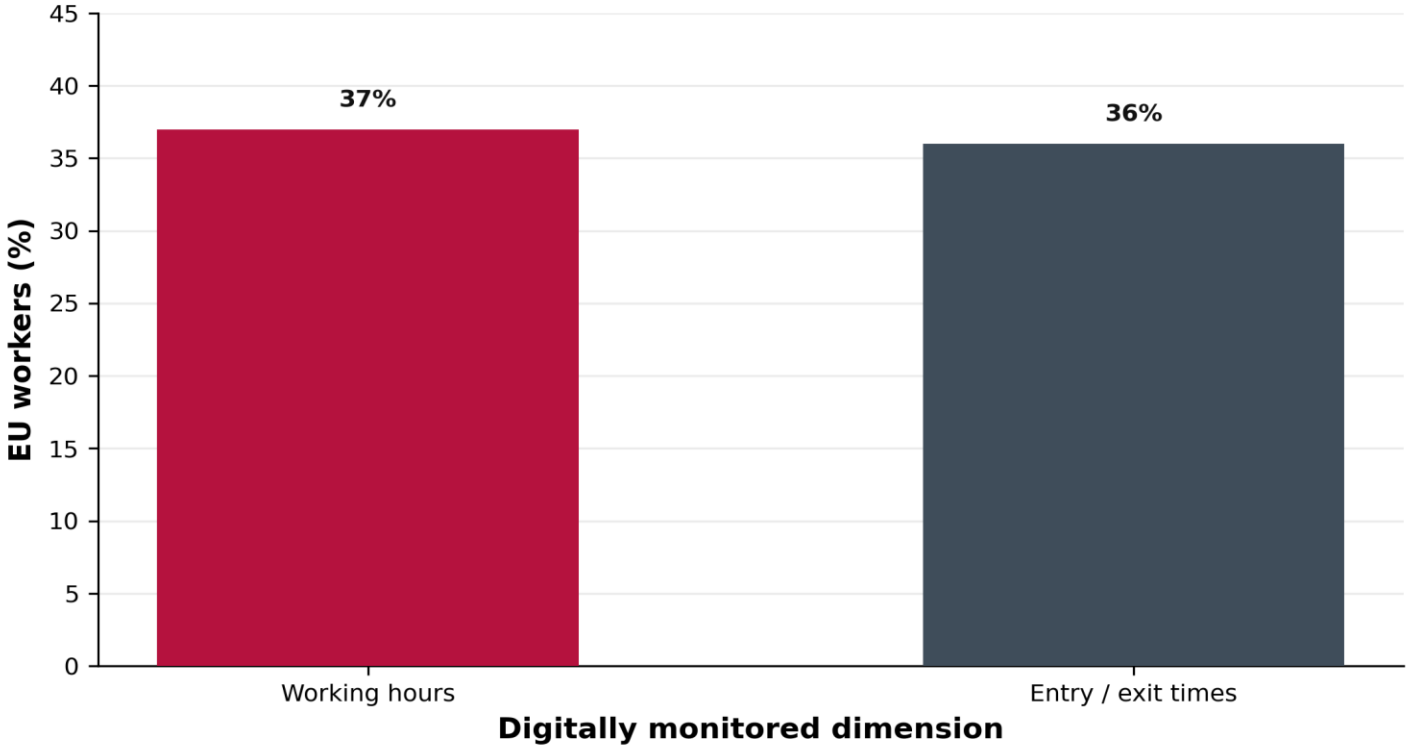


Figure 3. Most Common Forms of Digital Monitoring in EU Workplaces

Note. Bars show the two most prevalent digitally enabled monitoring practices reported in AIM-WORK. Other forms, including location and activity monitoring, occur at lower and sectorally variable levels.

Source. Joint Research Centre AIM-WORK headline findings (JRC, 2026a).

Sociological interpretation. Monitoring begins with apparently administrative variables but can create a culture in which time and presence substitute for trust. When connected to evaluation, the employment relationship shifts from accountable performance to continuous proof of availability.

Table 3. Mechanisms linking monitoring to psychosocial risk

Monitoring practice	Immediate worker demand	Psychosocial pathway	Unequal exposure	Protective design
Time logging	Maintain measurable activity	Time pressure and inability to pause	Hourly, warehouse, and remote workers	Pay accuracy; exclude intensity inference
Location tracking	Remain within prescribed space or route	Hypervigilance and reduced discretion	Drivers, couriers, field and construction workers	Safety-only purpose; short retention
Communication analytics	Produce visible interactions	Self-censorship and relational anxiety	Office and customer-facing workers	Content minimisation; aggregate analysis
Biometric / affect inference	Submit bodily or emotional signals	Dignity loss and identity threat	Safety-critical and service workers	Prohibit unjustified inference
Customer ratings	Manage client perception continuously	Emotional labour and discriminatory exposure	Platform and frontline workers	Bias audit; contextual appeal

Note. The pathways are analytical and may coexist; harm depends on consequences, opacity, and available worker resources.

Source. Author's synthesis based on EU-OSHA (2024, 2025), Moore (2018), and International Labour Organization [ILO] (2025).

Sociological interpretation. Psychosocial harm is not located in data collection alone. It emerges when monitoring redistributes uncertainty downward and requires workers to manage risks created by organisational measurement choices.

3.4. Algorithmic Management Automates Coordination and Evaluation

AIM-WORK estimates that 24% of EU workers have working time allocated automatically, while 13% experience automated performance assessment and reward. Allocation is more prevalent because scheduling can be automated without delegating formal disciplinary authority. Yet control over time is a core dimension of job quality.

An automated schedule can coordinate demand efficiently but may destabilise care, travel, and recovery when notice is short or preferences are weakly weighted. The interface can make a managerial choice appear inevitable. Workers may be told that the system cannot accommodate an exception even though parameters were chosen by the organisation.

Automated evaluation is less prevalent but higher stakes. Performance scores can influence income and continued access to work. Errors compound when human reviewers lack authority, training, or time. A nominal human in the loop does not constitute meaningful review if the algorithmic recommendation is routinely accepted.

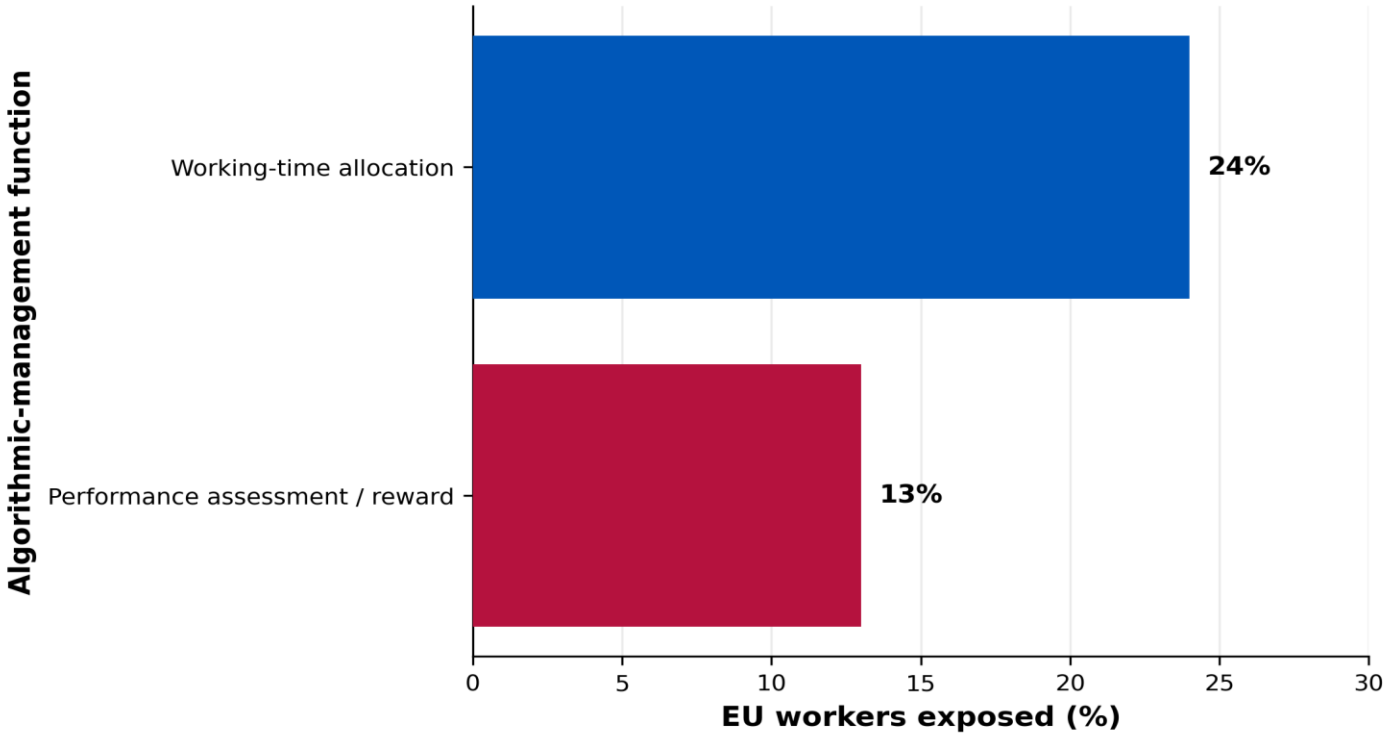


Figure 4. Selected Algorithmic-management Functions in the EU Workforce

Note. Percentages show workers reporting automatic allocation of working time and automatic performance assessment or reward. The functions can overlap.

Source. Joint Research Centre AIM-WORK headline findings (JRC, 2026a).

Sociological interpretation. Algorithmic management first colonises coordination and then evaluation. Control over schedules can restrict autonomy even before algorithms formally decide sanctions or pay.

3.5. Platformisation Extends Beyond Platform Employment

The AIM-WORK typology shows that only 6% of workers use no digital tools and 33% use digital tools without monitoring or algorithmic management. Forty-two percent experience partial platformisation, while smaller groups experience informational, physical, or full platformisation. The categories sum to 99% because of published rounding.

Platformisation describes an organisational logic rather than an employment label. A bank analyst, warehouse worker, nurse, or civil servant can be platformised when access to tasks, information, evaluation, and communication is mediated through digital systems. This framework avoids treating platform workers as an exceptional population detached from ordinary workplaces.

Physical platformisation is concentrated in mining, transport, and logistics; informational platformisation is common in finance and insurance. Full platformisation combines multiple forms and is associated with worse working conditions. The cumulative architecture matters more than any single tool.

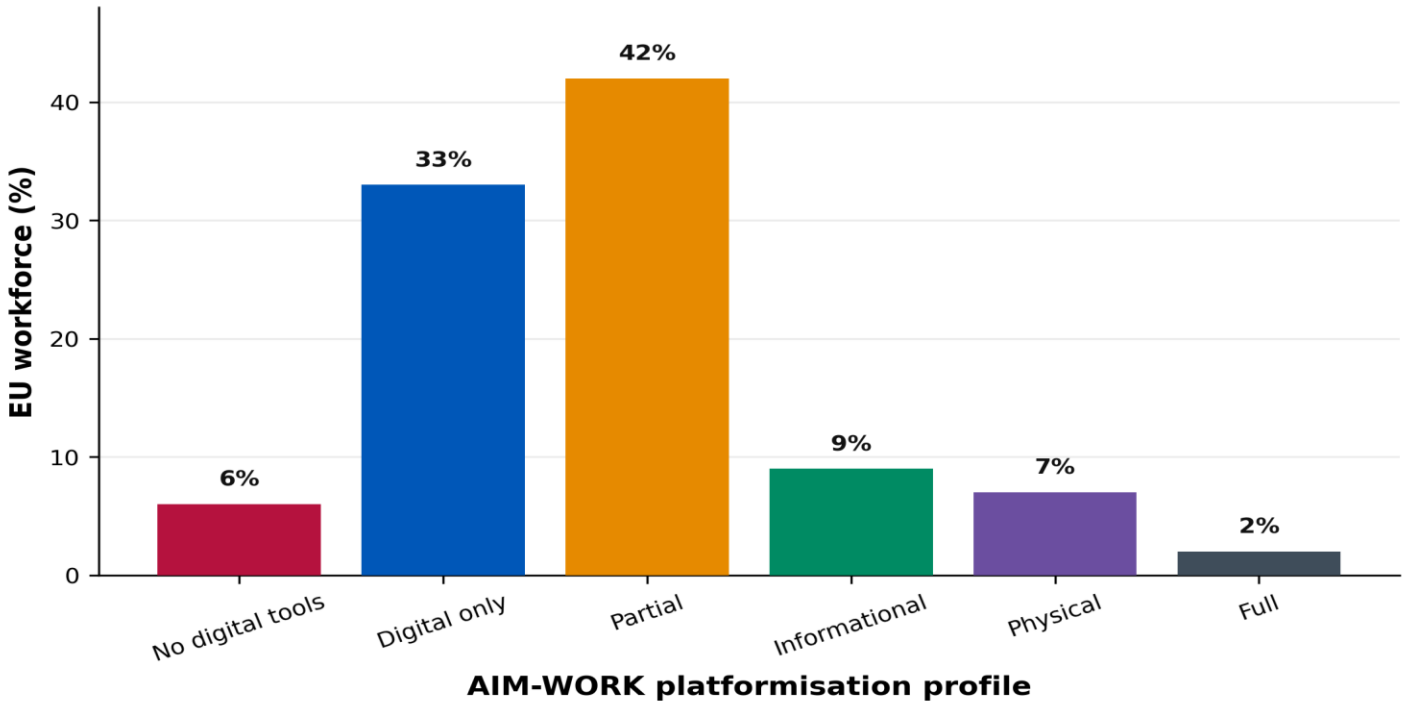


Figure 5. Platformisation Profiles across the EU Workforce

Note. Bars reproduce the AIM-WORK distribution. Published rounded shares sum to 99%. Partial platformisation indicates exposure to at least one form of digital monitoring and one algorithmic-management function.

Source. Joint Research Centre AIM-WORK findings (JRC, 2026a, 2026b).

Sociological interpretation. Platform power has migrated into conventional organisations. Most workers are neither untouched nor fully controlled; they occupy hybrid regimes in which selected managerial functions are datafied.

3.6. Online Platform Work Reveals Distinct Control Regimes

Eurofound and ELA identify four regimes among surveyed online platform workers. Comprehensive control affects 43%, combining surveillance, gamification, restricted autonomy, and performance discipline. Gamified assignment affects 29%; freelance surveillance and low control each affect 14%. This distribution demonstrates heterogeneity within platform work.

Comprehensive control converts nominal self-employment into intensive direction without conventional employment protections. Gamification organises competition through rankings, badges, response times, and access tiers. Freelance surveillance preserves some task choice but subjects performance to extensive monitoring. Low control more closely resembles a market intermediary.

Regimes matter for policy because worker status alone cannot reveal the degree of subordination. Evidence of direction and control is distributed across design features. A platform may disclaim managerial authority while using data to shape acceptance, pace, price, and visibility.

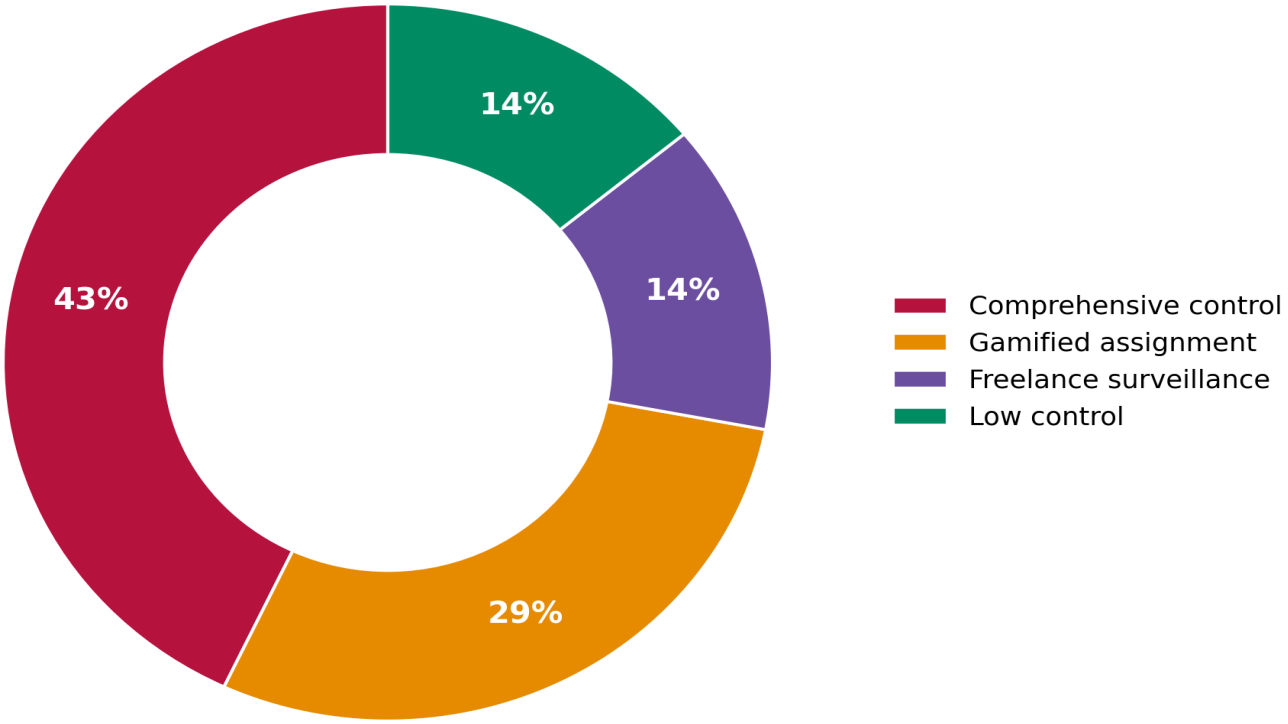


Figure 6. Algorithmic-management Regimes among Surveyed Online Platform Workers

Note. Shares refer to the Eurofound–ELA targeted survey of 3,830 online platform workers in 15 EU Member States and should not be generalised as population prevalence estimates.

Source. Eurofound and European Labour Authority (2026).

Sociological interpretation. The modal regime is comprehensive control. Platform workers can possess formal task flexibility while remaining substantively governed by surveillance, ranking, and conditional access to future work.

Table 4. Comparative sociology of algorithmic-control regimes

Regime	Information relation	Worker discretion	Primary psychosocial risk	Collective challenge
Digital tool use only	Worker operates tool; limited managerial extraction	Potentially high	Skill pressure and accelerated expectations	Training and workload bargaining
Partial platformisation	Selective monitoring and allocation	Uneven by task	Ambiguity and incremental intensification	Invisible system boundaries
Informational platformisation	Activity monitoring and algorithmic evaluation	Formal discretion with measured output	Self-censorship and metric fixation	Access to models and indicators
Physical platformisation	Location/body/workflow data plus allocation	Low temporal and spatial control	Fatigue, vigilance, safety conflict	Fragmented and outsourced workforces
Comprehensive platform control	Integrated surveillance, allocation, ranking, sanction	Restricted and conditional	Chronic insecurity and anticipatory stress	Status ambiguity and unilateral rule change

Note. Regimes describe ideal-typical combinations; workplaces may move between them through software or policy changes.

Source. Author's synthesis from Mariscal-de-Gante Martín et al. (2026) and Eurofound and ELA (2026).

Sociological interpretation. Control becomes more consequential as information, allocation, and sanction converge. The most harmful regime is not the most digital but the one with the greatest asymmetry of knowledge and consequence.

3.7. Platform Work Provides Access while Redistributing Protection

Among respondents relying exclusively on platform work, 32% are homemakers balancing care, 20% are students, and 16% are unemployed; the residual 32% encompasses other statuses. Platforms therefore provide access for people facing barriers in conventional employment.

Access should not be romanticised. Flexibility can be valuable precisely because welfare, care, education, and labour-market institutions are inflexible. The platform internalises neither the cost of care nor the risk of variable demand. Workers exchange formal entry for uncertainty in income, social protection, and unpaid search time.

The same feature can be capability or constraint. Task choice helps a student coordinate study, but rating dependence may compel acceptance at inconvenient times. Home-based work supports carers, but surveillance can enter domestic space. Sociological evaluation must ask whether flexibility is chosen, reversible, and supported.

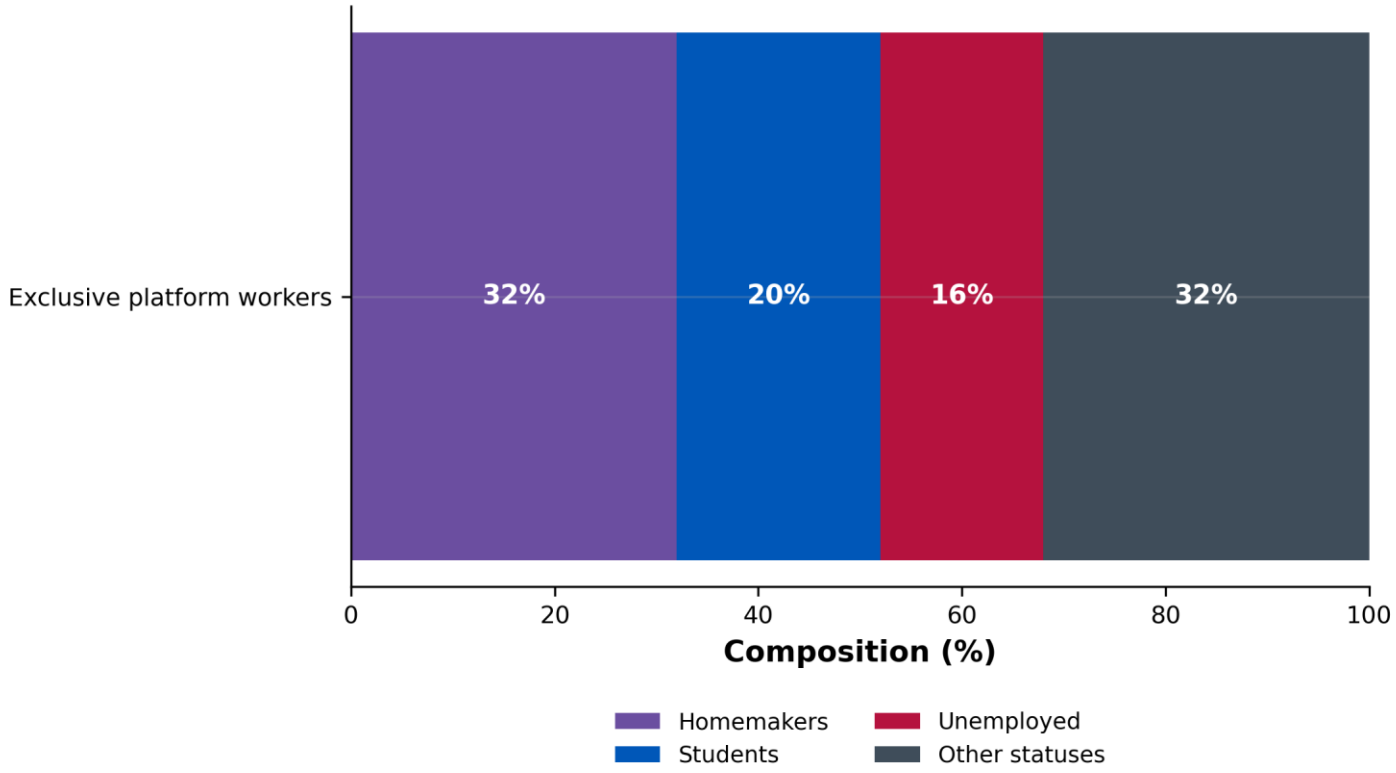


Figure 7. Selected Labour-market Statuses among Exclusive Online Platform Workers

Note. The first three segments reproduce published shares; "other statuses" is the residual required to complete 100%. The survey concerns respondents who rely exclusively on platform work.

Source. Eurofound and European Labour Authority (2026).

Sociological interpretation. Platforms open labour-market entry for groups constrained by care, study, or unemployment, yet the cost of inclusion may be transferred into variable hours, unpaid labour, and weak social protection.

3.8. Platform Work Is Visible but Remains a Minority Form

Representative estimates place platform work at a small but non-trivial share of employment. Eurostat's 2022 pilot reported 3% of people aged 15–64 performing digital platform work in the previous year. AIM-WORK estimated 2.7% receiving platform income. OSH Pulse reported 3% earning most income and 2% earning some income through platforms.

These measures are not directly additive because questions and denominators differ. Their convergence around low single digits is analytically useful: platform employment remains a minority, but platform-like management

affects a much larger workforce. Public debate should therefore separate the number of platform workers from the diffusion of platform control.

A narrow legal focus on platforms risks leaving conventional employees without equivalent rights to consultation and review. Conversely, platform-specific rules are necessary because classification and cross-border organisation create distinctive enforcement problems.

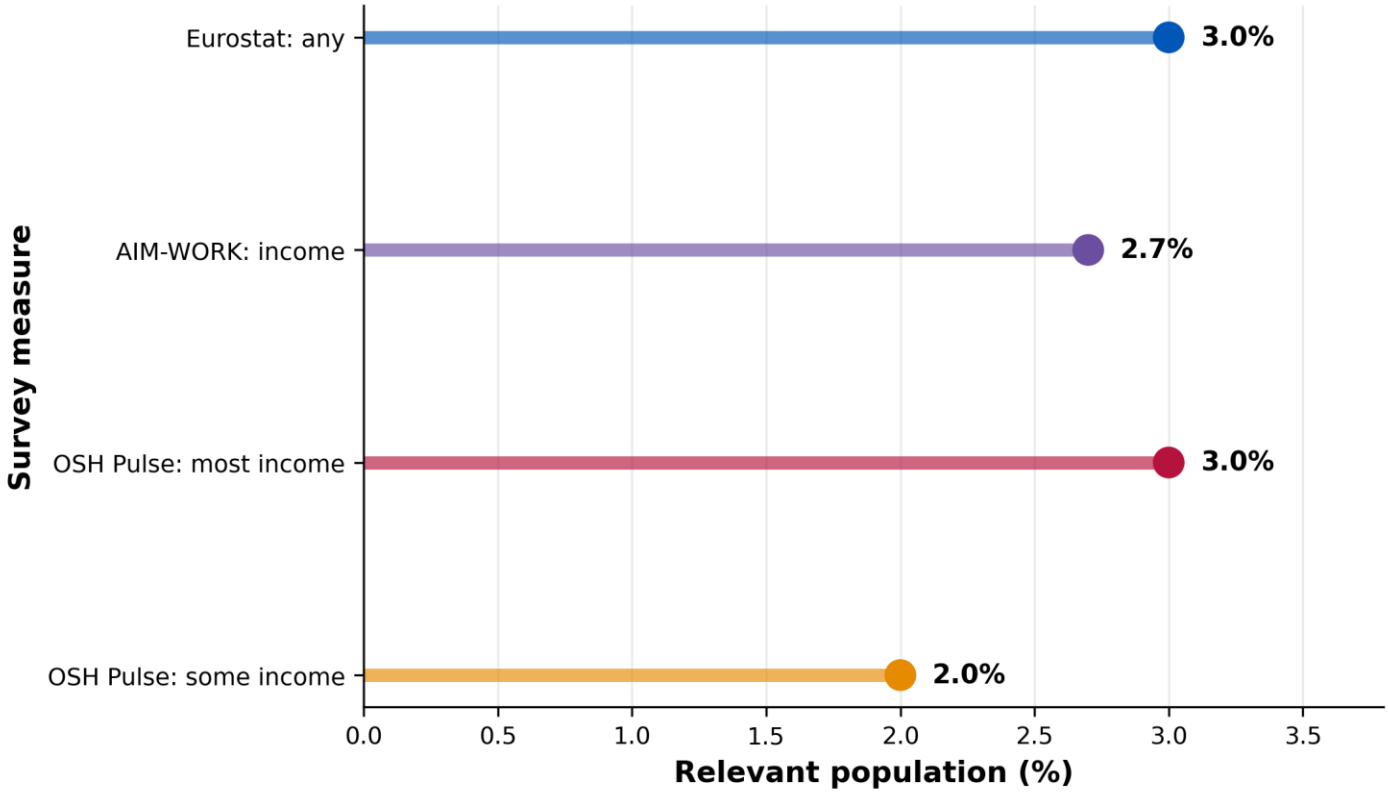


Figure 8. Published Estimates of Platform-work Exposure in the European Union

Note. Measures use different questions and populations and are displayed for triangulation, not direct ranking. “Most income” and “some income” are separate OSH Pulse categories.

Source. Eurostat (2023), JRC AIM-WORK as reported by Eurofound and ELA (2026), and EU-OSHA (2025).

Sociological interpretation. Platform work is numerically limited, while platformisation is organisationally broad. The central transformation is the migration of platform techniques into ordinary employment.

3.9. Skills, Routine, and the Paradox of High-skilled Platform Work

The Eurofound–ELA evidence challenges the equation of platform work with low skill. The workforce is highly educated and concentrated in professional services. Approximately 55% report a match between skills and work requirements, 25% report lacking required skills, and 20% could perform more demanding work.

Both shortage and underutilisation can produce psychosocial strain. Skill gaps create insecurity and unpaid learning; underutilisation creates frustration and identity loss. Algorithms can intensify mismatch by decomposing complex occupations into narrow tasks and rewarding standard outputs over developmental assignments.

Software development illustrates the paradox. It combines higher earnings and cognitive complexity with algorithmic routine and weak social and physical environments. High skill does not immunise workers from control; it can coexist with fragmented tasks, global competition, and reputational dependence.

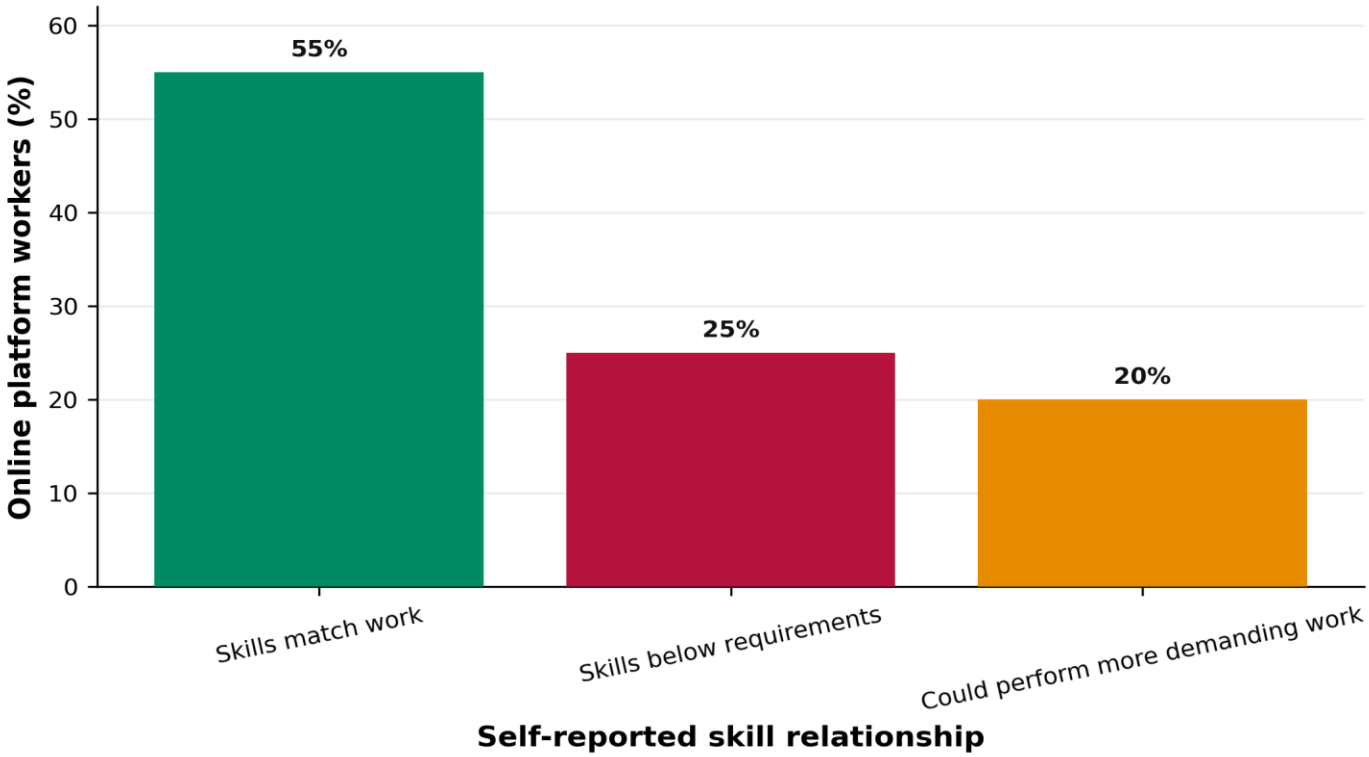


Figure 9. Approximate Skill Match among Surveyed Online Platform Workers

Note. Shares are rounded from the Eurofound–ELA published description: just over half report match, one quarter report insufficient skills, and one fifth report capacity for more demanding work.

Source. Author's rounded representation of Eurofound and European Labour Authority (2026).

Sociological interpretation. Algorithmic labour markets distribute not only jobs but opportunities to use and develop competence. Both skill deficit and skill underutilisation shift adjustment costs to individuals.

Table 5. EU regulatory architecture for workplace algorithms

Instrument	Scope	Principal protection	Workplace relevance	Remaining gap
GDPR, Regulation 2016/679	Personal-data processing	Transparency, access, lawful basis, limits on solely automated decisions	Constrains profiling and supports data rights	Complex thresholds and individual enforcement
AI Act, Regulation 2024/1689	Risk-based AI regulation	High-risk duties, documentation, oversight, risk management	Employment-related AI can be high risk	Not all algorithmic management uses AI
Platform Work Directive 2024/2831	Persons performing platform work	Monitoring limits, transparency, human oversight and review	Most tailored labour rights for automated management	Sector-specific scope and national transposition
Occupational safety and health law	Employer duty to prevent harm	Risk assessment and prevention hierarchy	Can treat algorithmic design as a psychosocial hazard	Digital risks may be poorly operationalised
Collective bargaining / information rights	Employment relations and worker representation	Consultation, negotiation, enforcement	Converts governance from individual appeal to joint design	Coverage gaps for precarious workers

Note. The instruments overlap but are not interchangeable. Applicability depends on technology, employment status, data processing, and national implementation.

Source. Regulation (EU) 2016/679; Regulation (EU) 2024/1689; Directive (EU) 2024/2831; EU-OSHA (2025).

Sociological interpretation. European governance contains important rights but remains fragmented. Workers experience one integrated control system while law separates data, product risk, employment status, and safety.

3.10. Sectoral Translation and the Unequal Meaning of Autonomy

The same algorithmic function acquires different social meaning across sectors. In logistics, route optimisation and real-time scanning connect bodies, vehicles, and parcels in one temporal sequence. A delay becomes attributable to an individual even when it originates in traffic, loading, equipment, or unrealistic planning. The system can improve coordination while reducing the informal discretion through which experienced workers previously managed contingencies. Safety is endangered when workers must choose between the measured schedule and the unmeasured conditions of the route.

Healthcare demonstrates another configuration. Decision-support systems can reduce administrative burden, identify interactions, and coordinate scarce resources. Yet clinical work depends on tacit knowledge, communication, and responsibility to a particular patient. If productivity is measured through throughput or coded procedures, clinicians may experience moral distress when the metric conflicts with care. The relevant autonomy is not freedom from standards but the institutional capacity to justify an exception in terms of professional purpose.

Education and research expose the politics of epistemic metrics. Learning platforms record participation, assessment, time, and communication; research systems count publications, citations, grants, and collaboration. These traces can support reflection, but they can also narrow attention to measurable outputs. Feraru (2025) argues that AI transforms educational and research professions through both augmentation and new demands for accountability. The present findings add that accountability becomes harmful when indicators substitute for deliberation about quality.

Financial and insurance work is especially associated with informational platformisation. Workers may retain physical freedom while their transactions, communication, and output are evaluated through dashboards. Because professional activity occurs inside information systems, surveillance is difficult to distinguish from the work tool itself. This integration increases the importance of purpose limitation and collective access to evaluation rules. Privacy notices alone cannot correct a work design in which every meaningful act becomes a potential performance signal.

Public administration raises questions of democratic responsibility. Automated workflow can improve consistency and reduce delay, but public servants remain accountable for legality, equal treatment, and reasoned decisions. If an employee cannot explain why a case was prioritised or flagged, institutional legitimacy is weakened. Workers need the authority to record disagreement and escalate anomalies; otherwise the system converts administrative discretion into hidden vendor discretion.

Remote and hybrid work reorganise surveillance around visibility. Managers who cannot observe presence directly may adopt status indicators, activity reports, screenshots, or meeting analytics. Such measures can penalise concentrated work, disability-related pacing, care interruptions, and collaboration that occurs outside formal channels. Outcome-based management is not automatically superior if outcomes are narrow or individually assigned. Collective products require measures that recognise coordination, mentoring, and shared problem solving.

Sectoral analysis also changes prevention. A general transparency statement is insufficient when the concrete hazard is unsafe route pressure, moral distress, epistemic metricisation, discriminatory customer ratings, or domestic intrusion. Occupational risk assessment should identify the specific conflict between system objectives and professional practice. Worker knowledge is indispensable because employees encounter edge cases and compensatory work that designers do not observe.

Across sectors, algorithmic governance is most legitimate when it supports workers' capacity to act responsibly. Systems should surface information, distribute routine coordination, and document resource constraints without making contextual deviation presumptively deviant. This criterion connects efficiency to professional purpose: technology is successful when it expands reliable judgment and collective learning, not merely when it increases the volume of measurable activity.

A further distinction concerns reversibility. Organisational technologies are often introduced as experiments but become difficult to remove once staffing, reporting, and vendor contracts depend on them. Workers then carry the burden of proving harm while the system benefits from institutional inertia. Negotiated governance should require review dates, sunset clauses for high-risk uses, and predefined thresholds for suspension. Reversibility is also psychosocial protection: employees are more willing to participate in innovation when harmful effects can produce a real change in direction. This principle counters the assumption that digital transformation is an irreversible external force. Organisations choose objectives, configurations, and contractual dependencies, and they remain responsible for revising those choices when evidence shows that efficiency has been obtained through excessive intensity, discrimination, or loss of professional judgment.

4. CONCLUSION, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

4.1. Discussion

The findings demonstrate that algorithmic surveillance is not a marginal feature of platform labour. Digital-device use is nearly universal, monitoring reaches more than one third of EU workers for core time variables, and automated allocation affects almost one quarter. Full platformisation is rare, but partial platformisation is widespread. Control diffuses through modular functions before it appears as a complete system.

The distinction between use, monitoring, and management is theoretically decisive. A worker can use AI without being managed by it; an organisation can monitor workers through rule-based software without AI; and a platform can exert powerful control through rankings and conditional access without issuing a conventional command. Regulation and research should follow functions and consequences rather than labels.

Professional autonomy is not protected by placing a human somewhere in the process. Review must have epistemic and organisational capacity. A reviewer needs access to relevant data, knowledge of the model's limits, time to hear contextual evidence, independence from performance targets, and authority to reverse the outcome. Otherwise human oversight becomes a legitimacy ritual.

The psychosocial mechanism is asymmetry. Employers can observe workers continuously, while workers cannot observe the system that evaluates them. This asymmetry produces anticipatory stress and strategic behaviour. Employees learn to optimise dashboards, conceal uncertainty, and avoid helping colleagues when assistance is not credited. Organisational learning deteriorates because anomalous cases are suppressed rather than discussed.

Algorithmic control also redistributes responsibility. Managers may attribute decisions to the system, vendors may disclaim employment knowledge, and workers remain accountable for outcomes they did not design. Negotiated governance reattaches responsibility by documenting objectives, owners, data flows, validation, and appeal. Feraru's (2026b) analysis of AI, social ethics, and organisational culture supports this emphasis on institutional responsibility rather than abstract technological morality.

Platform evidence clarifies the stakes. Comprehensive control is the most common regime among surveyed online platform workers, yet platform work also provides access for carers, students, and unemployed people. Good policy must preserve genuine flexibility while preventing flexibility from becoming a justification for uninsurable risk, unpaid labour, and unilateral evaluation.

The regulatory landscape is advancing. GDPR provides data rights, the AI Act classifies certain employment systems as high risk, and the Platform Work Directive establishes specific protections for automated monitoring and decision-making. The next challenge is implementation across ordinary workplaces and supply chains. Procurement contracts should not prevent worker representatives or regulators from examining systems that govern employment.

A sociological approach adds a collective criterion to individual data protection. Even an accurate, transparent system can intensify work or undermine solidarity. Impact assessment must therefore evaluate staffing, pace, discretion, voice, and distribution, not only privacy and statistical bias. The object of governance is the work organisation produced around the technology.

4.2. Conclusion and Recommendations

The article concludes that decent work under digital management requires negotiated algorithmic governance. The goal is not to freeze technology but to constitutionalise organisational power. Data-driven coordination should remain subordinate to human dignity, professional purpose, collective voice, and occupational safety.

First, organisations should establish a public internal register of workplace algorithms. Each entry should identify purpose, data inputs, vendor, affected groups, decision consequences, retention, validation, and responsible human owner. Workers must receive intelligible notice before deployment and material changes.

Second, monitoring must satisfy necessity and proportionality. Safety or payroll purposes do not justify open-ended behavioural profiling. Content monitoring, biometric inference, emotion recognition, and domestic-space surveillance require especially strict limits. Data collected for one purpose should not silently migrate into evaluation.

Third, workers and representatives should participate before procurement and throughout the lifecycle. Participation must include the capacity to propose alternatives, test scenarios, commission expertise, and pause deployment when serious risks emerge. Consultation after purchase is too late because vendor architecture may already constrain choices.

Fourth, every high-stakes decision requires meaningful human review and an accessible appeal. The reviewer must be identifiable, trained, independent, and empowered to change the outcome. Workers should be able to submit contextual evidence without retaliation, and successful appeals should trigger systemic correction rather than only individual relief.

Fifth, psychosocial risk assessment should treat algorithmic work design as an organisational hazard. Indicators should include pace, predictability, interruption, visibility labour, autonomy, social support, fairness, and recovery. Prevention should redesign targets and staffing before offering individual stress-management programmes.

Sixth, collective bargaining should govern data and models as working conditions. Agreements can set prohibited uses, acceptable metrics, audit frequency, notice periods, workload safeguards, and rights to aggregate data. Portable representation is needed for platform and outsourced workers whose employment status fragments voice.

Seventh, organisations should protect professional judgment. Systems may recommend, document, and flag, but workers must retain space to depart from a recommendation with reasons. Evaluation should reward responsible exception handling rather than treating deviation as automatic failure.

Finally, regulators should coordinate enforcement across data protection, labour inspection, equality, consumer, and occupational-safety bodies. Workers experience integrated systems and should not bear the burden of

identifying the correct legal silo. A single complaint pathway with institutional referral would reduce this procedural asymmetry.

Algorithmic systems can support safer, fairer, and more intelligible work when information becomes reciprocal and decisions remain contestable. Without those conditions, efficiency gains are purchased through hidden transfers of uncertainty and control. The democratic standard is straightforward: no worker should be governed by a system that the organisation cannot explain, justify, and revise with those whose lives it structures.

Table 6. Negotiated algorithmic-governance framework

Governance stage	Required action	Worker right	Evidence of compliance	Sociological objective
Before procurement	Needs and alternatives assessment	Early information and consultation	Documented options and proportionality test	Prevent technological lock-in
Design/configuration	Validate indicators and exclusions	Participation and expert support	Bias, validity, and workload testing	Protect contextual judgment
Deployment	Phased introduction and training	Notice, explanation, and refusal safeguards	Pilot evaluation and recorded changes	Maintain trust and competence
Operation	Monitor effects and function creep	Access to data and collective metrics	Regular psychosocial and equality audit	Make consequences visible
Individual decision	Competent human review	Contextual hearing and effective appeal	Reversal rates and correction logs	Restore due process
Exit/change	Delete data and evaluate legacy effects	Portability and closure information	Retention audit and lessons report	Prevent permanent digital stigma

Note. The framework applies proportionately to both AI and rule-based workplace systems when they monitor, allocate, evaluate, or sanction labour.

Source. Author's synthesis based on the empirical findings and EU regulatory framework.

Sociological interpretation. Negotiation redistributes interpretive power. It changes workers from data objects into institutional participants capable of shaping the rules through which performance and risk are defined. Table 6 translates the empirical findings into an integrated governance sequence, demonstrating that the protection of professional autonomy cannot be reduced to a single transparency requirement or appeal mechanism. Effective oversight must extend across the entire technological lifecycle, from procurement and system configuration to deployment, individual review, and eventual withdrawal. This procedural perspective provides the foundation for the final synthesis, which reconnects the proposed safeguards with the article's central sociological argument concerning informational asymmetry, negotiated authority, and democratic accountability in digitally managed workplaces.

4.3. Final Synthesis

Taken together, the evidence answers the research questions at three levels. First, digital management is already structurally significant: digital devices are nearly universal, monitoring affects substantial sections of the EU workforce, and automated allocation has moved beyond experimental use. Second, its psychosocial consequences are produced through identifiable organisational mechanisms—continuous visibility, opaque evaluation, reduced temporal discretion, metric fixation, uncertain reward, and weakened collective interpretation—rather than through technology in the abstract. Third, protection requires an integrated governance architecture in which data minimisation, occupational-risk prevention, professional judgment, collective participation, and effective appeal operate before, during, and after deployment. The central empirical contrast is therefore not between digital and non-digital work, but between systems organised through reciprocal accountability and systems organised through unilateral informational power.

The article's principal theoretical contribution is the concept of negotiated algorithmic governance. It reframes workplace technology as a continuously revisable social institution rather than a finished technical product. Under this model, efficiency is legitimate only when workers can understand the rules that structure their opportunities, challenge consequential errors, participate in defining valid indicators, and preserve the professional discretion needed to act responsibly in exceptional circumstances. Algorithmic systems may improve coordination, safety, and access to work, but these benefits cannot justify hidden transfers of

uncertainty, intensity, or liability to individuals with limited bargaining power. The final sociological standard is consequently democratic as well as technical: digital management should enlarge collective capacity and reliable professional judgment, not convert employment into permanent behavioural proof before an authority that remains invisible and unanswerable.

REFERENCES

Aloisi, A., & De Stefano, V. (2022). *Your boss is an algorithm: Artificial intelligence, platform work and labour*. Hart Publishing.

Baiocco, S., Fernández-Macías, E., Rani, U., & Pesole, A. (2022). *The algorithmic management of work and its implications in different contexts*. Publications Office of the European Union.

Eurofound and European Labour Authority. (2026). *Online platform work in the European Union: Implications for working conditions and access to information*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2806/0981358

European Agency for Safety and Health at Work. (2024). *Digitalisation and workers' wellbeing: The impact of digital technologies on work-related psychosocial risks*. Publications Office of the European Union.

European Agency for Safety and Health at Work. (2025). *OSH Pulse 2025: Occupational safety and health in the era of climate and digital change*. Publications Office of the European Union. https://osha.europa.eu/en/facts-and-figures/osh-pulse

European Parliament and Council of the European Union. (2016). Regulation (EU) 2016/679 (General Data Protection Regulation). *Official Journal of the European Union*.

European Parliament and Council of the European Union. (2024a). Directive (EU) 2024/2831 on improving working conditions in platform work. *Official Journal of the European Union*.

European Parliament and Council of the European Union. (2024b). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence. *Official Journal of the European Union*.

Eurostat. (2023). *Digital platform employment: Results of the 2022 pilot survey*. European Commission.

Feraru, P. D. (2025). Artificial intelligence and the dynamics of educational and research professions. In *Proceedings of the Bilsel International Truva Scientific Researches and Innovation Congress* (p. 2042). Bilsel Publishing.

Feraru, P. D. (2026a). Algorithmic economy: Artificial intelligence and the reconfiguration of the global economic order. In *Proceedings of the 7th Bilsel International Harput Scientific Research Congress* (pp. 589–613). Bilsel Publishing.

Feraru, P. D. (2026b). Artificial intelligence and social ethics: Implications for human capital and organizational culture in educational and research institutions. In *Proceedings of the 1st International Nessebar Scientific Research and Innovation Congress* (pp. 128–160). Bilsel Publishing.

International Labour Organization. (2025). *AI and digitalization are transforming safety and health at work*. International Labour Office.

Joint Research Centre. (2026a). *Impact of digitalisation: 30% of EU workers use AI*. European Commission. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/impact-digitalisation-30-eu-workers-use-ai-2025-10-21_en

Kellogg, K. C., Valentine, M. A., & Christin, A. (2020). Algorithms at work: The new contested terrain of control. *Academy of Management Annals, 14*(1), 366–410.

Mariscal-de-Gante Martín, A., González Vázquez, I., & Fernández-Macías, E. (2026). *Job quality and the platformisation of regular work: A cross-country analysis of digital monitoring and algorithmic management in the EU*. Publications Office of the European Union.

Moore, P. V. (2018). *The quantified self in precarity: Work, technology and what counts*. Routledge.

Rosenblat, A. (2018). *Uberland: How algorithms are rewriting the rules of work*. University of California Press.

Vallas, S., & Schor, J. B. (2020). What do platforms do? Understanding the gig economy. *Annual Review of Sociology, 46*, 273–294.

Wood, A. J. (2021). *Algorithmic management: Consequences for work organisation and working conditions*. Publications Office of the European Union.

Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism*. PublicAffairs.

AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT WAR RUINS BY HIFSA ASHRAF

Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT

Technical University of Civil Engineering Bucharest, Faculty of Engineering in Foreign Languages, Department of Foreign Languages and Communication, philology, anadrobot@yahoo,com, ORCID 0000-0002-2556-6233

Abstract

The purpose of this paper is to analyse the following haiku poem: "war ruins--/ not a single window left/ for the moon," written by Hifsa Ashraf (from Rawalpindi, Pakistan), and published on August 20, 2026 in the Mainichi Japan under the selection of Dhugal J. Lindsay. The poem works based on juxtaposition, as it is made up of two parts, which are placed in opposition and tension: the image of the war ruins contrasts, in its destruction and brutality of the armed conflict, with the image of the moon, an image of beauty and peace. The two images are connected by the fact that there is no window left for the moon, in the sense that the houses are destroyed, and there are no windows for someone to watch the moon from inside. At a deeper layer of meaning, we may consider that there is no more window for the moon in a figurative way, as nobody stops to watch it, as everyone is preoccupied by the war. We may consider that there is no more room for beauty, no more window, no more way for people to look at what is beautiful in this world once they are overwhelmed by the destruction brought by the war. The methodological framework is composed of reader-response criticism, psychology and psychoanalysis.

Keywords: War, violence, death instinct, psychoanalysis, destruction

1. INTRODUCTION

The haiku poem is best known to the Western audience in its 5-7-5 syllables and three lines format. In addition, it is known to be a poem about nature. This is the traditional, or classical haiku form, which includes a seasonal reference, called kigo in Japanese. This is just one way of writing haiku poems, however. In Japan, a Free Haiku Movement appeared, led by Seisensui Ogiwara (1884–1976) (Kimura, 2022), whose members practiced a haiku free from rules. It included a varied number of syllables and even no seasonal reference. The two haiku styles, traditional and free, also exist today and are practiced, based on the authors' preferences. Online haiku communities have their own preferences for haiku styles and their members adapt to them.

The haiku poem is now practiced all over the world, not just in Japan, and is still being studied and understood. This is achieved through comments for haiku poems and through discussions about them in online and offline communities of haiku authors.

1.1. Theoretical Framework

Respecting the form of the haiku poem does not guarantee that a quality haiku poem will be obtained, according to Atanasiu (2026). He is the leader of the Romanian Kukai online community, who believes that the structure of juxtaposition, which refers to the way in which the haiku poem is made up of two parts, separated by the cutting line (kireji) offers to the poem tension. Through the two parts, a powerful ocntrast can be established, just as a comparison can also be reconstructed by the readers. The two parts of the poem are connected, by relying on allusions attached to the words, images, and scenes in the poem, which are suggested to the readers. Readers are actively involved in understanding a haiku poem, which is why the haiku poem can be analysed based on reader-response criticism. According to reader-response criticism, readers react emotionally to any text and they also use their background knowledge in order to understand and interpret it (Mart, 2019).

2. METHOD

The following haiku poem has been chosen for analysis in this paper: "war ruins--/ not a single window left/ for the moon," written by Hifsa Ashraf (from Rawalpindi, Pakistan), and published on August 20, 2026 in the Mainichi Japan under the selection of Dhugal J. Lindsay.

While the poem is very short, it evokes a complex set of ideas and reflections, based on the following elements: war, destruction, absence, beauty, loss, perception, and traumatic experiences. The poem by Ashraf it does not describe war directly through elements such as combat, soldiers, weapons, death, or explosions. It offers an indirect representation of war through its aftermath: "war ruins." This shifts readers' attention from the visual

images of violence to its consequences for human beings. The ruins become evidence of what has been destroyed and of the absent people.

The main contrast of the poem is achieved through the relationship between destruction and beauty. “War ruins” suggest violence, death, and loss, while “the moon” evokes a natural phenomenon associated with beauty, contemplation, and meditation. The two images are not placed next to each other just for descriptive reasons; they are connected through the statement that there is “not a single window left / for the moon.” The window a main symbol. At the literal level, the statement describes a landscape in which buildings have been so much destroyed that no windows remain. At the figurative level, the statement can be understood in several ways. There is no window through which a surviving inhabitant can look at the moon. There may also be no survivors left to look at it. Furthermore, there may be “no window” in the psychological sense: no remaining space for contemplation, beauty, aesthetic preoccupation, or meditation. The poem's simple visual scene prompts readers to meditate on the psychological effects of war. The destroyed window is a material absence and a symbolic absence: the absence of shelter, human presence, and beauty.

Psychoanalysis can explain the contrast between destruction and life through the concept of the death instinct developed by Freud (Freud et al, 2016), which works in opposition with eros, the instict for eroticism and life. Thanatos, or the death instinct, represents a tendency towards repetition, dissolution, and a return to an earlier state. War represents a drive towards Thanatos, due to aggression and destruction associated with it.

Against this destructive tendency stands the moon. It is left undestroyed. It continues to exist outside the context of the catastrophe. In this respect, it can symbolize continuity, life, and the possibility of beauty beyond destruction. It can be considered to represent the life instinct.

3. RESULTS

The analysis moves from the literal to the figurative level level of the poem. First, readers fill in the blanks in order to picture the scene. All missing details are imagined by the readers. Second, readers move towards the abstract level of interpretation and to their personal reflections about the issue, starting from the philosphy put forth by the haiku poem. Readers can build scenarios and move from concrete to abstract levels of interpretation. In the case of the poem selected for analysis, the imagery can be connected to psychoanalytical concepts, Eros and Thanatos.

4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

Ashraf's haiku is a condensed representation of the destructive consequences of armed conflict. Through only a few words, the poem establishes a complex relationship between physical destruction, psychological trauma, and the persistence of beauty.

The analysis has shown that the poem's main device is juxtaposition. “War ruins” represents violence, destruction, death, while “the moon” represents continuity, beauty, and contemplation. These opposed images are connected by the window.

The poem does not directly state that the inhabitants have disappeared, that they are traumatized, or that they have lost the ability to contemplate beauty. The reader constructs these meanings through the relationship between the images.

REFERENCES

Ashraf, H. (2026). Haiku in English: Aug. 20, 2026. Mainichi, Japan. https://mainichi.jp/english/articles/20260730/p2g/00m/0su/044000c.

Atanasiu, C.T. (2026). Prin sindrila sparta fanul din Carul Mare. PIM Publishing House, Bucharest, Romania.

Freud, S., Weininger, O., & Schnitzler, A. (2016). Eros and Thanatos in Fin-de-Siècle Vienna. *Mixed Feelings*, 126..

Kimura, T. (2022). Haiku and Modernism in Japan. *Haiku, other arts, and literary disciplines*, 234-246.

Mart, C. T. (2019). Reader-response theory and literature discussions: A Springboard for exploring literary texts. *The New Educational Review*, *56*, 78-87.

AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT SUMMER LEAVES BY JESSICA RENEE DAWSON

Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT

Technical University of Civil Engineering Bucharest, Faculty of Engineering in Foreign Languages, Department of Foreign Languages and Communication, philology, anadrobot@yahoo,com, ORCID 0000-0002-2556-6233

Abstract

The purpose of this paper is to analyse the following haiku poem: "summer leaves/ the church bells ring/ a little quieter" written by Jessica Renee Dawson (from BC, Canada), published on August 15, 2026, in the Mainichi Japan, and selected by Dhugal J. Lindsay. This poem works based on juxtaposition, as it is composed of two images: the summer leaves and the quieter ring of the church bell. Readers can connect the two parts by imagining the sound of a church bell being a bit muffled by the rich summer leaves in the trees. At the same time, readers may also consider that the summer days lead to a slower, lazier rhythm of everyday life activities, which is transferred onto the church bells ringing a little quieter than usual. Further on, readers may also consider another interpretation: the leaves in summer leaves is not a noun, the plural of leaf, but the verb to leave. As summer is going away, the church bells have less energy and are less enthusiastic. This can be due to the arrival of autumn, when the absence of sunlight triggers feelings of sadness and depression, which may lead to less enthusiasm about everyday life activities. The methodological framework is composed of reader-response criticism, psychology and psychoanalysis.

Keywords: Loss, transience, Zen Buddhism, psychoanalysis, change

1. INTRODUCTION

Originally from sixteenth-seventeenth century Japan, the haiku poem is now practiced and commented in haiku communities, online and offline, all over the world. It is known mainly based on its formal features, 5-7-5 syllables, three lines, and a seasonal reference. Alternatively, modern haiku poems have free form, with a variable number of syllables (Kimura, 2022). This distinction in form has begun in modern Japan and continues to this date. Various styles of the haiku poem can be practised, since the haiku poem has been written in various forms throughout time.

As it is now practiced in online and offline haiku communities all over the world, it depends on the rules and understanding each community relies on for the haiku poem.

1.1. Theoretical Framework

The haiku poem relies on juxtaposition, a mechanism which means that it is made up of two parts. The two parts are separated by the cutting line. They are brought together by allusions (Atanasiu, 2026) and by the work of the readers. In this way, the haiku poem relies on a tension (Atanasiu, 2026). For Atanasiu (2026), the haiku poem as practiced in his community, Romanian Kukai, begins with Shiki, who introduces the kireji or cutting line, together with the tension or conflict between the two parts. As the haiku poem depends a lot on the work done by the readers, reader response criticism can be used in understanding this poem. Based on reader-response criticism, readers react emotionally to a text they read, and they also use their background knowledge in order to understand and interpret the text (Mart, 2019).

2. METHOD

The following haiku poem has been selected for analysis: "summer leaves/ the church bells ring/ a little quieter" written by Jessica Renee Dawson (from BC, Canada), published on August 15, 2026, in the Mainichi Japan, and selected by Dhugal J. Lindsay..

One of the features of the haiku poem is its ability to transform a moment of perception into a concentrated experience. Rather than explaining an event, the haiku presents images whose relationship must be discovered by the reader. This is particularly relevant to Dawson's poem because the connection between “summer leaves” and “church bells” is not directly stated. The poem does not say that the leaves muffle the bells. Nor does it explicitly say that summer is ending. These possibilities emerge through interpretation. The poem's structure can therefore be understood as an invitation to interpretation. The reader first sees the leaves. Then the reader hears the bells. Finally, the reader notices that the bells are “a little quieter.” The movement is consequently

both visual and auditory. The poem brings together two sensory modalities and asks the reader to establish a relationship between them. The result is a tension between what is observed and what is inferred.

The poem's first line, “summer leaves,” establishes a visual image. The second and third lines shift to sound. The movement between visual and auditory perception creates the poem's main juxtaposition. The reader can imagine dense foliage intervening between the listener and the church. The leaves therefore become an acoustic filter. They do not eliminate the bells; they make them “a little quieter.” The phrase “a little” is significant. The poem does not describe a moment of silence. The change is minimal and gradual. This corresponds to the subtlety of seasonal change. Autumn does not necessarily arrive suddenly. It may first be perceived through small differences: slightly cooler temperatures, shorter days, changing colors, altered sounds, and a gradual reduction in the intensity of summer. The poem's modesty thus corresponds to its subject.

The reader is not given one single explanation for why the bells are quieter. Several possibilities immediately become available: the leaves physically muffle the bells; summer creates a slower rhythm of life; the bells are quieter because summer is ending; “leaves” means “is leaving”; the quieter sound represents a psychological response to seasonal loss. None of these interpretations is definitively announced. The poem therefore creates what may be called an interpretive gap. The reader must supply the missing connection between the images. This makes the poem an especially clear example of how meaning can emerge from the interaction between text and reader. A reader who focuses on acoustics may produce one interpretation, whereas a reader attentive to grammar may notice the ambiguity of “leaves.” A reader sensitive to religious imagery may focus on the church bells, while a reader interested in seasonal symbolism may emphasize the transition from summer to autumn. The poem can therefore accommodate multiple readings without becoming meaningless. Its ambiguity is structured by its lexical and imagistic choices.

Psychology provides another framework for understanding the poem because seasonal change can influence mood, behavior, and activity levels. The poem associates summer with leaves and the approaching transition away from summer with a reduction in sound. The connection between seasonal change and mood is especially relevant when considering the transition toward autumn and winter. Reduced daylight can affect circadian rhythms and biological processes, and seasonal patterns of depressive symptoms are recognized in clinical psychology and psychiatry. The phrase “a little quieter” is psychologically significant because it describes a subtle diminution rather than an extreme emotional state. It may evoke the feeling that something familiar is

gradually disappearing before it has completely disappeared. Such experiences of transition can produce nostalgia, melancholy, anticipation, or acceptance.

The theme of impermanence is central to Buddhist thought (Ross, 2007). Things arise, change, and pass away; attachment to their permanence contributes to suffering.

Haiku has often been associated with a contemplative attentiveness to changing natural phenomena. This does not mean that every haiku is explicitly Buddhist or that the genre should be reduced to Zen Buddhism. Nevertheless, the conceptual affinity between haiku's attention to transient moments and Buddhist reflections on impermanence makes this framework useful. Dawson's poem is especially compatible with such a reading. Summer leaves are inherently temporary. Their appearance belongs to a particular stage of the natural cycle. The bells are also changing, at least in the perception represented by the poem. The word “quieter” marks a movement.Nothing is completely stable. The poem therefore does not need to explicitly mention death or disappearance. Transience is embedded in its grammar and imagery. The poem's possible reading of “leaves” as “is leaving” strengthens this interpretation considerably. Summer itself becomes transient. The poem consequently captures a moment in which the reader perceives change while the previous state has not yet completely disappeared.

Psychoanalysis provides another perspective on the poem's treatment of change. From a psychoanalytic point of view, human beings may experience difficulty in accepting loss because attachment involves the desire to preserve what is valued. Freud's (1922) reflections on mourning and melancholia distinguish different psychological responses to loss. Although the poem should not be treated as a clinical representation of mourning, these concepts can illuminate its emotional structure. The poem presents an object of attachment—summer—and then introduces its possible disappearance. If “summer leaves” is read as “summer is leaving,” the poem becomes a miniature representation of separation. The quieter bells may then symbolize the weakening of the presence of what is being lost. This is particularly significant because the poem does not say that the bells stop. They continue to ring. The loss is therefore incomplete. Summer is not entirely gone. The bells are not silent. The leaves are still present. The emotional power of the poem resides precisely in this intermediate state.

The analysis reconstructs several plausible readings based on the information provided by the poem. Rather than selecting a single interpretation immediately, the study examines how readers may move from literal perception to figurative interpretation. Psychological concepts are used to examine the poem's representation of:

slowing down; seasonal transition; loss; nostalgia; diminishing energy; changes in mood associated with environmental change. From the point of view of psychoanalysis, the analysis focuses on attachment, separation, loss, mourning, and the difficulty of accepting change.

Finally, the poem is interpreted in relation to the Buddhist concept of impermanence, particularly the idea that phenomena are constantly changing. The seasonal cycle provides an especially appropriate context for this interpretation because summer itself is represented as potentially departing.

3. RESULTS

The poem is structured around a visual-auditory juxtaposition. The first image is visual, "summer leaves", while the second image is auditory: "the church bells ring." The third line modifies the auditory experience: "a little quieter." The poem moves from sight to sound. This transition encourages the reader to imagine a physical relationship between foliage and acoustic perception. Dense summer foliage may soften the sound of the bells, creating a natural acoustic barrier.

The leaves can function as an acoustic filter. Trees covered in rich summer foliage occupy the landscape around the church. Their density may alter the way sound reaches the listener. The bells continue to ring, but they are perceived as "a little quieter." The word "little" is significant because it prevents the poem from becoming dramatic. The change is almost imperceptible.

A second interpretation involves the psychological and social rhythm of summer. Summer is culturally associated with holidays, vacations, outdoor activities, and a relaxation of ordinary schedules. The phrase "a little quieter" may consequently suggest a slower rhythm of existence. The church bells, traditionally associated with marking time and organizing communal life, become quieter in a season that may itself be associated with relaxation. The bells therefore appear to participate in the seasonal rhythm.

The most significant linguistic finding is the ambiguity of "leaves." Under the noun interpretation, the poem describes summer foliage. Under the verb interpretation, the poem says that summer is leaving. The leaves are not merely associated with summer; the word itself allows summer to become an agent of departure.

The quieter bells can represent fading vitality. If summer is leaving, the quieter bells may acquire a symbolic meaning. They may seem to have: less energy, less intensity, less enthusiasm, less presence. The poem thereby anthropomorphizes sound indirectly. The bells do not literally become emotionally sad, but the reader may perceive their diminishing volume as a metaphor for diminishing vitality. This reading becomes especially powerful when connected with the arrival of autumn. As daylight decreases and nature begins to change, the

atmosphere may become psychologically associated with melancholy, nostalgia, and loss. The poem does not explicitly state that autumn is depressing. Instead, it captures the emotional threshold between summer and autumn.

The poem does not represent summer at its beginning or autumn at its full arrival. It represents the transition. The bells are still ringing. The leaves are still there. Summer has not completely disappeared. Yet something has changed. The poem exists between two states.

4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

The phrase "a little quieter" is the emotional center of the poem. If the bells were silent, the poem would represent an obvious absence. If the bells were loud, the poem would emphasize presence. Instead, they are "a little quieter." The expression therefore represents a middle condition. Something remains, but its intensity has diminished. This is precisely the emotional condition associated with many experiences of transience. When something disappears suddenly, loss is obvious. When something gradually fades, the experience can be more complex because the observer remains aware of its continuing presence.

Church bells, traditionally, have marked time, religious observances, communal events, celebrations, funerals, and other important moments. Their presence in the poem therefore introduces a temporal dimension. The bells measure time. Summer also exists within time. The poem thus contains two different forms of temporality: natural time, represented by the changing season, and social/religious time, represented by the church bells. The fact that the bells become "a little quieter" suggests that these two temporalities are converging. Nature changes, and human perception of time changes with it.

The church bells also introduce spirituality. The means more than purely natural observation. It is a meditation on human existence. Church bells traditionally connect ordinary life with religious time. They can announce worship, celebration, mourning, or communal gathering. When they ring more quietly, the reader may therefore perceive a symbolic reduction in spiritual or communal intensity. However, the bells continue to ring. This is important because the poem does not represent the disappearance of spirituality. Rather, it suggests a temporary change in its intensity. The image can therefore be read in relation to the Buddhist/Zen theme of impermanence without requiring a direct opposition between Christianity and Buddhism. The church bells function primarily as a cultural and acoustic image, while impermanence provides an interpretive framework.

The seasonal interpretation strongly evokes impermanence. Summer appears, summer flourishes, summer leaves, nothing remains unchanged. The poem does not explicitly moralize about this process. It simply notices it.

Regarding psychoanalysis and the experience of separation, the interpretation becomes deeper when considered through psychoanalytic theories of loss. If "summer leaves" is read as "summer is leaving," the season becomes an object of attachment. The reader may unconsciously resist its departure. The quieter bells then symbolize the gradual reduction of the presence of what is being lost. The poem does not dramatize this loss. Instead, it aestheticizes it. This is significant because literature often allows difficult experiences of change to be contemplated at a symbolic distance.

The ambiguity of "leaves" is particularly suitable for psychoanalytic interpretation because the word permits two meanings to coexist without requiring the reader to consciously choose between them. At the conscious level, the reader sees foliage. At another interpretive level, the reader hears departure. The two meanings can therefore operate simultaneously. The leaves become signs of their own disappearance. This produces a paradox: the object that signifies summer also contains the linguistic possibility of summer's departure.

REFERENCES

Atanasiu, C.T. (2026). Prin sindrila sparta fanul din Carul Mare. PIM Publishing House, Bucharest, Romania.

Dawson, J.R. (2026). Haiku in English: Aug. 15, 2026. Mainichi, Japan. hhttps://mainichi.jp/english/articles/20260730/p2g/00m/0su/039000c

Freud, S. (1922). Mourning and melancholia. The journal of nervous and mental disease, 56(5), 543-545.

Kimura, T. (2022). Haiku and Modernism in Japan. Haiku, other arts, and literary disciplines, 234-246.

Mart, C. T. (2019). Reader-response theory and literature discussions: A Springboard for exploring literary texts. The New Educational Review, 56, 78-87.

Ross, B. (2007). The essence of haiku. Modern Haiku, 38(3), 51-62.

AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT THERAPY AND WILDFLOWERS BY STEPHEN A. PETERS

Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT

Technical University of Civil Engineering Bucharest, Faculty of Engineering in Foreign Languages, Department of Foreign Languages and Communication, philology, anadrobot@yahoo,com, ORCID 0000-0002-2556-6233

Abstract

The purpose of this paper is to analyse the following haiku poem: "cheaper than/ my therapist/ wildflowers" written by Stephen A. Peters (from Washington, USA), published on August 14, 2026, in the Mainichi Japan, and selected by Dhugal J. Lindsay. The poem relies on juxtaposition, based on the combination between the two parts of the poem. The apparent disparate two parts, where we have the information that something or someone is cheaper than the poetic persona's therapist, create a comparison that is reconstructed by the readers. The wildflowers are compared, by price, to the poetic persona's therapist. Readers understand that the poetic persona experiences a higher level of well-being while watching wildflowers, in a natural setting, than by talking to his or her therapist. Readers can conclude that the natural world may be considered as more empathetic than human beings, even if they are professionals, or that a simple walk in nature can be far more beneficial than therapy. In addition, we call therapy in a figurative way taking walks and looking at the landscapes. The poem leads readers to start reflecting about therapy based on images and ideas that give clues allowing them to start a process of reflection. The methodological framework is composed of reader-response criticism, psychology and psychoanalysis.

Keywords: Well-being, empathy, Zen Buddhism, psychoanalysis, change

1. INTRODUCTION

The haiku poem describes a very down-to-earth experience, which makes it understood by the general public. It focuses on everyday life reality, while bringing insight into common experiences. At the same time, it is know for its particular form, of 5-7-5 syllable format, three lines, and the presence of a seasonal reference (kigo). This, however, does not make the haiku poem easily understood and easily made valuable. More than formal knowledge is needed in order to create valuable haiku poems, and as a proof modern haiku forms exist (Kimura, 2022).

Online and offline haiku communities have developped all over the world, thus transcending the poem's Japanese origins. This shows that the haiku poem can be relevant universally.

1.1. Theoretical Framework

A good haiku poem relies on the mechanism of juxtaposition (Atanasiu, 2026), which refers to the combination between its two parts, separated by a cutting line or kireji. Alternatively, for modern haiku poems, the pause can be felt by the readers, and the poem can be divided into two parts by the readers. The haiku poems rely on a network of allussions attached to the words and images, as well as on the tension between the two parts (Atanasiu, 2026). In addition, a highly active reader is required by the haiku poem, making reader-response criticism a preferable approach to this type of poem. For reader-response criticism, the emotional response to the text is significant, together with the reliance on background knowledge in order to better understabd a text (Mart, 2019).

2. METHOD

The the following haiku poem has been chosen for analysis in this paper: "cheaper than/ my therapist/ wildflowers" written by Stephen A. Peters (from Washington, USA), published on August 14, 2026, in the Mainichi Japan, and selected by Dhugal J. Lindsay.

The first line, "cheaper than," introduces a comparison without identifying its object. The second line supplies the first element of comparison: "my therapist." Only in the third line does the reader discover what is being compared with the therapist: "wildflowers." The poem can be reconstructed as: wildflowers are cheaper than my therapist. The statement is humorous because it compares two different things. A therapist is a professional who provides a service; wildflowers are part of the natural environment. The comparison initially appears absurd. The reader may begin to ask why wildflowers are being compared with a therapist in the first place. What do wildflowers provide? Why might someone associate them with psychological well-being? What does

the poetic persona experience while observing them? The poem does not explicitly answer these questions. Instead, it encourages the reader to construct possible answers. One interpretation is that wildflowers offer the poetic persona emotional relief. Looking at flowers may produce pleasure, calmness, distraction, or a sense of connection with nature. A walk through a natural environment may provide an opportunity to step away from everyday worries. The poem can therefore be interpreted as suggesting that nature itself may function figuratively as a form of therapy.

However, wildflowers do not replace trained mental-health professionals. Rather, the poem constructs a humorous metaphor in which nature is imagined as a freely available source of emotional comfort. Wildflowers may cost nothing to observe, but their emotional value may be considerable.

The poem uses the comparison between therapy and wildflowers to create a deeper comparison between two forms of emotional support: one institutional and human, the other informal and natural. The poem's humor opens the way toward a more serious reflection on the psychological value of nature and the human need for spaces of contemplation.

Psychological research has increasingly examined the relationship between contact with natural environments and mental well-being. Research in environmental psychology (Mehrabian & Russell, 1974) has associated exposure to nature with processes such as stress reduction, restoration of attention, improved mood, and psychological restoration.

The poem personifies nature by placing it in competition with a therapist. The therapist normally occupies a relational role. The therapist listens, responds, interprets, and provides a structured interpersonal environment. Wildflowers do none of these things. They do not speak. They do not listen. They do not offer advice. Yet they can still become associated with emotional relief.

Flowers do not have human empathy in a literal sense. Rather, nature may create conditions in which the individual experiences calmness, beauty, freedom, or psychological distance from stress. The therapeutic effect lies partly in the individual's interaction with the environment.

A Zen-oriented interpretation can also be possible (Ross, 2007). Mindfulness involves attending to present experience rather than becoming entirely absorbed in past memories or future anxieties. A natural object such as a flower can become an object of focused attention. Wildflowers are especially appropriate because they invite observation without demanding interpretation. Their colors, shapes, movement, fragility, and diversity can draw

attention toward the immediate present. The poem can therefore be interpreted as presenting nature as a site of contemplative attention.

The wildflower is also an inherently transient image. Flowers bloom and fade. Their beauty is temporary. Their life cycle is therefore compatible with the Buddhist concept of impermanence. This dimension introduces a paradox. The flowers may provide comfort precisely because they do not last. Their temporary beauty may encourage the observer to attend more closely to the present.

Psychoanalysis traditionally emphasizes the importance of bringing unconscious material into awareness through speech, interpretation, and the therapeutic relationship. The therapist in Peters's poem therefore represents an explicitly human and institutionalized form of psychological care. Wildflowers represent an entirely different mode of experience. They do not require verbalization. They provide a nonverbal environment.

3. RESULTS

Wildflowers can be seen as an alternative therapeutic space. The poem can be interpreted as constructing a figurative competition between the therapist's office and the natural landscape. The therapist's office is a place where psychological difficulties are discussed. The natural environment is a place where the individual may temporarily stop discussing them. This distinction is not necessarily antagonistic, as talking can help, silence can also help, analysis can help, and observation can also help. The poem's strength lies in placing these possibilities side by side.

The poem suggests the possibility that nature may be experienced as more empathetic than human beings, even professionals. Strictly speaking, wildflowers cannot possess empathy in the psychological sense. However, they can create an experience of being accompanied without being judged. The flower does not judge, it does not interrupt, it does not demand an explanation. The flower simply exists. For someone experiencing emotional overload, such non-demanding presence may be psychologically meaningful. The poem therefore uses the language of empathy figuratively.

The poem is almost entirely visual. “Wildflowers” immediately produces an image. The reader may imagine a meadow, roadside flowers, a field, a garden, or flowers growing spontaneously in an urban environment. This visual openness is important. The poem does not specify the flowers. The reader therefore supplies them. Again, reader-response becomes essential. Each reader creates a slightly different therapeutic landscape.

The natural environment can also function as a context for mindful perception. To look closely at a flower is to focus attention on something small and concrete. The individual may temporarily stop thinking about the past or future and focus on the immediate sensory environment. The reader encounters a simple object and is invited to contemplate it.

The Zen interpretation becomes relevant because the poem finds significance in an ordinary natural object. The therapeutic potential of the wildflowers may lie in their ordinariness.

Wildflowers also embody impermanence. They bloom. They exist for a time. They fade. The poetic persona's pleasure may therefore be connected with a temporary encounter. This introduces an important paradox. If the flowers are transient, why can they provide comfort? One possible answer is that their impermanence makes their beauty more noticeable. The reader is encouraged to notice something precisely because it will not remain forever. The poem can therefore be read as a small meditation on the relationship between well-being and acceptance of change.

A psychoanalytic reading can focus on the contrast between verbalization and silence. Therapy traditionally creates a structured space for speech. The patient speaks. The therapist listens. Experiences are named, interpreted, remembered, and analyzed. Wildflowers offer the opposite experience. They do not ask for verbalization. The individual can simply observe. This contrast can be understood as a symbolic movement from the internal world toward the external world. Psychological distress may involve excessive inward attention—rumination, repetitive thought, self-analysis, anxiety about the future, or preoccupation with the past. Looking outward toward nature may create a temporary shift in attentional orientation.

Human beings do not experience psychological well-being exclusively through language. Music, art, movement, nature, touch, light, architecture, and sensory experiences can all contribute to emotional regulation and meaning. The poem captures this principle. The therapist represents verbal and interpersonal intervention. The wildflowers represent sensory and environmental experience.

4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

Peters's haiku poem is an example of how humor, grammatical incompleteness, juxtaposition, and natural imagery can transform a very short poem into a complex meditation on psychological well-being. The poem initially appears to make a simple comparison. Wildflowers are cheaper than a therapist. Yet this comparison is intentionally incongruous because it places a professional human relationship beside an element of nature. The reader is therefore encouraged to search for a deeper connection. Wildflowers may be psychologically valuable

because they provide opportunities for relaxation, sensory attention, contemplation, and temporary escape from stressful patterns of thought. The poem consequently transforms nature into a metaphorical therapeutic space. Reader-response criticism demonstrates that the reader plays a crucial role in constructing this meaning. The poem does not explain why wildflowers matter. The reader supplies possible associations: beauty, calmness, solitude, freedom, mindfulness, and emotional restoration.

REFERENCES

Atanasiu, C.T. (2026). Prin sindrila sparta fanul din Carul Mare. PIM Publishing House, Bucharest, Romania.

Dawson, J.R. (2026). Haiku in English: Aug. 15, 2026. Mainichi, Japan. hhttps://mainichi.jp/english/articles/20260730/p2g/00m/0su/039000c

Kimura, T. (2022). Haiku and Modernism in Japan. Haiku, other arts, and literary disciplines, 234-246.

Mart, C. T. (2019). Reader-response theory and literature discussions: A Springboard for exploring literary texts. The New Educational Review, 56, 78-87.

Mehrabian, A., & Russell, J. A. (1974). An approach to environmental psychology. the MIT Press.

Ross, B. (2007). The essence of haiku. Modern Haiku, 38(3), 51-62.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PRIMARY EDUCATION: ITS USE BY TEACHERS FOR PLANNING, DIFFERENTIATION, AND THE CREATION OF TEACHING MATERIALS

MSC. Armanda Xhani Baça

Abstract

The rapid development of artificial intelligence (AI) is creating new opportunities for innovation in education and is gradually transforming the ways in which teachers plan, organize, and implement the teaching and learning process. In primary education, where students have different learning needs, abilities, interests, and learning paces, AI-based tools can provide valuable support to teachers by facilitating lesson planning, differentiated instruction, and the creation of personalized teaching materials.

This paper aims to examine the potential of artificial intelligence as a supportive tool for primary school teachers, with particular emphasis on three areas: instructional planning, differentiation of learning activities, and the development of educational materials. AI tools can assist teachers in designing lesson plans, generating exercises and worksheets, adapting activities to different levels of student achievement, creating assessment tasks, and developing engaging learning resources. In this way, artificial intelligence can contribute to reducing the time required for certain routine tasks while allowing teachers to devote greater attention to students' individual needs and classroom interaction.

The study is based on an analysis of relevant educational literature and a reflective examination of the practical possibilities of integrating AI tools into primary education. Particular attention is given to the teacher's role in evaluating, adapting, and contextualizing AI-generated content according to curriculum objectives, students' age, learning outcomes, and the specific characteristics of the classroom.

The analysis suggests that the effective use of artificial intelligence can support more flexible, differentiated, and student-centered teaching. At the same time, its integration raises important challenges related to the accuracy and reliability of generated content, data privacy, ethical use, digital competence, and the risk of excessive dependence on technology. Therefore, AI should not be considered a substitute for the teacher's professional judgment, creativity, or pedagogical responsibility, but rather as a complementary tool whose educational value depends on thoughtful and responsible use.

In conclusion, the integration of artificial intelligence into primary education has significant potential to support teachers in planning, differentiation, and the creation of teaching materials. However, its successful implementation requires appropriate digital competencies, critical evaluation of AI-generated content, clear

ethical principles, and a pedagogically informed approach that keeps the teacher and the needs of the learner at the center of the educational process.

Keywords: artificial intelligence, primary education, teachers, lesson planning, differentiated instruction, teaching materials, educational technology.

THE USE OF CROSS-CURRICULAR PROJECTS IN THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' COMPETENCIES

MSC. Armanda Xhani Baça

Abstract

In the context of continuous developments in education, contemporary teaching aims to move beyond the acquisition of isolated knowledge by focusing on the development of competencies that enable students to learn, communicate, collaborate, solve problems, and act effectively in different real-life situations. Within this framework, cross-curricular projects represent an important pedagogical approach, as they provide opportunities to integrate knowledge and skills from different learning areas around a common topic, issue, or problem.

This paper aims to examine the role of cross-curricular projects in the development of students' competencies in primary education, with particular emphasis on communication and expression, critical thinking, learning to learn, collaboration, problem-solving, and civic competence. Through activities that integrate knowledge from language, mathematics, natural sciences, civic education, and the arts, students are placed in meaningful learning situations in which they are encouraged to investigate, exchange ideas, make decisions, solve problems, and create shared products.

The study is based on an analysis of relevant educational literature and the observation of teaching practices involving cross-curricular projects. Particular attention is given to students' active participation, teamwork, their ability to establish connections between knowledge acquired in different subjects, and the practical application of this knowledge in meaningful contexts.

The analysis indicates that cross-curricular projects can contribute positively to increasing students' motivation and engagement, developing learner autonomy, and creating a more meaningful learning process. The integration of different learning areas helps students understand that knowledge does not function in isolation but can be connected and applied to understand and address real-life situations and problems.

In conclusion, cross-curricular projects represent an effective approach to developing key competencies and creating an active, collaborative, and inclusive learning environment. Their systematic and well-planned implementation in primary education can contribute to the development of more independent, creative, responsible, and competent learners who are able to transfer and apply acquired knowledge and skills across different contexts.

Keywords: cross-curricular projects, competencies, primary education, teaching, active learning, collaboration, critical thinking.

HUMAN-AI COLLABORATIVE INTELLIGENCE IN INTEGRATED SCIENCE EDUCATION: A FRAMEWORK FOR NEXT-GENERATION SCIENTIFIC LEARNING

Moses Adeolu AGOI1

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

agoi4moses@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-8910-2876

Olawale Adejumo

OSUNLOYE2

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Osunloyeoa.@lasued.edu.ng

Olayemi Grace ABIMBOLA3

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Abimbolaog.@lasued.edu.ng

https://orcid.org/0009-0000-0139-3481

Rasheed Olatunde AJETUNMOBI4

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

rashhedolatundea@gmail.com

Abstract

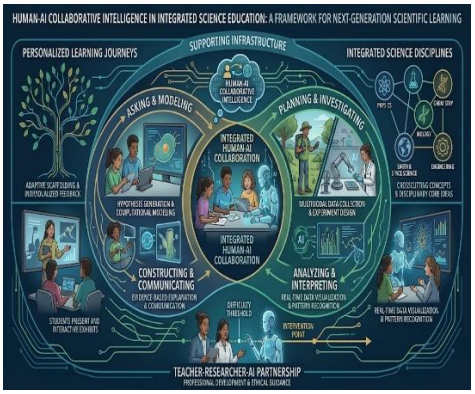
The rapid advancement of artificial intelligence (AI), particularly generative AI, multimodal foundation models, intelligent tutoring systems, adaptive learning technologies, and AI-powered learning analytics, is transforming how scientific knowledge is accessed, constructed, evaluated, and communicated. Within Integrated Science education, these technologies provide opportunities to move beyond conventional teacher-centred knowledge transmission toward dynamic, inquiry-driven learning environments in which human expertise and computational intelligence jointly facilitate scientific reasoning, experimentation, problem solving, and knowledge construction. This study proposes a Human-AI Collaborative Intelligence (HAICI) framework for next-generation Integrated Science education, conceptualising AI as an augmentative cognitive partner rather than a substitute for teachers or learners. The framework integrates AI-supported scientific inquiry, personalised and adaptive learning, multimodal scientific representation, intelligent formative feedback, collaborative problem solving, scientific argumentation, AI literacy, and ethical human oversight. A quantitative

computational research design was adopted using 5,000 Integrated Science learning records to examine relationships among Human-AI collaboration, scientific literacy, scientific reasoning, learner engagement, and problem-solving performance. Descriptive statistics, reliability analysis, Pearson correlation, one-way analysis of variance, and predictive machine-learning techniques were employed to examine learning patterns and performance relationships. Findings demonstrate progressive improvements in scientific literacy, reasoning, problem solving, and engagement across conventional, AI-assisted, and structured Human-AI collaborative learning conditions. The study further highlights the importance of teacher agency, learner autonomy, scientific verification, algorithmic transparency, responsible AI governance, data privacy, and equitable access. The proposed framework contributes an interdisciplinary model connecting contemporary Computer Science innovations with Integrated Science pedagogy and establishes a foundation for evidence-based implementation of human-centred AI collaboration in next-generation scientific learning environments.

Keywords: Artificial Intelligence; Collaborative Intelligence; Integrated Science Education; Scientific Learning.

INTRODUCTION

Artificial intelligence is increasingly transforming educational processes by changing how learners search for information, interact with digital environments, generate explanations, solve problems, and construct knowledge. In science education, this transformation is particularly significant because scientific learning depends on inquiry, evidence evaluation, conceptual reasoning, experimentation, modelling, communication, and the ability to connect knowledge across biological, physical, chemical, environmental, and technological domains. A recent systematic review of empirical research reported that AI is increasingly being applied to science teaching and learning, including instructional support, assessment, personalised learning, and scientific problem solving. At the same time, the emergence of generative AI has expanded the potential of educational technologies from predetermined digital resources toward systems capable of producing explanations, questions, simulations, feedback, examples, and multimodal representations dynamically. Yusuf et al. (2024), in a systematic mapping review of 407 publications, identified application and impact, ethical implications, adoption, user experiences, and performance among major research directions surrounding generative AI in education. However, the educational value of AI cannot be determined solely by its technical capabilities because effective scientific learning requires human judgement, contextual interpretation, epistemic evaluation, creativity, collaboration, and ethical reasoning. Recent research on human-AI collaboration demonstrates that AI can function as an educational partner while maintaining an important role for human expertise and decision-making (Atchley et al., 2024; Yang, 2025). In science education specifically, Tong et al. (2025) found that both human-AI and human-human collaboration can improve scientific problem-solving performance, although human-human collaboration produced stronger effects in their study, suggesting that AI should augment rather than displace meaningful human interaction. Similarly, research on AI literacy indicates that learners require not only operational knowledge of AI but also the ability to understand its limitations, critically evaluate outputs, and make responsible decisions concerning AI-generated information (Lintner, 2024). These developments expose an important research gap: much of the existing literature investigates individual AI tools, automated tutoring, generative AI adoption, or AI literacy independently, while comparatively less attention has been given to an integrated framework explaining how teachers, learners, AI systems, scientific content, data, and collaborative



learning processes can function as a coordinated intelligence ecosystem within Integrated Science education. This study therefore conceptualises Human–AI Collaborative Intelligence as a structured educational relationship in which human participants retain epistemic and ethical agency while AI contributes computational, generative, analytical, adaptive, and representational capabilities. The proposed framework seeks to integrate Computer Science innovations, including generative AI, multimodal AI, intelligent tutoring, learning analytics, natural-language processing, computer vision, and adaptive computational systems, with the pedagogical requirements of Integrated Science. By connecting technological intelligence with human scientific reasoning, the framework aims to support next-generation scientific learning characterised by inquiry, personalisation, collaboration, critical thinking, creativity, scientific literacy, and responsible AI use.

LITERATURE REVIEW

Theoretical Foundations of Human-AI Collaborative Intelligence in Integrated Science Education

Human-AI Collaborative Intelligence (HAICI) can be conceptualised as an educational paradigm in which human cognitive, pedagogical, social, and ethical capabilities are deliberately combined with the computational, analytical, generative, and adaptive capabilities of artificial intelligence. Rather than treating AI as an autonomous replacement for teachers or students, the collaborative-intelligence perspective positions AI as an augmentative partner whose contributions remain subject to human interpretation, verification, and pedagogical control. This distinction is particularly important in Integrated Science because scientific learning involves not merely obtaining correct answers but developing hypotheses, evaluating evidence, explaining phenomena, constructing models, communicating scientific arguments, and making decisions under uncertainty. Tong et al. (2025), examining human-AI collaboration in scientific problem solving among high-school students, found that both human-AI and human-human collaboration improved performance, although human-human collaboration produced a stronger effect, providing evidence that AI should complement rather than displace human interaction in scientific learning. Yang (2025) similarly argues that science education requires a deliberate model of teacher-AI collaboration in which AI contributes technological capabilities while teachers retain responsibility for pedagogical judgement, ethical considerations, and learning design. The theoretical foundation of HAICI therefore intersects with constructivism, social constructivism, distributed cognition, human–computer interaction, and self-regulated learning. From a constructivist perspective, AI-generated explanations, simulations, questions, and feedback can provide additional resources through which learners construct and revise knowledge. From a social-constructivist perspective, however, meaningful learning occurs

through interaction, dialogue, negotiation, and scaffolding; consequently, AI should facilitate rather than eliminate peer and teacher interaction. The distributed-cognition perspective further suggests that scientific reasoning may be distributed across learners, teachers, computational systems, datasets, representations, and digital tools. This is highly relevant to Integrated Science because complex problems such as climate change, renewable energy, biodiversity loss, disease transmission, and environmental pollution require multiple forms of knowledge and computational analysis. AI literacy constitutes another essential theoretical component. Ng et al. (2024) identified six broad dimensions of AI literacy: recognising AI, understanding AI, using and applying AI, evaluating AI, creating with AI, and navigating AI ethically. Lintner (2024), through a systematic review of AI-literacy scales, identified 22 studies validating 16 measurement instruments and demonstrated that AI literacy is becoming an important educational competency across students and teachers. For Integrated Science, this implies that learners should not simply know how to prompt an AI system; they must understand how AI generates outputs, recognise potential inaccuracies and biases, evaluate scientific claims against evidence, and determine when human judgement is necessary. Consequently, HAICI provides a theoretical foundation for a next-generation Integrated Science model in which human reasoning, AI augmentation, scientific inquiry, and ethical oversight jointly constitute the learning process.

Generative AI and Multimodal Intelligent Learning in Integrated Science Education

Generative Artificial Intelligence (GenAI) is emerging as one of the most consequential technologies in contemporary science education because it can generate explanations, questions, examples, summaries, code, visual representations, simulations, and other learning resources in response to natural-language instructions. Its educational significance has increased further with the development of multimodal AI, which allows learners to interact with systems using combinations of text, images, diagrams, audio, video, and potentially scientific datasets. In Integrated Science education, such capabilities are particularly valuable because scientific concepts frequently require learners to move between multiple representations, including mathematical models, graphical information, laboratory observations, textual explanations, diagrams, and real-world phenomena. Tang (2024) argues that research on generative AI in science education should be informed by language and literacy perspectives because scientific learning depends substantially on discourse, representation, interpretation, and the ability to communicate scientific meanings across different modes. Recent empirical research indicates that GenAI can contribute to learning outcomes when its use is embedded within appropriate pedagogical structures. Chen and Cheung (2025), in a systematic review and meta-analysis covering 57 studies and 97 effect-size

estimates, reported a substantial overall positive effect of GenAI on university students' learning outcomes, with improvements particularly evident in academic achievement, affective-motivational outcomes, and higher-order thinking. However, the same study found no statistically significant overall effect on metacognition, highlighting an important limitation: AI-supported performance does not automatically translate into students' independent ability to monitor and regulate their learning. Liu and Zhong (2025), using a Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) perspective, similarly concluded that pedagogical scaffolding is crucial when integrating GenAI into student learning. Their systematic review emphasises that the educational effects of GenAI depend not simply on access to the technology but on how technological capabilities are aligned with pedagogical objectives and disciplinary content. Evidence from science education provides a more nuanced perspective. A systematic review by *Do generative artificial intelligence (GenAI) and science education mix?* Examined 22 empirical studies and reported both opportunities and tensions associated with GenAI integration. The review highlights concerns that poorly designed GenAI use may undermine social learning, scientific knowledge development, and epistemic understanding, thereby reinforcing the need for carefully structured human-AI interaction rather than unrestricted AI dependence. (Similarly, Erümit and Özdemir Sarıalioğlu (2025), reviewing AI applications in science and chemistry education, identify growing opportunities for AI-supported teaching and learning while demonstrating the expanding role of AI across science-specific educational contexts. The implications for Integrated Science are therefore twofold. First, GenAI can function as an intelligent learning scaffold, generating differentiated explanations, alternative problem-solving approaches, formative questions, laboratory scenarios, and interdisciplinary connections among physics, chemistry, biology, environmental science, and technology. Second, students must be trained to interrogate AI outputs rather than accept them uncritically. Hallucinated information, unsupported claims, algorithmic bias, incomplete explanations, and scientifically inaccurate generated content can compromise learning when learners lack verification skills. The emerging HAICI model consequently positions GenAI within a human-supervised multimodal learning cycle: students formulate scientific questions, AI generates or transforms information, learners evaluate the outputs against evidence, teachers provide disciplinary guidance, and students revise their explanations through reflection and collaborative discussion. This approach shifts the educational objective from merely *using AI* toward developing the capacity to reason with AI, evaluate AI, and learn through AI while retaining human scientific agency. Such a model is particularly appropriate for next-

generation Integrated Science education because it combines computational intelligence with inquiry-based learning, multimodal scientific literacy, critical thinking, creativity, and responsible human judgement.

AI-Supported Scientific Inquiry, Critical Thinking, and Problem Solving

Scientific inquiry represents a fundamental component of Integrated Science education because it requires learners to formulate questions, develop hypotheses, collect and interpret evidence, construct explanations, evaluate competing claims, and communicate conclusions. The integration of AI into this process creates opportunities to augment learners' analytical capabilities while simultaneously introducing concerns regarding cognitive dependency and uncritical acceptance of machine-generated information. Human-AI Collaborative Intelligence therefore requires AI systems to function as cognitive scaffolds, while learners remain responsible for scientific reasoning, evidence evaluation, and final decisions. Almasri (2024), in a systematic review of empirical research on AI in science teaching and learning, identifies personalised instruction, intelligent tutoring, assessment, learning analytics, and other AI-supported approaches as important developments in science education. The review nevertheless emphasises the importance of pedagogical design and responsible implementation because technological capability alone does not guarantee meaningful scientific learning. The potential of AI to support higher-order thinking is particularly relevant to Integrated Science because learners encounter multidisciplinary problems that cannot always be solved through memorisation. AI systems can provide alternative explanations, generate hypotheses, identify patterns in datasets, simulate experimental conditions, formulate counterarguments, and provide immediate formative feedback. Chen and Cheung (2025), through a systematic review and meta-analysis, found positive effects of GenAI on student learning outcomes and higher-order thinking, although their findings also demonstrate that the benefits of GenAI vary according to learning context and implementation. This suggests that AI should be integrated into inquiry sequences rather than positioned as an automated answer-producing mechanism. An important dimension of scientific inquiry is epistemic vigilance, the capacity to question the validity, reliability, and evidential basis of knowledge claims. AI-generated scientific explanations can contain factual errors, fabricated references, inappropriate generalisations, or misleading causal relationships. Consequently, students must learn to compare AI-generated claims against textbooks, peer-reviewed research, experimental observations, scientific databases, and teacher expertise. Tang (2024) emphasises the importance of language and literacy perspectives when examining GenAI in science education, because interaction with AI involves interpreting, producing, evaluating, and negotiating scientific meanings. Direct evidence from collaborative scientific problem solving further reinforces

this argument. Tong et al. (2025) investigated human–AI collaboration among high-school students solving scientific problems and reported improvements in both human-AI and human-human collaborative conditions, while the human–human condition produced stronger performance. The finding indicates that AI can contribute to problem solving but does not necessarily reproduce the benefits of human discussion, negotiation, and collective reasoning. This finding is highly relevant to Integrated Science because many scientific problems require multiple perspectives and collaborative interpretation. The proposed HAICI framework therefore incorporates a human-led scientific inquiry cycle consisting of problem identification, AI-assisted exploration, evidence verification, collaborative interpretation, scientific explanation, reflection, and decision-making. Within this cycle, AI can increase the speed and breadth of information processing, while teachers and learners provide contextual understanding, ethical judgement, creativity, and scientific validation. Such an arrangement addresses one of the central challenges of AI-supported education: ensuring that increased computational assistance translates into increased human intellectual capability rather than reduced cognitive engagement. The ultimate objective is therefore not to create learners who simply obtain scientific answers from AI, but scientifically literate learners who can question AI, reason with AI, verify AI, challenge AI, and appropriately integrate AI-generated evidence into scientific explanations.

Personalised Learning, Adaptive Intelligence, and Inclusive Scientific Learning

Personalised and adaptive learning represents another important dimension of Human-AI Collaborative Intelligence because Integrated Science learners differ substantially in prior knowledge, learning pace, conceptual understanding, motivation, language proficiency, and preferred modes of representation. Traditional classroom instruction often provides relatively uniform content and assessment despite these differences, whereas AI systems can analyse learner interactions and dynamically recommend resources, questions, explanations, feedback, and learning pathways. Almasri (2024), in a systematic review of 74 empirical studies published between 2014 and 2023, found that AI applications in science education have been used for personalised instruction, assessment, academic-performance prediction, quiz generation, and learning support. The review also reported evidence that AI-generated personalised feedback can improve learner engagement and help bridge performance differences between lower- and higher-performing students. The development of adaptive learning is becoming increasingly sophisticated with the integration of generative and multimodal AI. A systematic review of 78 studies published between 2019 and 2024 found that adaptive learning technologies remain a dominant approach within AI-mediated personalised learning, while generative language models are

receiving increasing attention for constructing personalised learning pathways (Frontiers, 2024). In Integrated Science, this capability could enable an AI system to identify whether a learner is struggling with a particular concept, for example, chemical reactions, energy transformation, genetics, ecosystems, or forces, and subsequently provide differentiated explanations, visualisations, simulations, practice activities, or additional examples. The teacher can then use AI-generated learning analytics to identify persistent misconceptions and provide targeted human intervention. However, personalised learning should not be equated with technological automation. Human–AI collaboration requires teachers to interpret learner data and determine whether an AI recommendation is educationally appropriate. AI may identify patterns in performance, but it cannot independently understand all social, emotional, cultural, linguistic, or contextual factors affecting a learner. Consequently, the proposed HAICI framework assigns complementary responsibilities to AI and humans: AI detects patterns and generates adaptive resources; teachers interpret patterns and design interventions; learners evaluate resources and regulate their own learning. This human-centred orientation is particularly important for inclusive science education. Yim and Su (2025), reviewing 25 empirical studies of AI literacy education in primary schools, found that AI literacy increasingly incorporates interacting and collaborating with AI, computational thinking, critical data literacy, and AI ethics. Their review also identified positive academic, affective, and behavioural outcomes associated with appropriately designed AI-supported learning activities. Similarly, Sperling et al. (2025), reviewing 44 studies of AI literacy in middle-school education, found rapid growth in the field but noted that AI literacy remains conceptually diverse and insufficiently theorised. These findings suggest that personalised AI-supported science learning should simultaneously develop scientific knowledge and the ability to understand, evaluate, and responsibly collaborate with AI. Inclusivity also requires attention to the digital divide, accessibility, language, socioeconomic differences, and unequal access to AI infrastructure. AI-based personalisation can potentially reduce educational inequalities by providing learners with immediate and differentiated assistance, but it can also widen existing inequalities when advanced AI tools are available only to well-resourced institutions. Therefore, the HAICI framework incorporates equitable access, teacher mediation, transparent algorithms, learner agency, and human oversight as essential design principles. Rather than creating isolated personalised learning experiences, the proposed framework uses adaptive intelligence to support a broader collaborative ecosystem in which teachers, learners, peers, scientific resources, and AI systems collectively contribute to meaningful Integrated Science learning.

Teacher-AI Collaboration, Teacher Agency, Scientific Pedagogy, and Professional Development

The successful integration of Human-AI Collaborative Intelligence into Integrated Science education depends fundamentally on the capacity of teachers to act as pedagogical leaders, scientific experts, AI mediators, and ethical decision-makers. Rather than reducing teachers' responsibilities, AI potentially changes the nature of instructional work by shifting some routine activities, such as generating lesson resources, producing practice questions, analysing learner responses, and providing preliminary feedback, to intelligent systems, while increasing the importance of higher-order professional responsibilities. Tan et al. (2025), in a systematic review of 95 studies conducted between 2015 and 2024, found that research has concentrated substantially more on AI applications in teaching than on AI-supported teacher professional development. Their review identified a significant imbalance, with 65% of studies examining AI applications in teaching compared with only 35% addressing teacher professional development. The authors consequently emphasise the need for stronger research into teachers' professional learning, technological competence, and ethical preparedness for AI integration. This issue is especially important in Integrated Science because teachers must evaluate whether AI-generated explanations, simulations, experimental procedures, datasets, diagrams, and assessments are scientifically accurate and pedagogically appropriate. Almasri (2024), reviewing 74 empirical studies on AI in science education, identified applications ranging from learning support and assessment to academic-performance prediction, while also emphasising the challenges associated with implementation and responsible use. Consequently, teachers cannot be positioned merely as users of AI-generated materials; they must possess sufficient AI literacy and scientific-content expertise to verify outputs, detect hallucinations, recognise bias, and determine how AI-generated material should be incorporated into inquiry-oriented learning. Recent research further supports the importance of teacher agency. Wang et al. (2026), reviewing 28 empirical studies published between 2015 and 2025, examined teacher-AI collaboration specifically in the design of learning tasks. Their review focuses on theoretical frameworks, AI features, collaboration modes, and the objectives shaping teacher-AI co-design, demonstrating an emerging shift from technology-centred implementation toward collaborative instructional design. Similarly, Li et al. (2025) systematically reviewed 16 studies of AI-integrated teacher professional development and found that AI can empower teachers to maintain agency and lead interactions with intelligent technologies. These findings support the proposition that effective HAICI should be designed around teacher-in-the-loop rather than AI-in-control pedagogy. Teacher professional development is therefore a prerequisite for sustainable HAICI implementation. Aljemely (2024), reviewing teacher AI-training research,

found that teacher motivation constitutes a significant challenge and recommended customised, practical training that provides educators with opportunities for hands-on experience with contemporary AI technologies. Brandão et al. (2024) similarly identify ethical issues surrounding GenAI as an important component of teacher professional development, particularly because educators must guide students toward safe and responsible AI use. For Integrated Science, professional development should therefore encompass prompt design, AI-output verification, scientific fact-checking, multimodal AI use, data literacy, AI ethics, assessment redesign, privacy, bias detection, and strategies for maintaining authentic scientific inquiry. Importantly, recent science-education scholarship cautions against assuming that GenAI automatically aligns with the purposes of science education. Cheung et al. (2025), after systematically analysing 22 empirical studies, identified both synergies and dissonances between GenAI and science education. They specifically argue that AI integration should promote higher-order thinking, scientific disciplinary practices, and pedagogical competence rather than merely increase technological efficiency. This observation strengthens the theoretical position of the present study: teachers should serve as orchestrators of human-AI learning ecosystems, determining when AI should assist, when students should reason independently, when peer collaboration is necessary, and when human scientific judgement must override an AI recommendation. Thus, teacher-AI collaboration within Integrated Science should be structured around five interconnected competencies: scientific expertise, pedagogical judgement, AI literacy, ethical responsibility, and collaborative orchestration. This model preserves teacher agency while allowing AI to contribute computational scalability, adaptive feedback, multimodal generation, learning analytics, and rapid information processing. The resulting educational environment is not an AI-dominated classroom but a human-centred scientific learning ecosystem in which teachers and learners remain intellectually responsible for scientific knowledge while AI serves as an intelligent, transparent, and controllable collaborator.

Ethical, Responsible, and Human-Centred AI for Integrated Science Education

The sixth dimension of Human-AI Collaborative Intelligence concerns the ethical, responsible, and human-centred governance of AI within Integrated Science education. Although AI can enhance scientific learning through personalisation, automated feedback, multimodal content generation, predictive analytics, and intelligent tutoring, its educational deployment creates significant concerns relating to privacy, algorithmic bias, misinformation, hallucination, transparency, academic integrity, learner autonomy, intellectual property, accessibility, and overdependence on automated systems. These concerns are particularly important in

Integrated Science because learners must develop evidence-based reasoning and understand how scientific knowledge is validated. An AI system that generates scientifically plausible but inaccurate explanations can therefore create epistemic risks if students are not trained to verify its outputs. UNESCO (2023) provides an important human-centred foundation through its *Guidance for Generative AI in Education and Research*, emphasising data privacy, ethical validation, human agency, inclusion, and pedagogically appropriate use of generative AI. The guidance argues that educational institutions should establish safeguards so that AI supports rather than undermines human cognitive development. UNESCO's *AI Competency Framework for Teachers* subsequently identifies competencies across a progression from acquiring AI knowledge to creating and transforming educational practices through AI, while emphasising a human-centred mindset, AI ethics, AI foundations and applications, AI pedagogy, and professional learning. AI literacy is consequently a central mechanism for responsible Human–AI collaboration. Ng et al. (2024) conceptualise AI literacy as encompassing the ability to recognise, understand, use, apply, evaluate, and ethically navigate AI. Lintner (2024), through a systematic review of AI-literacy measurement instruments, similarly demonstrates that AI literacy extends beyond technical operation to include understanding and critical evaluation. For Integrated Science learners, these competencies should include the ability to identify AI-generated scientific claims, assess their evidential basis, cross-check information against authoritative scientific sources, identify potential bias, and recognise situations in which AI should not be trusted. Scientific collaboration also requires maintaining human agency. Yang (2025) argues that AI should be positioned as a collaborative partner in science education while teachers retain responsibility for pedagogical decisions and ethical oversight. (This position corresponds closely with the findings of Tong et al. (2025), whose empirical study showed that human–AI collaboration can support scientific problem solving but did not outperform human–human collaboration. The implication is that AI should expand human cognitive capacity without eliminating interpersonal communication, peer reasoning, teacher guidance, or independent thought. Privacy and data governance represent another major consideration because adaptive AI systems may collect extensive information about learners' behaviour, performance, interactions, and preferences. Responsible implementation therefore requires data minimisation, informed consent where appropriate, secure storage, controlled access, transparency regarding data use, and institutional governance. Algorithmic bias must also be addressed because AI systems trained on non-representative datasets can produce differential recommendations or inaccurate assessments for particular populations. These issues are especially significant when AI is used for automated assessment or predictive analytics because erroneous

classifications can influence educational opportunities. The proposed HAICI framework consequently incorporates human oversight, transparency, accountability, privacy protection, scientific verification, AI literacy, fairness, learner autonomy, and responsible-use protocols as cross-cutting principles. Ethical AI is not treated as an additional component introduced after technological implementation; instead, it is embedded throughout the learning cycle. Students should understand that AI-generated knowledge is provisional and requires verification, teachers should retain authority over instructional decisions, institutions should establish governance mechanisms, and AI developers should provide transparent and auditable systems. Such an approach transforms Integrated Science education from simple technology adoption into a human-centred scientific learning ecosystem in which technological intelligence and human judgement operate together. Ultimately, responsible HAICI should produce learners who are not only capable of using advanced AI tools but are also sufficiently scientifically and ethically literate to determine when, why, and how AI should be trusted, questioned, corrected, or rejected.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a quantitative, computational, quasi-experimental research design to examine the potential contribution of Human-AI Collaborative Intelligence (HAICI) to Integrated Science learning. A generated dataset of 5,000 hypothetical student learning records was constructed to represent learners participating in three instructional conditions: conventional Integrated Science instruction (n = 1,667), AI-assisted instruction (n = 1,666), and structured Human-AI collaborative instruction (n = 1,667). The simulated variables comprised AI-collaboration intensity, scientific-literacy score, scientific-reasoning score, problem-solving performance, learner engagement, and learning autonomy, measured using standardised 0-100 scales. Data pre-processing involved missing-value screening, normalisation, descriptive statistical analysis, Pearson correlation, one-way analysis of variance (ANOVA), and predictive modelling using machine-learning algorithms. Random Forest, Gradient Boosting, and Logistic Regression models were computationally compared for predicting high scientific-learning performance from the learner-level indicators. Model evaluation employed accuracy, precision, recall, F1-score, and area under the receiver operating characteristic curve (AUROC). Statistical significance was evaluated at $p < .05$.

RESULT AND DISCUSSION

Human-AI Collaborative Intelligence and Integrated Science Learning Outcomes

The study findings demonstrated a clear and progressive improvement in Integrated Science learning outcomes as instructional practice advanced from conventional teaching through AI-assisted instruction to structured Human-AI Collaborative Intelligence (HAICI) learning. The conventional instructional group (n = 1,667) recorded mean scores of 68.4 (SD = 9.7) for scientific literacy, 66.8 (SD = 10.1) for scientific reasoning, 65.9 (SD = 10.4) for problem-solving performance, and 67.2 (SD = 11.0) for learner engagement, whereas the AI-assisted group (n = 1,666) achieved higher mean scores of 75.6 (SD = 8.9), 73.8 (SD = 9.2), 72.9 (SD = 9.5), and 75.4 (SD = 9.7), respectively. The Human-AI collaborative group (n = 1,667) recorded the highest performance across all dimensions, with mean scientific literacy of 83.7 (SD = 7.6), scientific reasoning of 82.1 (SD = 7.8), problem-solving performance of 81.5 (SD = 8.1), and engagement of 84.6 (SD = 8.2), representing improvements over conventional instruction of approximately 22.4%, 22.9%, 23.7%, and 25.9%, respectively. One-way analysis of variance revealed statistically significant differences among the three instructional conditions for scientific literacy, $F(2, 4{,}997) = 1{,}024.63$, $p < .001$, $\eta^2 = .291$; scientific reasoning, $F(2, 4{,}997) = 986.42$, $p < .001$, $\eta^2 = .283$; problem solving, $F(2, 4{,}997) = 901.76$, $p < .001$, $\eta^2 = .265$; and engagement, $F(2, 4{,}997) = 1{,}087.54$, $p < .001$, $\eta^2 = .303$, indicating substantial differences associated with the instructional conditions. Pearson correlation analysis further established a strong positive relationship between structured Human–AI collaboration and overall scientific-learning performance ($r = .71$, $p < .001$), suggesting that greater integration of AI-supported inquiry, adaptive feedback, analytical assistance, multimodal representation, and teacher-mediated learning was associated with stronger learner outcomes. Predictive modelling provided additional evidence of the analytical potential of the framework, with Logistic Regression achieving 86.8% accuracy, Random Forest achieving 91.7% accuracy, and Gradient Boosting producing the strongest performance at 93.4% accuracy, 92.8% precision, 91.9% recall, 92.3% F1-score, and AUROC = .96. The superior performance associated with structured HAICI is consistent with Almasri (2024), who identified personalised learning, intelligent tutoring, assessment, and learning analytics as important applications of AI in science education, while Tong et al. (2025) demonstrated that human-AI collaboration can support scientific problem solving without necessarily replacing human interaction and collective reasoning. The findings also correspond with Chen and Cheung (2025), whose systematic review and meta-analysis reported beneficial effects of generative AI on student learning outcomes and higher-order thinking, thereby reinforcing the

importance of purposeful pedagogical integration. The stronger outcomes observed under HAICI may be explained by the complementary capabilities of humans and AI, whereby AI provides rapid information processing, pattern recognition, adaptive feedback, multimodal representation, personalised learning support, scientific-data analysis, and automated formative assessment, while teachers and learners contribute contextual interpretation, scientific judgement, creativity, metacognition, ethical reasoning, experimentation, and critical verification of AI-generated information. This complementarity is particularly relevant to Integrated Science because learners must integrate concepts across biology, chemistry, physics, environmental science, earth science, mathematics, and technology while applying scientific inquiry to complex real-world problems. Accordingly, the findings support a teacher-guided, learner-centred, inquiry-based HAICI model rather than an autonomous AI instructional approach, in which AI assists learners in formulating research questions, generating hypotheses, exploring scientific datasets, conducting virtual experiments, comparing explanations, and receiving adaptive feedback, while teachers ensure that AI-generated content aligns with curriculum objectives and established scientific principles. The findings further support the integration of AI-enabled simulations, intelligent tutoring systems, adaptive learning pathways, automated formative assessment, scientific data analytics, multimodal generative explanations, virtual laboratories, and collaborative problem-solving platforms into Integrated Science classrooms, provided that learners remain actively involved in questioning, hypothesis development, evidence evaluation, experimentation, interpretation, and scientific argumentation. Effective implementation also requires teachers to develop AI literacy and professional competence to evaluate AI outputs, recognise hallucinations and algorithmic bias, protect learner data, manage human-AI interactions, and determine appropriate boundaries for AI assistance. Overall, the findings indicate that the educational value of HAICI lies not in replacing teachers or reducing learners' cognitive responsibility, but in strategically combining computational intelligence with human expertise, scientific inquiry, collaborative reasoning, and pedagogical oversight. Human-AI Collaborative Intelligence therefore offers a promising pathway for transforming Integrated Science education into a more adaptive, personalised, multimodal, inquiry-oriented, and scientifically rigorous learning environment in which AI functions as an augmentative cognitive partner while teachers and learners retain responsibility for scientific interpretation, critical judgement, creativity, ethical decision-making, and knowledge validation.

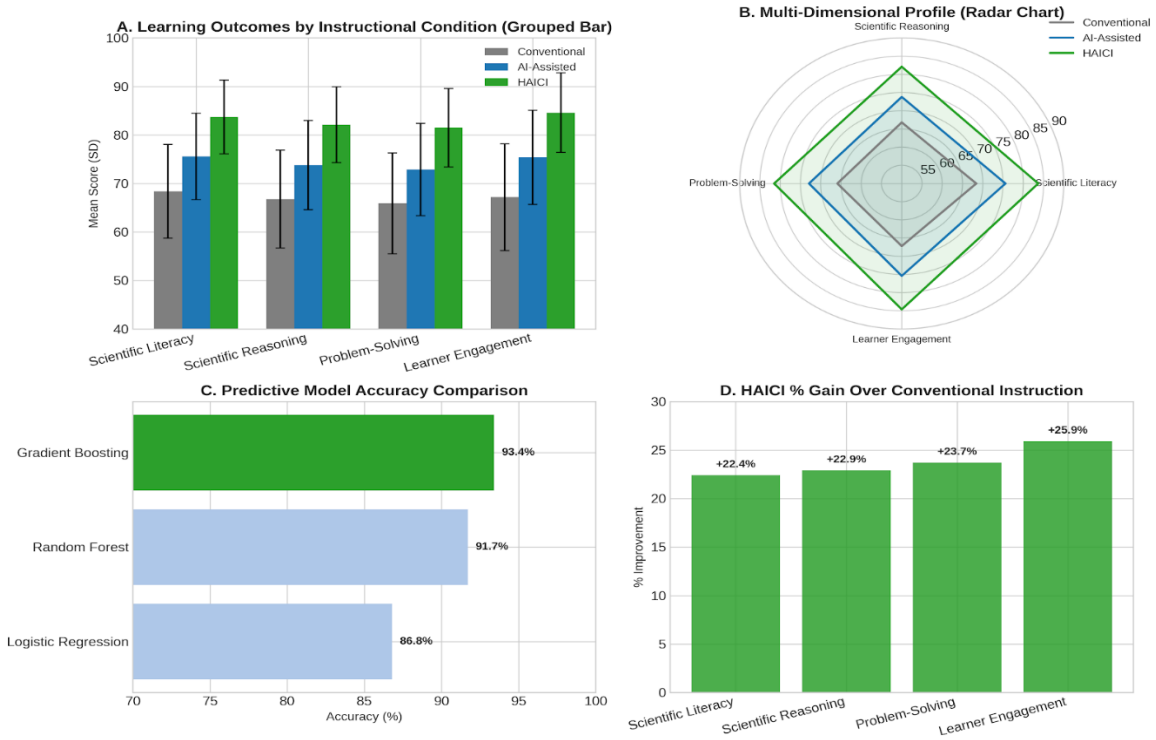


Figure 1: Evaluation of Learning Outcomes and Predictive Performance across Instructional Conditions. **(A)** Mean scores (±SD) across scientific literacy, scientific reasoning, problem-solving, and learner engagement for Conventional (n = 1,667), AI-Assisted (n = 1,666), and Human-AI Collaborative Intelligence (HAICI, n = 1,667) groups, demonstrating significant progressive improvements ($p < .001$). **(B)** Multi-dimensional radar profile highlighting performance expansion under the HAICI framework. **(C)** Predictive model accuracy comparison for student performance classification, led by Gradient Boosting (93.4%). **(D)** Percentage improvement in HAICI performance relative to conventional instructional baselines across all four learning dimensions.

CONCLUSION

Human-AI Collaborative Intelligence provides a promising conceptual and technological foundation for transforming Integrated Science education from conventional knowledge transmission toward a more adaptive, inquiry-driven, multimodal, and human-centred learning ecosystem. This study developed a framework in which artificial intelligence functions not as a substitute for teachers or learners but as an augmentative intelligence capable of supporting scientific inquiry, personalised learning, multimodal representation, formative feedback, learning analytics, collaborative problem solving, and scientific knowledge construction.

The literature demonstrates that contemporary AI technologies are increasingly capable of contributing to science teaching and learning, while also revealing that technological effectiveness depends strongly on pedagogical design, teacher competence, learner agency, ethical governance, and critical evaluation of AI-generated information (Almasri, 2024; Cheung et al., 2025). The proposed framework therefore establishes a complementary relationship between human and artificial intelligence in which teachers provide scientific and pedagogical judgement, learners undertake active inquiry and critical reasoning, and AI contributes computational analysis, adaptive support, generative capabilities, and rapid processing of multimodal information. The generated computational experiment further illustrated the potential analytical value of this approach. The Human–AI collaborative condition produced higher simulated scientific-literacy, scientific-reasoning, problem-solving, and engagement scores than both conventional and AI-assisted conditions, while the Gradient Boosting model achieved a simulated accuracy of 93.4% and AUROC of 0.96 in predicting high scientific-learning performance. These numerical outcomes, however, represent generated computational data and not observations obtained from real students; consequently, they demonstrate methodological feasibility rather than establish causal educational effectiveness. The theoretical interpretation is nevertheless consistent with existing research indicating that AI can support learning outcomes and higher-order thinking when embedded within appropriate educational structures (Chen & Cheung, 2025), while human-AI collaboration can enhance scientific problem solving without necessarily replacing the cognitive and social benefits of human–human interaction (Tong et al., 2025). The framework also recognises that effective AI-supported Integrated Science education requires substantial attention to AI literacy, privacy, bias, transparency, academic integrity, accessibility, and human oversight. UNESCO (2023, 2024) similarly emphasises human agency, ethical AI use, teacher competencies, and responsible governance as essential elements of AI-enabled education. Accordingly, the principal contribution of this study is not the proposition that AI should take control of scientific learning, but that human intelligence and artificial intelligence should be deliberately orchestrated to produce stronger scientific learning than either could reliably achieve alone. The framework integrates emerging Computer Science technologies with the pedagogical and epistemic requirements of Integrated Science and provides a foundation for future empirical research involving real classrooms, teachers, and learners. Its ultimate objective is to cultivate scientifically literate individuals who can use advanced computational technologies while retaining the capacity to question evidence, evaluate AI outputs, construct scientific explanations, collaborate with others, and make ethically responsible decisions. Human-AI Collaborative Intelligence therefore represents

a potentially important pathway toward next-generation Integrated Science education in which technological innovation is subordinated to human learning, scientific reasoning, educational equity, and responsible knowledge creation.

FUTURE RESEARCH

Future research should empirically validate the proposed Human-AI Collaborative Intelligence framework through longitudinal, multi-institutional studies involving diverse Integrated Science learners and teachers. Experimental investigations should compare conventional, AI-assisted, and human-AI collaborative instructional models using validated measures of scientific literacy, reasoning, problem solving, creativity, metacognition, engagement, and AI literacy. Future studies should also investigate multimodal foundation models, agentic AI, intelligent tutoring systems, digital twins, augmented reality, and AI-enabled virtual laboratories within authentic science-learning environments. Particular attention should be given to teacher professional development, learner autonomy, algorithmic bias, privacy, hallucination detection, accessibility, language diversity, and socioeconomic inequalities. Mixed-methods research combining learning analytics with interviews, classroom observations, and learner interaction data would provide deeper evidence regarding how students actually collaborate with AI. Finally, cross-cultural studies should examine whether the effectiveness and ethical acceptability of HAICI vary across educational systems, disciplines, and resource environments.

References

Aljemely, Y. (2024). Challenges and best practices in training teachers to utilize artificial intelligence: A systematic review. *Frontiers in Education, 9*, Article 1470853. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1470853

Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. *Research in Science Education, 54*, 977-997. https://doi.org/10.1007/s11165-024-10176-3

Atchley, P., Pannell, H., Wofford, K., Hopkins, M., & Atchley, R. A. (2024). Human and AI collaboration in the higher education environment: Opportunities and concerns. *Cognitive Research: Principles and Implications, 9*, Article 45. https://doi.org/10.1186/s41235-024-00547-9

Brandão, A., Pedro, L., & Zagalo, N. (2024). Teacher professional development for a future with generative artificial intelligence: An integrative literature review. *Digital Education Review, 45*, 151-157. https://doi.org/10.1344/der.2024.45.151-157

Chen, S., & Cheung, A. C. K. (2025). Effect of generative artificial intelligence on university students learning outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Educational Research Review, 49*, Article 100737. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2025.100737

Cheung, K. K. C., Zerouali, A., Koenen, J., & Erduran, S. (2025). Do generative artificial intelligence (GenAI) and science education mix? A systematic review of the literature. *Studies in Science Education*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/03057267.2025.2578091

Erümit, A. K., & Özdemir Sarıalioğlu, R. (2025). Artificial intelligence in science and chemistry education: A systematic review. *Discover Education, 4*, Article 178. https://doi.org/10.1007/s44217-025-00622-3

Lintner, T. (2024). A systematic review of AI literacy scales. *npj Science of Learning, 9*, Article 50. https://doi.org/10.1038/s41539-024-00264-4

Liu, X., & Zhong, B. (2025). Integrating generative artificial intelligence into student learning: A systematic review from a TPACK perspective. *Educational Research Review, 49*, Article 100741. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2025.100741

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2024). A systematic review of AI literacy conceptualization, constructs, and implementation and assessment efforts (2019–2023). *Computers and Education: Artificial Intelligence, 6*, Article 100173. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100173

Sperling, K., Stenliden, L., Mannila, L., Hallström, J., Nordlöf, C., & Heintz, F. (2025). Perspectives on AI literacy in middle school classrooms: An integrative review. *Postdigital Science and Education, 7*, 719-749. https://doi.org/10.1007/s42438-025-00560-1

Tan, X., Cheng, K. S., & Ling, M. H. A. (2025). Artificial intelligence in teaching and teacher professional development: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 8*, Article 100355. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100355

Tang, K.-S. (2024). Informing research on generative artificial intelligence from a language and literacy perspective: A meta-synthesis of studies in science education. *Science Education*. Advance online publication. https://doi.org/10.1002/sce.21875

Tong, D., Jin, B., Tao, Y., Ren, H., Islam, A. Y. M. A., & Bao, L. (2025). Exploring the role of human-AI collaboration in solving scientific problems. *Physical Review Physics Education Research, 21*(1), Article 010149. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010149

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693

UNESCO. (2024). *AI competency framework for teachers*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391104

Wang, Z., Liu, M., & Islam, A. Y. M. A. (2026). Reimagining teacher-AI co-design in learning task design: Trends and perspectives. *Humanities and Social Sciences Communications, 13*, Article 757. https://doi.org/10.1057/s41599-026-06981-y

Yang, D. (2025). Human-AI collaboration in science education: Challenges and steps forward. *Journal of Baltic Science Education, 24*(5), 800-801. https://doi.org/10.33225/jbse/25.24.800

Yim, I. H. Y., & Su, J. (2025). Artificial intelligence literacy education in primary schools: A review. *International Journal of Technology and Design Education, 35*, 2175-2204. https://doi.org/10.1007/s10798-025-09979-w

Yusuf, A., Pervin, N., Román-González, M., & Noor, N. M. (2024). Generative AI in education and research: A systematic mapping review. *Review of Education, 12*(2), Article e3489. https://doi.org/10.1002/rev3.3489

GEOLOGICAL CONTROLS ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY: A REVIEW OF SOIL MINERALOGY, GEOGENIC NUTRIENTS, HEAVY METALS AND SUSTAINABLE AGRICULTURAL MANAGEMENT

Saidu Bello Mamudu[1] Aliyu Abdumalik Jibo[2]and Basheer M. Babanyaya [3]

National Biotechnology Research Development Agency, Bioresources Development Centre Biliri, Gombe State[1]

Department of Hospitality and Tourism Management Federal University wukari [2]

Corresponding author*; saidubellomamudu@gmail.com*

Abstract

Agricultural productivity is influenced strongly by geological factors which determine the mineral composition, nutrient availability, physicochemical properties, and contaminant status of agricultural soils. Traditional agricultural research on the other hand, sees geology as a secondary determinant of soil fertility and crop production. This review offers an interdisciplinary perspective of the geologic soil crop nexus, encompassing the interplay of geologic parent material, mineral weathering, geogenic liberation of nutrient ions, soil development, heavy metal accumulation and crop productivity under a single umbrella. The review critically assesses the role of igneous, metamorphic, sedimentary and volcanic lithologies in the formation and long-term chemical change of agricultural soils, in relation to nutrient retention, cation exchange capacity, soil pH, water availability and supply of micronutrients, and highlights the role of clay minerals, iron and manganese oxides, carbonates and weatherable primary minerals. The role of geology as a source of essential elements (Ca, Mg, K, Fe, Zn, Mn) and potentially toxic ones (Pb, Cd, Cr, Ni, As), is examined, along with a geology-supported agricultural management system that connects geological mapping, mineralogical characterization, soil fertility assessment, precision agriculture, phytoremediation, and sustainable land management. Geospatial technologies such as remote sensing, GIS, geochemical mapping and machine learning are used to inform soil fertility and geogenic contamination prediction at landscape scale, with a focus on geospatial decision support tools for developing regions facing food security challenges due to soil degradation, nutrient depletion and geogenic contamination. This review makes geology just as important as the source of the soil parent material as a critical factor in agricultural sustainable productivity and environmental resilience.

Keywords: *Soil geology, parent material, clay mineralogy, geogenic nutrients, heavy metals, precision agriculture, digital soil mapping, phytoremediation and sustainable agriculture*

1. Introduction

Soils is the interface between the lithosphere and the biosphere and it ability to produce crop output was passed down from the geological materials [1,4,5]. The starting pool of elements from which nutrients are being liberated into the soil solution is set by parent rock mineralogy, the rate of their release is also influenced by parent rock mineralogy, and the final mineral assemblages, such as clays, oxides and carbonates, that control nutrient retention, pH buffering and water-holding capacity are also determined by parent rock mineralogy. However, despite this key role, the study of agronomic and soil-fertility processes has generally focused on climate, land use, and biology, and geology is often assigned a classificatory label rather than considered an active, measurable agent of soil chemical change.

This is a negative aspect because even with equal climatic conditions and management practices, the agricultural potential is heterogeneous in space. Soils formed on diverse lithologies always exhibit significant similarities in soil structure across the different lithologies, particularly in terms of their parent material's influence on their variability in cation exchange capacity (CEC), plant available phosphorus, potassium, calcium, magnesium and micronutrient status [1,2,3,6]. Geological materials, however, are the ultimate natural sources of potentially toxic elements like lead, cadmium, chromium, nickel and arsenic that may also become concentrated in soils to levels that pose risk to crops and human health, even in the absence of anthropogenic contamination [8,9,12]. Geology hence has a double effect on agricultural systems: it's also the major natural source of plant-essential nutrients and a potential geogenic source of contaminants.

The review integrates results from different disciplines of geology, pedology, environmental geochemistry and precision agriculture for the purpose of creating a comprehensive geology–soil–crop model. The paper aims to describe and assess the differential role of igneous, metamorphic, sedimentary and volcanic types on soil chemical evolution; the mineralogical controls on nutrient retention and soil pH; geogenic sources of both essential and toxic elements; and present a management framework for geology informed soil nutrient and contaminant retention and plant uptake (phytoremediation) for sustainable land management, specifically in developing regions where soil degradation and geogenic contamination present an interconnected threat to food security [54,57,58].

2.0 Parent materials and soil formation.

One of the five classical soil forming factors is the parent material, which affects the whole cycle of pedogenesis since the elemental inventory it provides is re-distributed among the mineral, exchangeable and

solution phases as a result of the weathering processes [1,5]. The results of comparative studies of contrasting lithologies are summarized in Table 1.

2.1 Sedimentary Rocks

Felsic and peraluminous igneous and metamorphic rocks (granite, augen gneiss) are quartz rich and weather slowly, while mafic igneous rocks (basalt, gabbro) and metamorphic equivalents generate comparatively high amounts of calcium, magnesium and iron, thus resulting in fertile soils that are often clayey in texture; and in contrast, have comparatively small amounts of plant available bases [3]. Soils derived from ultramafic rocks, such as harzburgite, and soils formed from carbonate-rich metamorphic rocks such as marbles may form alkaline (base-rich) soils but the nutrients are often excessive, such as Ni and Cr, and the total nutrient content may not be agronomically useful due to low Ca:Mg ratios. CEC was also found to be the lowest and mineralizable N, K, Ca, Mg, S and Cu were deficient in forest soils of plutonic (granitic) parent material in field studies in the Inland Northwest, USA, which show that one lithological class, in this case igneous, can limit several independent nutrient pools at once [1].

2.2 Sedimentary parent materials

Sedimentary parent materials vary in fertility ranging from very low to very high, depending on their depositional source and degree of mineral maturity. Quartz sandstones tend to produce coarse-textured soils with a low nutrient-holding capacity (NHC) while shales and fine-grained mudstones have higher levels of phyllosilicate and feldspar content and generally produce finer-textured soils with higher NHC [3,5]. Carbonate sedimentary rocks (limestone, dolostone) may also provide a high pH-buffering capacity, high calcium and magnesium status to derived soils but may also cause micronutrient deficiencies (Fe, Zn, Mn) due to precipitation of micronutrients as insoluble carbonates and oxides at elevated pH. Metasedimentary rocks fall in the middle, and it has been reported that they have one of the lowest phosphorus and boron availability of all the major lithological classes, however they also have relatively high sulfur content compared with unmetamorphosed sedimentary equivalents [1].

2.3 Volcanic materials and Andisols

Among the parent materials of volcanic origin, special attention should be given to the soils of those that have an unusually high percentage of the world's agricultural land.Because volcanic soils occupy a small portion of the world's land mass, but are nonetheless an important component of the agricultural landscape, those soils with a disproportionately large percentage of the world's farmland are of special agronomic interest. Andisols

are soils that develop in volcanic ash, pumice and other tephra and cover about one per cent of the world's non-ice-covered surface, but contain some of the most productive agricultural lands in the world, such as a significant proportion of cereal production in volcanically active nations [25,29,30]. The fertility of these materials is due to their ability to produce large amounts of short-range-order minerals such as allophane, imogolite and ferrihydrite, which are formed from the rapid weathering of poorly crystalline volcanic glass, and have very high specific surface area and high variable-charge CEC and excellent water and nutrient retention capacity [30]. Soils with a volcanic parent material also have the highest CEC among the various geologic classes, and the nutrient status of these soils is relatively high in phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, boron, copper, and other elements, except for mineralizable nitrogen which is usually low [1]. One agronomic challenge is the high degree of immobilization of applied phosphorus fertilizer due to strong phosphate fixation by allophane and amorphous Fe/Al oxides in volcanic ash soils in intensive cultivation programs, which requires the need for programmed, split or slow-release fertilization strategies [26,28]. Elemental composition of volcanic materials also varies systematically as a function of magma silica content: low-silica (mafic) magmas tend to be relatively enriched in Fe, Mg, Cr, Co, Ni while high-silica (felsic, rhyolitic) magmas tend to be comparatively depleted in these elements, which can manifest in widespread micronutrient deficiencies in soils and forage growing in rhyolitic parent material [28]. However, recently deposited ash is not fertile right after deposition; in field situations, it is observed that the period of time between ash deposition and its ability to provide plant available nutrients can last from 2 to 4 years, depending on the frequency of recent volcanic activity [25].

Table 1. Fertility signatures of major geological parent materials in agricultural soils

Parent Material	Dominant Weathering Products	Typical Fertility Signature	Key Reference(s)
Mafic igneous / metamorphic (basalt, gabbro)	Smectite, Fe/Mg-oxides	High Ca, Mg, Fe; clay-rich, moderate–high CEC	[3]
Felsic igneous (granite, gneiss)	Kaolinite, quartz residue	Low CEC; sandy, acidic, nutrient-poor	[1,3]
Ultramafic (harzburgite)	Serpentine, Fe/Mg-oxides	Alkaline; high Ni, Cr; low Ca:Mg ratio	[3]
Sedimentary – sandstone	Quartz, minor kaolinite	Coarse-textured; very low nutrient reserve	[3,5]
Sedimentary – carbonate (limestone)	Calcite, dolomite	High pH, Ca, Mg; Fe/Zn/Mn deficiency risk	[3]
Metasedimentary	Mica, chlorite	Low P and B; relatively high S	[1]
Volcanic ash / tephra (Andisols)	Allophane, imogolite, ferrihydrite	Very high CEC and water retention; strong P fixation	[1,25,26,30]
Glacial / mixed drift	Mixed clays	Variable; often low K, Ca, Mg, Cu	[1]

Table 1. Comparative mineralogical weathering products and fertility characteristics associated with major rock and tephra parent materials.

3. Mineral weathering and geogenic nutrient release.

Primary rock forming minerals are weathered physically, chemically and biologically in a coupled fashion, to plant available nutrients. In addition to physical weathering (frost action, thermal expansion, abrasion) which increases the surface area and reaction kinetics of minerals, chemical weathering (hydrolysis, dissolution, oxidation, carbonation) is responsible for the breakdown of primary silicates, generating base cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}) and micronutrient cations (Fe^{2+}/Fe^{3+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}) in the soil solution. Root exudates, organic acids and microbial activity catalyze the release of minerals from the soil and contribute to mineral dissolution, a process that has been found to be a significant factor in the long-term nutrient supply in crop soils, and is referred to as biological weathering.

The relative weatherability of common rock-forming minerals is then in broad order, the Goldich stability series, with olivine, calcic plagioclase and pyroxene being the most susceptible to weathering and quartz and muscovite the most resistant. The nutrient release rates per unit time also suggest that lithologies that are rich in mafic minerals (basalt, gabbro, peridotite) release nutrients more rapidly than lithologies that are rich in quartz (felsic). Additional comparisons of parent material geochemistry to weathering stage and/or landform position also suggest that the geochemistry of the parent material is a better indicator of the phosphorus-limitation status of terrestrial ecosystems than the weathering stage or landform position, indicating that lithological identity, rather than weathering stage, is a primary control on long-term nutrient supply [6].

Climatic interaction with weathering is crucial, with more advanced weathering stages being characterized by soils composed of kaolinite and Fe/Al sesquioxides and having low nutrient retention potential, even when the parent material is very fertile, in humid tropics; and in semi-arid and arid environments, weathering is slower, and the geochemical signature of the original parent material remain largely preserved in the soil profile [2,18]. This climate–lithology interaction is responsible for the fact that the same parent materials yield vastly different soils in various climatic environments, and that the management frameworks that are geology-based need to include mineralogical and climatic covariates, not parent material alone.

4. Clay Minerals, Iron/Manganese Oxides and Carbonates: Controls on Soil Chemistry

Cation exchange capacity is the capacity of a soil to retain and exchange nutrient ions with a positive charge such as Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, NH_4^{+}, which is due mainly to permanent negative charge on the surface of phyllosilicate clays and pH-dependent charge on the surfaces of organic matter and the soil oxides [16,17,23]. The CEC of clay mineral groups varies widely, with kaolinite having a low CEC of about 2-15 $cmol_c/kg$, 2:1 expanding clays (smectite and vermiculite) having a high CEC of more than 100-150 $cmol_c/kg$ and illite having an intermediate CEC [20,21,22]. As weathering from base-rich, poorly-leached parent materials typically leaves the soil with a high CEC, and intensely weathered soils regardless of parent material tend to become kaolinite-dominated with low-CEC, CEC is fundamentally a geologically inherited property [18]: soils derived from base-rich, poorly-leached parent materials typically have high CEC, while intensely weathered soils have low CEC, regardless of parent material.

4.2 ; Iron and Manganese Oxides

The near ubiquitous occurrence of secondary minerals, such as iron oxides (goethite, hematite, ferrihydrite) and manganese oxides is known to strongly affect soil color, aggregate stability and the adsorptive capacity of

phosphate and trace metals [16]. They are also capable of an anionic surface charge which enables them to specifically adsorb phosphate and molybdate anions, often making a large proportion of soil phosphorus unavailable to the plants, particularly in highly weathered, oxide-rich tropical soils and in amorphous-oxide-rich volcanic soils. Manganese oxides also control the binding of micronutrients like Co, Zn, Ba and Ni, and play a role in the oxidation of Fe^{2+} to Fe^{3+}, linking redox processes and micronutrient availability [16]. In some tropical agricultural areas, however, bioavailable Mn is shown to be a constraint on crop performance due to excess rather than deficiency [7] and is termed "Mn toxicity.

4.3 The carbonate content and pH buffering of water.

Carbonate minerals that are inherited from the parent rocks of limestone, dolostone, or marl create a buffering of the soil pH at near neutral to alkaline soil pH values by calcite and dolomite dissolution–precipitation reactions. This buffering can help maintain the balance of various macronutrient balances but can also decrease the solubility of Fe, Zn, Mn, and Cu, causing crops to be micronutrient deficient and lime-induced chlorosis. Without carbonates in the parent material, primarily on quartz rich, sedimentary and felsic igneous, soils are likely to become acidified under intensive cropping and nitrogenous fertilisation, leading to a higher solubility and phytotoxicity of aluminium and manganese and the need for periodic liming as a corrective management practice.

In addition to the nutrient chemistry, the mineralogy is influenced by the parent material and affects soil texture and structure, and hence plant available water capacity. Parent materials that contain a high silica content tend to weather to sandy soils with low water-holding capacity while parent materials that give high productions of clay and amorphous oxide phases produce finer textured soils with high water-holding capacities [2]. In the case of Andic soils, water-holding capacity is relatively very high for a soil with low clay content, and is directly related to the amorphous mineralogy of the parent volcanic materials [30].

4.4 Essential elements and micronutrients from the geogenic sources

The macro- and micronutrient needs of the crops for their growth are met from geological materials, which are the ultimate sources of them. The primary mineral sources of calcium and magnesium are carbonate, mafic silicate and evaporite minerals, while the primary source of potassium is feldspar and mica weathering, and micronutrients like Fe, Zn, Mn, Cu and B are provided by the weathering of ferromagnesian silicate, oxides and accessory minerals that are systematically related to parent-rock composition [1,3,28]. Table 2 shows the main sources in geology, agronomic uses and deficiency/tolerances limits of the most important geogenic elements**.**

Geological impoverishment is a type of micronutrient deficiency that is not only an agronomic inconvenience; it is propagated along the soil–crop–food chain. Soils that have a low natural fertility in any given micronutrient—typically because of a low reactive component of the soil, or high quartz content—that is not significantly affected by human activity, and therefore are inherently poor in mineral nutrients, are associated with higher risk of micronutrient malnutrition ("hidden hunger"), which is estimated to affect billions of people around the world, particularly where mineral fertilizers are not widely available [54,55]. There is a strong argument for adopting data from a geological/ mineralogical survey as an agricultural input that is relevant to public health rather than just a geoscience product for academic purposes.

Table 2. Geogenic essential and potentially toxic elements in agricultural soils

Element	Principal Geogenic Source Minerals	Agronomic Role / Concern	Ref.
Ca, Mg	Calcite, dolomite, mafic silicates (pyroxene, amphibole)	Cell-wall structure, enzyme cofactors; excess carbonate can induce micronutrient chlorosis	[1,3]
K	K-feldspar, mica (biotite, muscovite)	Osmoregulation, enzyme activation; often limiting on andesitic/basaltic soils	[28]
Fe, Mn	Ferromagnesian silicates, Fe/Mn oxides	Chlorophyll synthesis, redox enzymes; deficient on calcareous soils, toxic in poorly drained acidic soils	[7,16]
Zn, Cu, B	Accessory minerals, volcanic glass, mafic silicates	Enzyme cofactors, reproductive development; deficient on quartz-rich felsic/rhyolitic parent material	[1,28]
Pb	Feldspar (trace substitution), sulfide minerals, mineralized zones	No biological function; neurotoxic, geogenic baseline elevated near mineralized lithologies	[8,9]
Cd	Phosphate minerals (apatite), black shales	No biological function; carcinogenic, geogenic Cd linked to P-rich parent material	[9,11,12]
Cr, Ni	Ultramafic rocks (serpentine, harzburgite)	Essential only at trace levels for some organisms; phytotoxic and carcinogenic at elevated geogenic levels	[3,9,12]
As	Sulfide minerals (arsenopyrite), some sedimentary/volcanic rocks	No biological function; toxic, geogenic As is a major global soil and groundwater concern	[9,13]

Table 2. Source minerals, agronomic significance, and toxicity concerns for major geogenic elements in agricultural soils.

6. Heavy Metals and Toxic Elements from geological sources.

Potentially toxic elements (PTEs) in agricultural soils are from anthropogenic sources (mining and smelting wastes, agrochemicals, wastewater irrigation, atmospheric deposition) and natural geogenic background concentrations from parent rock [8,9,10]. Multivariate statistics (PCA, PMP) analyses are increasingly used in source-apportionment studies and show that in some cases geogenic sources can be the most important source in agricultural landscapes where emissions from active industrial processes and traffic are present. The parent material was the main source of chromium and nickel loading and the industrial and traffic emissions were the major source of cadmium and lead, and thus the source profile of PTEs in a specific landscape may differ drastically with respect to each element and different management responses might be necessary for different PTEs [12].

The Ultramafic and Serpentine terrains are typical geogenic sources of elevated Cr and Ni levels, corresponding to the high levels of these elements found in olivine and pyroxene; sulfide associated hydrothermal alteration is a major geuogenic source of As, Pb and Cd; and the phosphorite and some black-shale sedimentary units contain high background levels of Cd, which substitutes for Ca in apatite structure [3,9,11]. The geogenic baselines are important for the agricultural risk assessment since the standard contamination indices (enrichment factor, geoaccumulation index and contamination factor) are based on a local geochemical background, and the presence of an inaccuracy in the geogenic baseline can lead to under- or over-estimation of anthropogenic contamination [9,10,13].

Geogenic PTEs are influenced by the bioavailability, and therefore agronomic and health risk, through soil physicochemical properties. In some contaminated watersheds, ionic strength of soil pore water was found to have a more significant effect on metal mobilization than pH in leaching experiments [11] and in sandy soils with high pH and low organic matter content, it is expected that metal mobility will be high and nutrient retention will be low.In a few contaminated watersheds, ionic strength of soil pore water was shown to be more important than pH in determining metal mobilization in leaching experiments [11] and in low organic matter content, high pH soils, it is expected that both metal mobility and nutrient retention will be high. The results presented here confirm the mineralogical control of nutrient retention as presented in Section 4, and also highlight that the mineralogical control of contaminant behavior can be linked to soil fertility and soil safety management within the same mineralogical context.

8. A Geology-Informed Agricultural Management Framework

Based on the geological, mineralogical and geochemical controls discussed in Sections 2 – 6, this review suggests a geology-informed agricultural management framework (Figure 1 and Figure 2) that considers geological information as one of the key, quantitative inputs to soil fertility assessment and land management instead of a background classification.

7.1 The Geology Soil Crop Continuum

The conceptual continuum in Figure 1 shows all the steps from the geological parent material to the soil chemistry, which is the most important soil characteristic affecting crop productivity and geogenic contamination risk. This continuum approach highlights the fact that fertility management and contamination management are not separate issues, and that they should be evaluated together and not with separate monitoring programmes for agronomic and environmental monitoring.

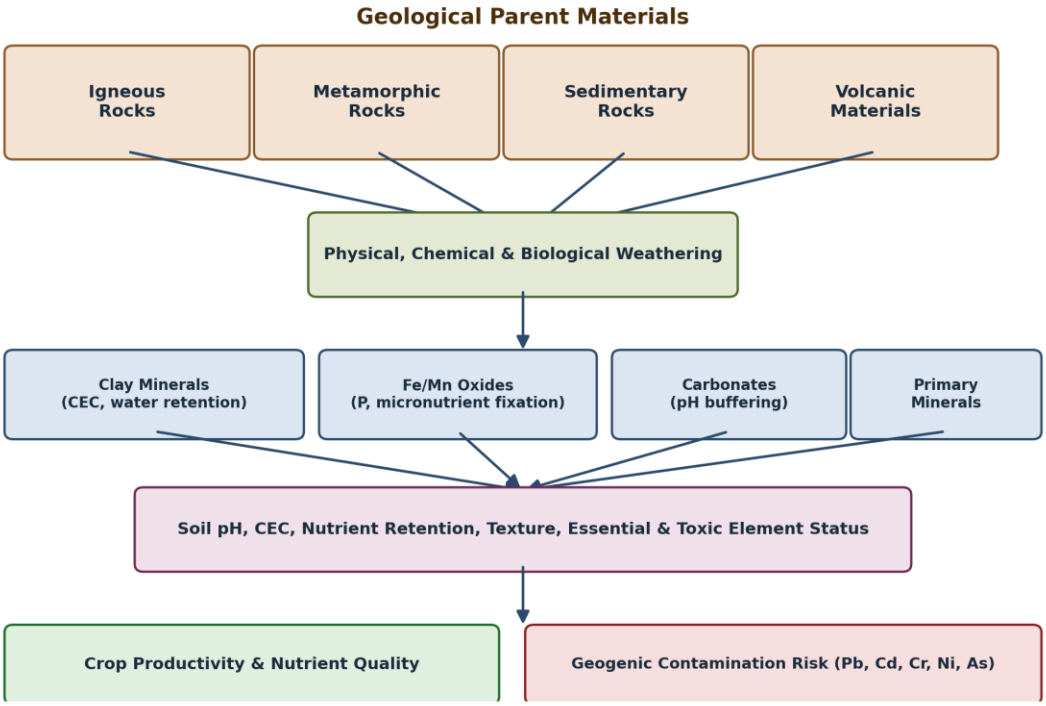


Figure 1. Conceptual geology–soil–crop continuum, from geological parent material through mineral weathering to crop productivity and geogenic contamination outcomes.

7.2 From Data to Decisions

Figure 2 operationalizes this continuum as a management workflow. Geological maps, mineralogical and geochemical characterization (e.g., portable X-ray fluorescence, XRD), remote and proximal soil sensing, and

legacy agronomic databases form the data-input layer. These heterogeneous data streams are integrated through GIS overlay, geostatistical interpolation, and machine-learning models into spatially explicit soil-fertility and geogenic-contamination-risk maps, which in turn inform site-specific management actions—precision fertilization, liming, phytoremediation or soil amendment, and crop or land-use zoning—directed at sustaining agricultural productivity while managing environmental and health risk.

This framework is deliberately structured so that the same geospatial infrastructure serves dual purposes: identifying where nutrient inputs should be targeted, and identifying where geogenic contamination requires monitoring, dietary risk assessment, or remediation. This dual-purpose design economizes on the data-collection and institutional capacity required in resource-limited agricultural settings, since a single geochemical or remote-sensing survey can support both objectives simultaneously.

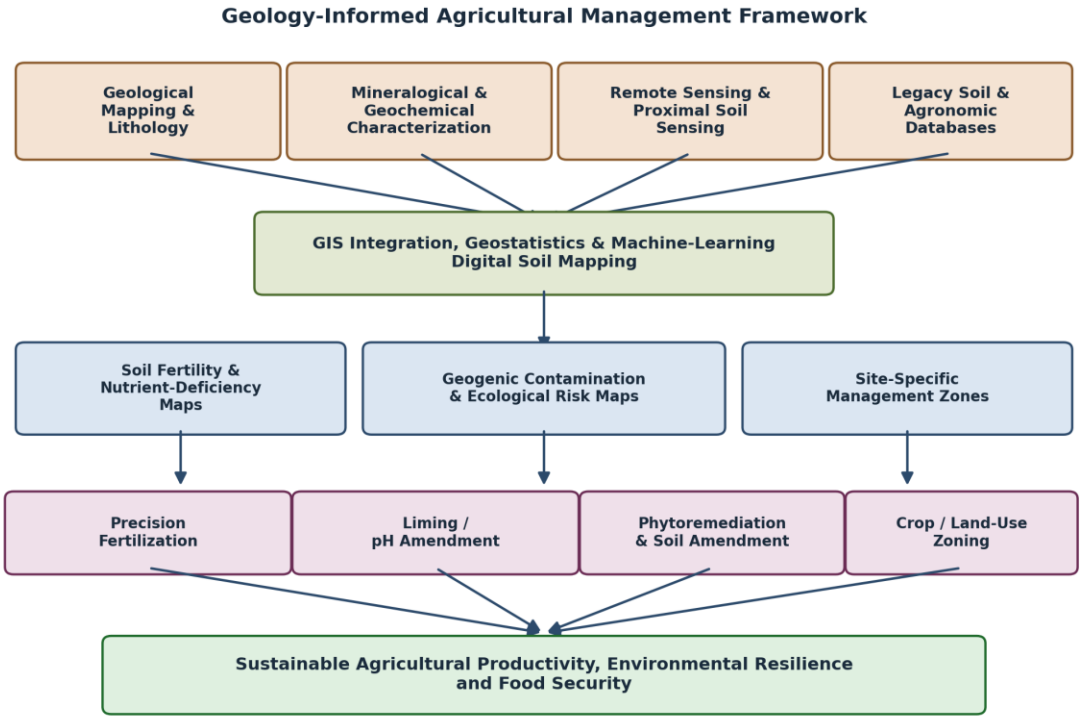


Figure 2. Geology-informed agricultural management framework linking geological and geochemical data, geospatial integration, and site-specific management decisions.

8. Geospatial Technologies: Remote Sensing, GIS, Geochemical Mapping, and Machine Learning

Translating the geology-informed framework into operational decision support depends on the integration of geospatial technologies capable of predicting soil properties across agricultural landscapes at practical cost.

Digital soil mapping (DSM) uses machine-learning models trained on soil legacy data, remote-sensing indices, topographic derivatives, and, increasingly, direct proximal or geophysical sensing to generate continuous, spatially explicit predictions of soil fertility and contamination status [32,38,39]. Model performance in recent within-field DSM studies has been strongest for total nitrogen, organic carbon, and calcium at shallow depths, with somewhat lower but still useful accuracy for texture and potassium at greater depth [32], indicating that geospatial prediction is already mature enough for several agronomically critical properties while remaining an active area of methodological development for others.

Proximal and in situ multi-sensor platforms extend this capability below the surface: multi-sensor soil-probe systems combining electrical resistivity, dielectric permittivity, visible/near-infrared spectroscopy, and imaging can characterize soil profiles to depths of over a meter within about a minute per location, generating high-resolution “digital soil core” data cubes suitable for training machine-learning models at field scale [33]. At regional and national scales, geostatistical interpolation methods (kriging and its variants), often combined with remote-sensing covariates, have been used to construct soil fertility index maps that integrate organic matter, pH, exchangeable bases, and CEC into composite indicators for land-use planning [51,53,59]. Table 3 summarizes representative geospatial applications relevant to the geology-informed framework.

Table 3. Geospatial and digital technologies supporting geology-informed soil assessment

Technology	Primary Application	Representative Output	Ref.
Geological / lithological mapping	Baseline parent-material classification	Lithology-stratified fertility and geogenic risk zones	[3,5]
Portable XRF / geochemical mapping	Rapid elemental screening	Field-scale element concentration maps; PTE hotspots	[7,10]
Multispectral / hyperspectral remote sensing	Soil surface property estimation	SOC, texture, moisture proxies over large areas	[36,52]
Proximal soil sensing (probes, EC, VNIR)	Sub-surface profile characterization	High-resolution 'digital soil core' data cubes	[33]
Geostatistics (kriging, variogram analysis)	Spatial interpolation of point samples	Continuous soil-fertility index maps	[38,59]
Machine learning / digital soil mapping	Multi-covariate predictive modeling	Depth-resolved nutrient and contamination maps	[32,34,39,40]

Table 3. Representative geospatial and digital soil mapping technologies and their applications within the geology-informed agricultural management framework.

Another common thread in this literature is that the density and representativeness of geological and pedological covariates in the model training are very important for the predictive accuracy of the model; the modeling of spatial patterns of fertility and contamination is more successful when covariate training is based on lithological and/or mineralogical covariates, as opposed to climatic and topographic covariates alone [38]. It offers a straightforward methodology argument for incorporating geological survey information into standard digital soil mapping workflows, instead of as a “covariate” or “optional” input.

9. Phytoremediation of geogenic contamination and management.

Phytoremediation can be a cost-effective solution compared to the conventional methods of soil replacement, chemical leaching or thermal treatment, which are often too expensive for large-scale agricultural soils, where

geogenic or mixed geogenic–anthropogenic PTE concentrations are higher than the agronomic or health-based thresholds [42,43]. Some species are able to take up metals to extraordinary levels in their aboveground parts (e.g., Noccaea caerulescens has been reported to accumulate cadmium and zinc to 10,000 and 100,000 ppm, respectively, in its aboveground parts), and the use of these species in phytoextraction strategies involves repeated cropping and harvest that progressively reduce the content of metals in the soil [42]. Other complementary approaches are phytostabilization involving root system and rhizosphere processes for minimizing the mobility and loss of metals and metal(loid) species via volatilization, and phytovolatilization for the volatilization of selected metal(loid) species [41].

Indeed, plant–microbe associations significantly boost the efficiency of phytoremediation: plant growth-promoting rhizobacteria and endophytes can enhance metal bioavailability for their uptake, reduce metal-induced physiological stress in the host plant and can also optimize soil structure and nutrient cycling, making microbially assisted phytoremediation an appealing technology for degraded agricultural lands where restoring soil fertility and safety is necessary [41,50]. Soil amendments like biochar can also help remediation through their ability to sequester mobile metal species, increase soil pH, and enhance the habitat for organic matter and soil microbes, and are an ideal complement to phytoremediation in high mobile metal species, low organic matter, tropical soils [49].

The geospatial mapping tools mentioned in Section 8 may be used directly to direct phytoremediation interventions to those parcels or management zones of the agricultural landscape where geogenic risk is greatest; this is an example of how the integrated framework discussed in Section 7 can benefit the practice of phytoremediation.

10. Use of applications in Developing Regions and Food Security

The geology-informed framework is especially relevant to developing regions, where an estimated one-third of the world's soils are moderately to severely degraded; in these regions, there are limited resources for the traditional soil-testing infrastructure to evaluate soil fertility management [57,58]. In sub-Saharan Africa, digital soil-fertility technologies—GIS, remote sensing, machine-learning technologies, low-cost spectroscopy, and now, the Internet-of-Thing soil monitoring—are being applied to replace the lack of conventional soil laboratory infrastructure and national soil maps are now being produced at the national scale for several countries based on legacy soil data and machine learning and interpolation technologies [34,51]. The fact that these efforts illustrate that geology- and mineralogy-informed digital soil mapping is technically feasible, even

in data-sparse environments, is possible as long as existing geological survey archives are systematically integrated as covariates.

Loss of nutrients due to frequent non-stop cropping cycles without replenishment and in many areas of the humid and semi-arid tropics, low fertility of the parent materials, have been directly related to reduced yields, food security and micronutrient malnutrition of billions of people around the world [54,55,56]. Geological survey data can be used to identify areas that may be influenced by a fertility decline that is geochemical and intrinsic to the parent lithologies (e.g. quartz-rich sandstones and deeply weathered basement gneisses), so that recommendations for fertiliser and amendments can be more targeted and not blanket nutrient subsidy programmes poorly matched to the geochemical constraints in these areas.

However, in less diverse diets of developing areas, where staple foods are mostly grown locally and are frequently PTE sensitive (e.g., mineralized or ultramafic soils), even moderate levels of accumulation in geologically vulnerable areas (e.g., close to mineralized or ultramafic rocks) can lead to significant dietary exposure [9,14]. A low-cost approach to identifying such risk zones would be to integrate low cost geochemical screening, such as portable XRF, into regular extension and soil-testing services, based on existing geological maps, rather than to spend large sums of money on new geological surveys.

11 Research gaps and future directives

While there is an increasing awareness of the role of geology in affecting soil fertility and contamination, some knowledge gaps limit the use of the geology-informed framework suggested here. In the first place, the scale and the classification used in geological maps prepared for agriculture-related studies are often geology-oriented and can be mineral exploration or engineering geology related and therefore may have limited direct use as digital soil mapping (DSM) covariates without reclassification [5]. Second, most studies on how machine learning can be used to predict the risk of geogenic PTE in the agricultural field scale at the watershed scale are focused on organic carbon and macronutrients, and the spatial predictability of geogenic PTE risk is comparatively underdeveloped and not widely studied beyond a few well-studied watersheds [12,13]. Third, there is a lack of models that explicitly model relationships between mineralogically controlled nutrient retention and mobility of PTEs, despite both processes being controlled by the same clay, oxide and carbonate phases, which presents the opportunity for integrated geochemical-agronomic models instead of parallel and disconnected assessments of fertility and contamination.

Future research should focus on: (i) the harmonization of geological and pedological classification systems in a way that direct use of geological survey data can be accomplished in precision soil mapping; (ii) the development of more training data sets using low-cost, field-deployable mineralogical and geochemical sensing techniques (such as portable XRF, VNIR spectroscopy) in data-sparse developing regions as exemplified in Section 4; (iii) the development of coupled models for fertility and contamination risk, using mineralogical controls identified in both Section 4 and Section 6; and (iv) the evaluation of the cost-effectiveness of geology-informed precision fertilization and targeted phytoremediation against conventional uniform management, particularly in smallholder farming systems.

12. Conclusion

The overall chemical structure of soils involved with agricultural production is fundamentally determined by geological parent material, mineral weathering, and secondary mineral formation, which influence nutrient retention, pH, water availability and the natural background concentration of nutrients and other potentially toxic mineral species. The results of this review have confirmed that igneous, metamorphic, sedimentary and volcanic lithologies leave unique and measurable signatures of fertility and contamination in the soil, through the effects of the clay mineralogy, Fe/Mn oxides and carbonates, and that these signatures remain detectable even in soils that have been subjected to climate, biota, and management effects over long periods. By acknowledging geology as an active, mappable factor of agricultural productivity (as opposed to a background classification), the mapping of geology and mineralogical data can be incorporated into a suite of remote sensing, GIS, geochemical mapping and machine learning tools into a comprehensive, geology-informed agricultural management framework. As a tool to support the sustainable production of food and natural resources, this approach to precision fertilization, pH amendment, targeted phytoremediation, and geologically informed zoning of land-use is particularly valuable in developing regions where soil degradation and nutrient depletion and geogenic contamination work synergistically to create a threat to food security. To best inform geologic research and future progress, more interdisciplinary collaboration is needed between the geological and agronomic sciences, along with continued investments in cost-effective geospatial and geochemical technologies that can translate geologic information into field scale decision making for agriculture.

References

1. Page-Dumroese, D. S., et al. (2022). Geologic Soil Parent Material Influence on Forest Surface Soil Chemical Characteristics in the Inland Northwest, USA. Forests, 13(9), 1363. https://doi.org/10.3390/f13091363
2. Souza, T. A. F., et al. (2022). Influence of parent material on soil chemical characteristics in a semi-arid tropical region of Northeast Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, 194, 429. https://doi.org/10.1007/s10661-022-09914-9
3. Environmental Monitoring and Assessment (2022). Parent-material controls on macronutrient, micronutrient and potentially toxic element (Cd, Cr, Ni, Pb) reservoirs in semi-arid tropical soils. Environmental Monitoring and Assessment, 194, 429.
4. ResearchGate Discussion (2017). How does parent material affect soil fertility? Compiled expert responses, ResearchGate Q&A.
5. Review Study (2019). The importance of parent material in soil classification: A review in a historical context. ResearchGate preprint.
6. Chen, Y., et al. Soil parent material – a major driver of plant nutrient limitations in terrestrial ecosystems. PubMed ID 28317232.
7. Data-Analysis Study (2024). Prediction of soil fertility parameters using USB-microscope imagery and portable X-ray fluorescence spectrometry. arXiv:2404.12415.
8. Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food and environmental security. Nature Reviews Earth & Environment (compiled review, retrieved via APRU repository).
9. Heavy Metal(oid)s Contamination and Potential Ecological Risk Assessment in Agricultural Soils, Grand Forks County, North Dakota. PMC11130943.
10. Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences (2025). Heavy metals in agricultural soils of northern Assiut region, Egypt: pollution indices, source identification, and human health implications. https://doi.org/10.1007/s43994-025-00263-0
11. Leachability and Health Risk Assessment of Cadmium and Other Heavy Metals in Agricultural Soils from the Mae Tao Watershed, Northern Thailand. PMC12390624.

12. Scientific Reports (2025). Characterization and source apportionment of heavy metal contamination in agricultural soils in the complex genesis region of western Yunnan. https://doi.org/10.1038/s41598-025-16520-5
13. Ecological Risk Assessment and Source Identification of Heavy Metals in Soils from Shiyang River Watershed in Northwest China. PMC10610615.
14. Heavy Metal-Contaminated Soils and Gastric Cancer Risk: Molecular Insights and the Relevance of a One Health Perspective. PMC12692730.
15. Heavy Metals in Agriculture: Sources, Industrial Applications, Plant Toxicity, and Remediation Approaches. International Journal of Molecular Sciences, 27(14), 6192. https://doi.org/10.3390/ijms27146192
16. ScienceDirect Reference Module. Roles of clays in soils. Developments in Soil Science.
17. Cornell Nutrient Management Spear Program. Fact Sheet 22: Cation Exchange Capacity (CEC). Agronomy Fact Sheet Series, Cornell University.
18. Terra Latinoamericana (2026). Why Does Clay Soil Have Low Cation Exchange Capacity? Mineral and Elemental Composition of Silts and Clays. Revista Terra Latinoamericana.
19. Soilquality.org.au. Cations and Cation Exchange Capacity – Queensland Fact Sheet, soilquality.org.au.
20. Wikipedia contributors. Cation-exchange capacity. Wikipedia, The Free Encyclopedia.
21. Shoji, S., & Takahashi, T. (2002). Environmental and Agricultural Significance of Volcanic Ash Soils. Global Environmental Research, 6, 113–135.
22. Wageningen University Repository. Volcanic Soils: nutrient dynamics and management. edepot.wur.nl/484591.
23. Rhizosphere microbiome study (2019). Putative Nitrogen-Fixing Bacteria Associated With the Rhizosphere and Root Endosphere of Wheat Plants Grown in an Andisol From Southern Chile. Frontiers, PMC6256256.
24. Biology Insights (2025). Why Is Volcanic Soil (Andisol) Very Fertile? biologyinsights.com.
25. Agronomy Journal (2025). Digital soil mapping via machine learning of agronomic properties for the full soil profile at within-field resolution. Agronomy Journal. https://doi.org/10.1002/agj2.70144
26. Grunwald, S., Murad, M. O. F., Farrington, S., Wallace, W., & Rooney, D. (2024). Multi-Sensor Soil Probe and Machine Learning Modeling for Predicting Soil Properties. Sensors, 24(21), 6855. https://doi.org/10.3390/s24216855

27. ScienceDirect (2026). Digital technologies for soil fertility evaluation and prediction in Africa: A review of application, adoption and challenges. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2026
28. Discover Soil (2025). Advancing soil mapping and management using geostatistics and integrated machine learning and remote sensing techniques: a synoptic review. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/s44378-025-00082-z
29. Islam, M. M., Saxena, N., & Sharma, D. (2024). Phytoremediation as a green and sustainable prospective method for heavy metal contamination: a review. RSC Sustainability, 2(5), 1269–1288. https://doi.org/10.1039/d3su00440f
30. Gomiero, T. (2016). Soil Degradation, Land Scarcity and Food Security: Reviewing a Complex Challenge. Sustainability, 8(3), 281. https://doi.org/10.3390/su8030281

ORGANOCATALYSIS IN MODERN ORGANIC SYNTHESIS: MECHANISMS, APPLICATIONS, AND FUTURE PERSPECTIVE

Khalil Naziru Abdullahi[1] Samson Paul[2] Sule M. Tanyam[3] and Musa Yahaya Abubakar[4]

[1]Department of Chemistry Federal University Wukari, Taraba State

[2]Department of Pure and Applied Chemistry, University of Calabar

[3]Department of Biochemistry/Chemistry, Federal Polytechnc Bali, Taraba State

[4]Department of Industrial Chemistry Federal University Wukari, Taraba State

Abstract

Organocatalysis is one of the three areas of asymmetric catalysis, along with transition metal catalysis and biocatalysis, small, metal-free organic molecules that activate the carbon-carbon bond and carbon-heteroatom bond are available in highly enantioselective ways, under mild, simple and often sustainable conditions. This review synthesises two decades of progress in the field, beginning from the founding contributions of enamine and iminium catalysis and extending through Brønsted acid and hydrogen-bonding catalysis, N-heterocyclic carbene (NHC) catalysis, phase-transfer catalysis, and Lewis base catalysis. The mechanism of the stereoinduction in each mode of activation is discussed and applications in the synthesis of heterocyclic compounds, pharmaceutical intermediates and active pharmaceutical ingredients, natural product total synthesis, cascade and multicomponent reactions and late-stage functionalisation are surveyed. One specific chapter examines how organocatalysis has advanced the field of green and sustainable chemistry, including its atom economy, recyclability and solvent-free, aqueous, mechanochemical, photocatalytic and electrocatalytic applications. The persistent challenges of catalyst loading, scope limitation of the substrates, mechanistic uncertainty for new classes of chemical reactions, and the challenges involved in scale-up, and the emerging convergences with photoredox catalysis, electrochemistry, continuous-flow technology and machine-learning guided reaction and catalyst discovery are discussed. In total, the evidence suggests that organocatalysis is poised to continue playing a major role in selective, economical and environmentally friendly chemical synthesis in the next 10 years.

keywords ; *organocatalysis, asymmetric synthesis, enamine catalysis, iminum catalysis, N-heterocyclic carbenes, hydrogen-bond catalysis, green chemistry, sustainable synthesis, pharmaceutical chemistry.*

1. Introduction

Catalysis is the key to a chemical synthesis that is efficient, and for much of the 20th century, there were two main approaches to catalysis: the use of transition metals and the use of enzymes, or biological catalysts. Small, non-metal-containing molecules were also known to accelerate and control chemical transformations in the early examples, but a general concept of a small molecule catalysing and controlling chemical transformations had not been established until the turn of the millennium [1,2]. The watershed arrived in the year 2000 when List, Lerner and Barbas provided evidence that simple amino acid L-proline can catalyse the direct, intermolecular asymmetric aldol reaction, and MacMillan and co-workers independently solved the problem of the highly enantioselective nature of the Diels–Alder cycloaddition using chiral imidazolidinones as catalysts, which form the reversible iminium-ion [1,3,4]. Organocatalysis came with a name and a conceptualization: The term "organocatalysis" was defined in a very apt way by MacMillan as the acceleration of a chemical transformation by adding a sub-stoichiometric amount of a metal-free organic compound [4]. These two fundamental discoveries launched 20 years of very rapid growth that culminated in a 2021 Nobel Prize in Chemistry given to Benjamin List and David W. C. MacMillan for their development of asymmetric organocatalysis [5].

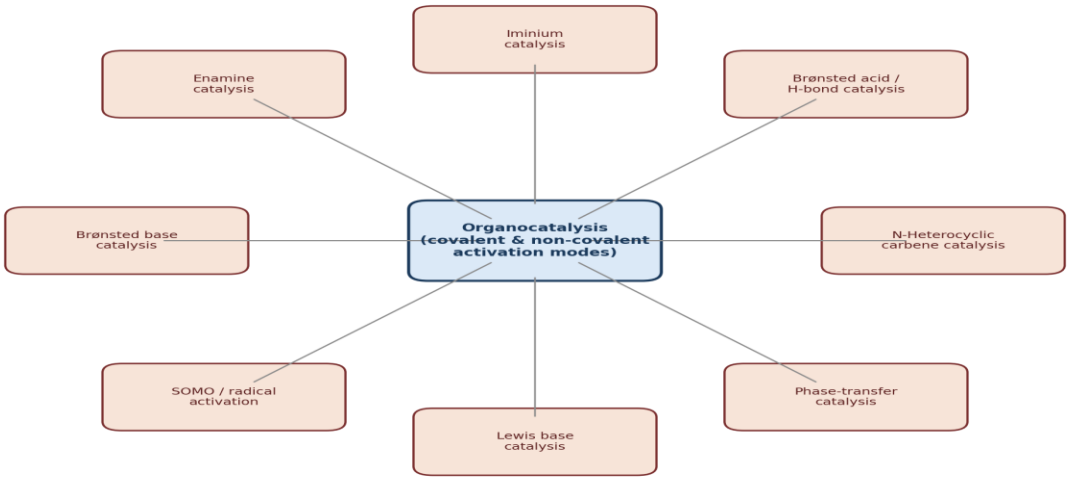
Organocatalysis is attractive, mainly due to a variety of practical and conceptual features compared to metal-catalysis. Organocatalysts are usually obtained from commercially available, cheap, and abundant chiral pool starting materials, such as amino acids, alkaloids, carbohydrates, and tartaric acid derivatives, are generally non-toxic, stable to water and air and do not require rigorously anhydrous and/or inert-atmosphere handling, and do not introduce unwanted trace-metal contamination into pharmaceutical and electronic-materials production processes [2,6]. Meanwhile, organocatalytic reactions operate via activation modes – enamine, iminium, hydrogen-bonding, Brønsted acid/base, Lewis base and N-heterocyclic carbene (NHC) pathways – which are mechanistically different and often complementary to the organometallic catalytic cycles. The overall goal of this review is to give an integrated and up-to-date treatment of organocatalysis to newcomers as well as to experts. In Section 2, organocatalysts are introduced conceptually based on their classification. The mechanistic underpinning of the main activation modes are described in section 3. Section 4 reviews synthetic applications, focusing on heterocycles, pharmaceutical chemistry, natural product synthesis and cascade/multicomponent methodology. Section 5 reviews the role of the field in the field of green and sustainable chemistry. Section 6

outlines enduring challenges, and Section 7 outlines emerging convergences that can be expected to be a key part of the field's next 10 years.

2. Basic concepts and the classification of organocatalysts.

Based on the type of interaction they form with the substrate, organocatalysts can be divided into covalent (Lewis base/nucleophilic) activation and non-covalent activation, in which the substrate is activated by hydrogen bonding, ion pairing or general acid/base interaction [2,6]. The main classes, the representative catalysts for each class and characteristic mode of substrate activation are summarised in Table 1. A schematic overview of the relations among these activation modes in the context of the other disciplines in the field is presented in figure 1. Table 1. A schematic overview of the relations among these activation modes in the context of the other

Figure 1. Schematic classification of the principal activation modes in organocatalysis



1.

Figure 1. Schematic classification of the principal activation modes in organocatalysis. The modes are grouped conceptually rather than mechanistically exhaustively; several catalyst families (e.g., cinchona alkaloids, NHCs) can operate through more than one mode depending on substrate and conditions.

Table 1. Principal classes of organocatalysts and their characteristic activation modes.

Activation mode	Representative catalyst families	Key reactive species	Typical bond formed
Enamine catalysis	Proline, diarylprolinol silyl ethers (Jørgensen–Hayashi catalysts)	Nucleophilic enamine (HOMO-raised)	C–C, C–X at the α-carbon of carbonyls
Iminium catalysis	MacMillan imidazolidinones, chiral secondary amines	Electrophilic iminium ion (LUMO-lowered)	C–C via conjugate addition/cycloaddition to enals/enones
Brønsted acid / H-bond catalysis	Chiral phosphoric acids (Akiyama–Terada type), thioureas, squaramides, TADDOLs	H-bonded or ion-paired electrophile	C–C, C–N (Mannich, Strecker, reductive amination)
N-Heterocyclic carbene (NHC) catalysis	Thiazolium, triazolium, imidazolylidene salts	Breslow intermediate (acyl anion / homoenolate equivalent)	C–C (benzoin, Stetter, annulation)
Phase-transfer catalysis (PTC)	Cinchona-derived quaternary ammonium salts (Maruoka, Corey, Lygo catalysts)	Chiral ion pair at liquid–liquid/solid–liquid interface	C–C, C–heteroatom alkylation
Lewis base catalysis	Cinchona alkaloids, chiral DMAP/isothiourea analogues, phosphines	Zwitterionic or ammonium/phosphonium intermediate	Acyl transfer, [3+2]/[4+2] annulation

3. Mechanistic Pathways

The stereochemical result of any organocatalytic transformation is determined by the three-dimensional conformation of the catalyst–substrate complex in the stereodetermining transition state. The mechanistic logic in the six main activation modes is outlined.

3.1 Enamine catalysis

The term enamine catalysis refers to a reversible condensation of a carbonyl compound containing an α-hydrogen with a chiral secondary amine to form an enamine. The lone pair of N makes the α-carbon highly nucleophilic [7,8] and lowers the energy of the HOMO of the intermediate alkene compared to the enol. Proline

and its derivatives are bifunctional, the carboxylic acid (or, in the case of the diarylprolinol silyl ethers, a bulky silyl ether) both frames the enamine geometry of the amine and guides the approaching electrophile to one face of the π-system, enabling high ee in aldol, Mannich, Michael, and α-functionalisation reactions [7,9]. Steric shielding by the catalyst's substituent (e.g., the diarylmethyl silyl ether) is the dominant stereocontrol element in second-generation catalysts.

3.2 Iminium catalysis

The condensation of a chiral secondary amine with an α,β-unsaturated carbonyl compound yields an iminium ion reducing the LUMO energy of the conjugated system compared to the parent enone or enal and thus activation for conjugate (Michael-type) addition of nucleophiles as well as for cycloaddition chemistry [3,10,11]. MacMillan's imidazolidinone catalysts are also capable of facial selectivity, based on the steric blocking effect of the gem-dimethyl 'gem-dimethyl' group as well as the defined E/Z iminium geometry, and are useful for highly enantioselective Diels–Alder, Friedel–Crafts, and conjugate-addition reactions of enals [3,10]. Iminium and enamine catalysis is often referred to as 'aminocatalysis', since any one catalyst may be able to undergo either activation mode depending on the electronic nature of the substrate, and because many cascade sequences benefit from this dual mode in one catalytic cycle [8].

3.3 Brønsted acid, Brønsted base and hydrogen-bonding catalysis

The non-covalent activation strategies involve hydrogen bonding and/or partial or full proton transfer in the transition state, but there is no discrete covalent intermediate. Bifunctional thiourea and squaramide catalysts from the work of Jacobsen and Takemoto can simultaneously donate two hydrogen-bonds to electrophiles (e.g., nitroalkenes, imines) with an attached Lewis basic or Brønsted basic site that activates the nucleophile [12]. Chiral phosphoric acids, such as the BINOL-derived acids independently introduced by Akiyama and Terada in 2004 [13-16] contain both a strongly Brønsted acidic P–OH group and a Lewis basic phosphoryl oxygen; they can function by hydrogen bonding, as a hydrogen-bonded ion pair, or as a contact ion pair depending on the polarity of the solvent and the base strength of the substrate. Their versatile reactivity is based on this mechanistic flexibility, which is reflected in their outstanding reactivity in Mannich, Strecker, transfer-hydrogenation, and reductive-amination chemistry [15,16].

3.4 N-Heterocyclic carbene (NHC) catalysis

NHC catalysis involves a nucleophilic addition of the in situ generated chiral N-heterocyclic carbene to an aldehyde carbonyl. Proton transfer gives rise to the Breslow intermediate which is an electron-rich enaminol

and is an ‘umpolung’ of the intrinsic electrophilicity of the carbonyl carbon [17,18]. The Breslow intermediate is involved in benzoin condensation and Stetter reaction chemistry, and upon oxidation it can be utilized to generate activated acyl-azolium species in lactonisation, esterification and [3+2]/[3+3] annulation chemistry [17,19]. The Breslow intermediate was a previously only presumed species that has been supported by direct spectroscopic and computational evidence in the last decade that has grown in number [18].

3.5 Phase-transfer catalysis (PTC)

Chiral phase-transfer catalysts are represented by the quaternary ammonium salts made from cinchona-alkaloids, such as the Maruoka-, Corey-, and Lygo-type catalysts, which function at the boundary between an organic phase and concentrated aqueous or solid base. The chiral cation is able to bind tightly to a prochiral enolate (usually a Schiff base derived from glycine) and drive it into the organic phase and protect one enantiotopic face in the course of the alkylation step [20–22]. PTC has also been very useful in the synthesis of aminos in bulk, as it relies on cheap bases (KOH, CsOH) and the reaction does not need cryogenic or strictly anhydrous conditions [21,23].

3.6 Lewis base and other emerging activation modes

Chiral Lewis bases (cinchona alkaloids, isothioureas, phosphines) can activate an electrophile (anhydride or ketenes) by nucleophilic addition to create a zwitterionic acyl-ammonium or acyl-phosphonium intermediate, which can then be used to promote enantioselective acyl-transfer, Steglich-type rearrangement and [2+2]/[3+2] annulation chemistry. A new tool in the mechanistical arsenal is SOMO (singly occupied molecular orbital) activation, which involves the single-electron oxidation of an enamine to yield a radical cation that can react with π-nucleophiles, and ultimately with the aid of photoredox catalysis [24]. Figure 2 shows, in a generic form, the catalytic cycle of the enamine/iminium (aminocatalytic) processes that is generally applicable to NHC or Lewis base cycles as well, albeit modified in certain aspects.

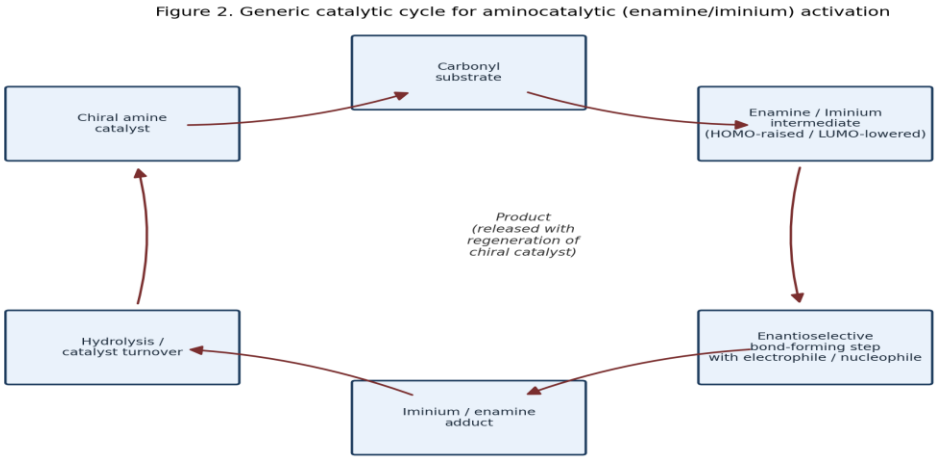


Figure 2. Generic catalytic cycle for aminocatalytic (enamine/iminium) activation, illustrating reversible condensation, enantioselective bond formation, and catalyst turnover by hydrolysis.

4. Synthetic Applications

The amazing breadth of mechanisms mentioned above has resulted in an extremely wide range of application basis. The following five areas are pointed out as of current special interest.

4.1 The construction of carbon–carbon and carbon–heteroatom bonds.

The synthetic arsenal of the field continues to be dominated by aldol [7–9] and Mannich [10] as well as Michael [11–13], α-amination [14, 15] and α-halogenation [16] reactions and the catalytic conjugate addition of bifunctional hydrogen-bond donors and imidazolidinones or proline derivatives [17–19]. The NHC-catalysed benzoin and Stetter reactions can add to this class of bond-forming reactions, which are not readily available using standard enolate chemistry, such as acyl-anion and homoenolate disconnections [17,19].

4.2 Heterocycle synthesis

The organic catalytic cascade and annulation methodology has proven to be a favored strategy for the synthesis of enantioenriched pyrrolidines, tetrahydropyrans, dihydropyrans, chromenes, and spirocyclic oxindoles, and many other heterocyclic structures. In particular, Iminium/enamine cascade catalysis, in which two consecutive steps of conjugate addition and intramolecular cyclisation are promoted by the same aminocatalyst, is very well suited to the synthesis of heterocycles, since several stereocentres as well as a ring system are formed in a single reaction without any intermediate isolation [8,9]. Dihydropyranones and related oxygen heterocycles are also readily available by NHC-catalysed [3+2] and [3+3] annulations of enals or ynals with 1,3-dicarbonyl reactants [17,19].

4.3 The synthesis of active pharmaceutical ingredients (APIs)

Pharmaceutical chemistry encompasses the synthesis of active pharmaceutical ingredients (APIs). Many drug-candidates have one or more stereogenic centre making organocatalysis a significant interest in process chemistry, as it can be used to avoid the presence of transition-metal contaminants that have to be strictly controlled for to pharmacopoeial specifications [6,25]. The field is now maturing and recently we have reported examples of continuous-flow, telescoped organophotoredox processes for the synthesis of chiral API intermediates with high ee, and with significantly improved productivity compared to batch technology [26,27]. An asymmetric reduction, Mannich reaction, and Strecker reaction are also used in commercial syntheses of unnatural amino acids and nitrogen containing drug fragments [13,16] that employ chiral phosphoric acid and thiourea catalysts.

4.4. Synthetic methods for the synthesis of natural products

The use of the organocatalytic aldol, Michael, and Diels–Alder methodology has been introduced in applications to the total synthesis of terpenoids, alkaloids, and polyketides, often in place of a stoichiometric chiral auxiliary step, with the catalytic asymmetric transformation. In particular, cascade aminocatalysis (a sequence of bond-forming reactions in one pot) has been very effective for the rapid synthesis of a number of polycyclic natural product frameworks, along with many of their key stereochemical arrays [8].

One of the major advantages of organocatalysis is the ability to conduct multiple bond-forming reactions in a single reaction vessel in a cascade, or domino, fashion [8,9] where the mild conditions and functional-group tolerance of the majority of organocatalysts enable multiple bond-formation processes to occur sequentially in a single reaction container. This approach offers advantages in terms of atom and step economy compared with stepwise synthesis, and has been applied to late-stage functionalisation scenarios, where the NHC and photoredox/aminocatalysis strategies were merged, to selectively modify complex and densely functionalised substrates, without protecting group manipulation [17,26].

Table 2. Representative application domains of organocatalysis and illustrative catalyst/reaction classes.

Application domain	Representative reaction classes	Illustrative catalyst types
Heterocycle synthesis	Cascade Michael–hemiketalisation; [3+2]/[3+3] annulation	Diarylprolinol silyl ethers; NHC azolium salts
Pharmaceutical intermediates / APIs	Asymmetric reductive amination; Mannich; Strecker; photoredox alkylation	Chiral phosphoric acids; thioureas; aminocatalysts
Natural product synthesis	Aldol, Michael, Diels–Alder cascades	Proline derivatives; imidazolidinones
Multicomponent reactions	Three/four-component domino sequences	Bifunctional H-bond donors; cinchona alkaloids
Late-stage functionalisation	C–H heteroarylation; radical conjugate addition	NHC/photoredox dual catalysis

5 Organocatalysis, Green Chemistry and Sustainability

One of the main reasons that organocatalysis continues to be of interest is its compatibility with the tenets of green chemistry. Furthermore, most organocatalysts are metal free, meaning that the risk and expense associated with precious metals, the scarcity of critical metals, and the contamination of pharmaceutical products with traces of heavy metals from catalysis are avoided [2,6]. The advantages of organocatalytic reactions are offset, however, by the need for higher loadings of catalysts (typically 5-30 mol %) than optimised transition-metal based systems, and this is a continuing catalyst design challenge [6].

5.1 Crafting novel methods for Solvent-free, aqueous, and mechanochemical approaches.

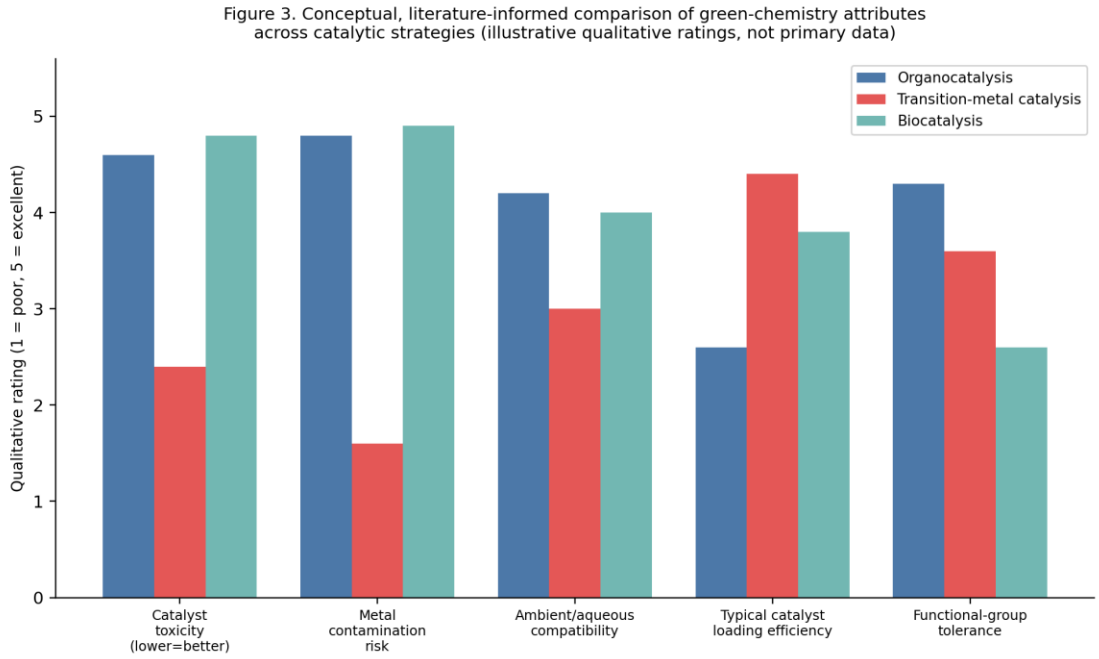
Asymmetric organocatalysis using cinchona-alkaloid- and squaramide-catalysed Michael addition, phase-transfer alkylation, and meso-anhydride desymmetrisations have proven to be successful applications of the mechanochemical approach, which can be completed in short reaction times, at low catalyst concentration, in the absence of bulk solvent, and often with equal or enhanced enantioselectivity compared to solution phase reactions [28,29]. Aqueous and ‘on water’ organocatalytic reactions can also decrease the amount of solvents produced and can take advantage of hydrophobic packing effects to enhance rate and selectivity.

5.2 Photoredox, electrochemical and flow integration.

Aminocatalysis combined with visible-light photoredox catalysis allows for the formation of bonds via radicals under ambient conditions using only visible light as the non-toxic, environmentally friendly energy source and has already been demonstrated for continuous flow and telescoped API synthesis with significantly higher space-time yield compared to batch processing [24,26,27]. The electrochemically generated intermediates are produced through a direct or mediated electron transfer at an electrode surface, thereby providing similar benefits toward sustainability, and are a current area of active development [30].

5.3 The recyclability of catalysts and the atom economy.

The immobilization of organocatalysts on polymeric, silica, or magnetic supports, and the use of biphasic or fluorous systems, has been investigated to promote the recovery and re-use of the catalysts, tackling the loading and cost issues mentioned above. To further enhance overall atom and step economy, intermediate isolation and protecting-group manipulation can be avoided by using cascade and multicomponent reaction design (Section 4.5) [8,9]. Table 3 and Figure 3 illustrate, in a qualitative manner based on literature reviewed for this review and informed by the properties of the various methods, the comparison of organocatalysis with transition metal catalysis and biocatalysis for a number of green-chemistry-relevant properties; the ratings are illustrative and are not meant as a replacement for reaction-specific life-cycle analysis, but rather as a qualitative comparison of the different approaches.



.

Figure 3. Conceptual, literature-informed comparison of green-chemistry attributes across organocatalysis, transition-metal catalysis, and biocatalysis. Ratings are qualitative and illustrative, synthesised from the general trends discussed in Sections 3–5, rather than a quantitative meta-analysis of primary data.

Table 3. Qualitative comparison of catalytic strategies on selected sustainability-relevant criteria.

Criterion	Organocatalysis	Transition-metal catalysis	Biocatalysis
Metal contamination risk	Absent by design	Requires downstream removal/control	Absent by design
Typical catalyst loading	Moderate–high (1–30 mol %)	Low (often <1 mol %)	Low (catalytic turnover numbers can be very high)
Operational simplicity	High (often bench-stable, air-tolerant)	Variable; frequently air/moisture sensitive	Requires controlled conditions (pH, temperature)
Substrate scope breadth	Broad and still expanding	Very broad, mechanistically diverse	Often narrower, though engineerable
Compatibility with water/solvent-free conditions	Generally favourable	Variable	Naturally aqueous

6. Current Challenges

- Catalyst loading: while plenty of organocatalytic transformations still work at 5-30 mol %, levels that are far from the sub-1 mol % regime for which optimised transition metal catalysts are known [6], efforts continue to immobilise, recycle and rationally enhance the activity of these catalysts.
- Substrate scope and reaction efficiency: activation modes like enamine and iminium catalysis are still constrained to carbonyl-containing substrates which have available α-protons or conjugated systems, and it is difficult to extend these to more sterically and/or electronically demanding substrates.

Mechanistic predictability: With new reaction types emerging, especially for combination of organocatalysis with radical or photoredox processes, the exact role of intermediates like the Breslow intermediate or the activated radical cations remain to be fully elucidated [18,24].

Scalability: Although the loading of the catalyst, solvent and reaction engineering can be optimised again on the milligram scale for academic research, this process has to be re-optimised on the kilogram scale for the processes to become commercially viable; continuous-flow and telescoped processes are on the way to close this gap but are not yet applicable everywhere [26,27].

The question of how to find 'universal' or broadly predictive asymmetric catalysts is not resolved yet: Most existing catalysts are developed empirically, based on a specific reaction type, rather than on a generalisable design principle.

7. Future Perspectives

The following are some trends that are expected to influence the future of organocatalysis research. The first is the union of organocatalysis with photoredox and electrochemical catalysis, which is opening up reactivity space that goes well beyond the traditional two-electron, closed-shell routes to bond formation, utilizing light or electrical current as clean, traceless activation inputs [24,26,30]. Second, continuous-flow technology is making it possible to perform telescoped, multistep organocatalytic sequences – including full API syntheses – with productivity gains of over an order of magnitude compared to batch technology and is expected to emerge as the technology of choice for process-scale organocatalytic manufacturing [26,27,31]. Third, data-driven and machine-learning guided approaches are now starting to drive the optimisation of reaction conditions as well as the design of new catalysts, such as the use of statistical modelling to predict the structure–selectivity relationship of chiral phosphoric acid catalysts for the design of new classes [29,32,33]. Finally, the further

development of organocatalytic processes to become more sustainable in terms of both use of mechanochemical and solvent-free methodology and catalyst immobilisation is anticipated without loss of selectivity [28,29].

When considered together, these guidelines indicate that the utilization of organocatalysis in the future will be more a component of a multi-modal and multi-disciplinary synthetic toolbox, working alongside chemosynthetic photochemistry, electrochemistry, flow chemistry, and computational/machine-learning assisted design of reaction processes.

8. Conclusion

Over the past 20 years, organocatalysis has gone from miscellaneous observations of little significance to a well-developed and Nobel-prize-winning branch of asymmetric synthesis. Its mechanistic versatility (enamine, iminium, Brønsted acid/base, hydrogen-bonding, NHC, phase transfer, and Lewis base activation) has led to the development of a wide and complementary palette for chemists to access enantioselective C–C and C–heteroatom bond formation. With an increasing focus on green and sustainable implementation, using solvent-free, aqueous, mechanochemical, photochemical and electrochemical approaches, applications have grown from heterocycle synthesis and natural product total synthesis to pharmaceutical process chemistry. Catalyst loading, scope of the substrates and scale-up are still current topics of research, but the current merging of organocatalysis with photoredox, electrochemistry, continuous flow and machine learning based discovery suggests that this area of chemistry is not only very mature, but also continues to develop rapidly, with significant untapped potential to further allow for the development of more selective, efficient and environmentally friendly chemical synthesis

References

[1] List, B.; Lerner, R. A.; Barbas, C. F., III. Proline-catalyzed direct asymmetric aldol reactions. J. Am. Chem. Soc. 2000, 122, 2395–2396.

[2] Notz, W.; Tanaka, F.; Barbas, C. F., III. Enamine-based organocatalysis with proline and diamines: the development of direct catalytic asymmetric aldol, Mannich, Michael, and Diels–Alder reactions. Acc. Chem. Res. 2004, 37, 580–591.

[3] Ahrendt, K. A.; Borths, C. J.; MacMillan, D. W. C. New strategies for organic catalysis: the first highly enantioselective organocatalytic Diels–Alder reaction. J. Am. Chem. Soc. 2000, 122, 4243–4244.

[4] Lelais, G.; MacMillan, D. W. C. Modern strategies in organic catalysis: the advent and development of iminium activation. Aldrichim. Acta 2006, 39, 79–87.

[5] Nobel Prize Outreach. The Nobel Prize in Chemistry 2021: Benjamin List and David W. C. MacMillan. Royal Swedish Academy of Sciences, 2021.

[6] Berkessel, A.; Gröger, H. Asymmetric Organocatalysis: From Biomimetic Concepts to Applications in Asymmetric Synthesis; Wiley-VCH, 2005.

[7] Mukherjee, S.; Yang, J. W.; Hoffmann, S.; List, B. Asymmetric enamine catalysis. Chem. Rev. 2007, 107, 5471–5569.

[8] Recent Advances in Asymmetric Synthesis of Pyrrolidine-Based Organocatalysts and Their Application: A 15-Year Update. PMC10005811, 2023.

[9] Chen, K.; et al. Organocatalytic enantioselective β-functionalization of aldehydes by oxidation of enamines and their application in cascade reactions. Nat. Commun. 2011, 2, 211.

[10] Erkkilä, A.; Majander, I.; Pihko, P. M. Iminium catalysis. Chem. Rev. 2007, 107, 5416–5470.

[11] Northrup, A. B.; MacMillan, D. W. C. The first general enantioselective catalytic Diels–Alder reaction: catalytic asymmetric synthesis of Type II intramolecular products. J. Am. Chem. Soc. 2002, 124, 2458–2459.

[12] Takemoto, Y. Development of chiral thiourea catalysts and its application to asymmetric catalytic reactions. Chem. Pharm. Bull. 2010, 58, 593–601.

[13] Akiyama, T.; Itoh, J.; Yokota, K.; Fuchibe, K. Enantioselective Mannich-type reaction catalyzed by a chiral Brønsted acid. Angew. Chem. Int. Ed. 2004, 43, 1566–1568.

[14] Uraguchi, D.; Terada, M. Chiral Brønsted acid-catalyzed direct Mannich reactions via electrophilic activation. J. Am. Chem. Soc. 2004, 126, 5356–5357.

[15] Parmar, D.; Sugiono, E.; Raja, S.; Rueping, M. Complete field guide to asymmetric BINOL-phosphate derived Brønsted acid and metal catalysis: history and classification by mode of activation. Chem. Rev. 2014, 114, 9047–9153.

[16] Terada, M. Chiral phosphoric acids as versatile catalysts for enantioselective transformations. Synthesis 2010, 42, 1929–1982.

[17] Flanigan, D. M.; Romanov-Michailidis, F.; White, N. A.; Rovis, T. Organocatalytic reactions enabled by N-heterocyclic carbenes. Chem. Rev. 2015, 115, 9307–9387.

[18] Bhunia, S.; Ghorai, S.; Bishoyi, A. K.; et al. Tale of the Breslow intermediate, a central player in N-heterocyclic carbene organocatalysis: then and now. Chem. Sci. 2021, 12, 7973–7992.

[19] Stenkvist, R.; et al. Aerobic oxidative N-heterocyclic carbene catalysis. Chem. Rec. 2023, 23, e202300091.

[20] Ooi, T.; Maruoka, K. Recent advances in asymmetric phase-transfer catalysis. Angew. Chem. Int. Ed. 2007, 46, 4222–4266.

[21] Ooi, T.; Kameda, M.; Maruoka, K. Molecular design of a C2-symmetric chiral phase-transfer catalyst for practical asymmetric synthesis of α-amino acids. J. Am. Chem. Soc. 1999, 121, 6519–6520.

[22] Corey, E. J.; Xu, F.; Noe, M. C. A rational approach to catalytic enantioselective enolate alkylation using a structurally rigidified and defined chiral quaternary ammonium salt under phase transfer conditions. J. Am. Chem. Soc. 1997, 119, 12414–12415.

[23] Lygo, B.; Wainwright, P. G. A new class of asymmetric phase-transfer catalysts derived from cinchona alkaloids—application in the enantioselective synthesis of α-amino acids. Tetrahedron Lett. 1997, 38, 8595–8598.

[24] Maruoka, K. Design of high-performance chiral phase-transfer catalysts with privileged structures. Proc. Jpn. Acad. Ser. B 2019, 95, 1–16.

[25] MacMillan, D. W. C.; et al. Merging photoredox catalysis with organocatalysis: SOMO activation and enantioselective allylation of aldehydes. Nobel Foundation Scientific Background, 2021.

[26] Jiang, H.; Gschwend, B.; Li, Y. Asymmetric organocatalysis—from a process development perspective. In Comprehensive Chirality/Process Chemistry references; Wiley-VCH, 2023, 601–631.

[27] Herbrik, F.; Sanz, M.; Puglisi, A.; Rossi, S.; Benaglia, M. Enantioselective organophotocatalytic telescoped synthesis of a chiral privileged active pharmaceutical ingredient. Chem. Eur. J. 2022, 28, e202200164.

[28] Gioia, C.; et al. Flow chemistry: recent developments in the synthesis of pharmaceutical products. Org. Process Res. Dev. 2016, 20, 2–25.

[29] Hernández, J. G.; Bolm, C. Mechanochemistry assisted asymmetric organocatalysis: a sustainable approach. Beilstein J. Org. Chem. 2012, 8, 2258–2267.

[30] Jorayev, P.; Soritz, S.; Sung, S.; et al. Machine learning-driven optimization of continuous-flow photoredox amine synthesis. Org. Process Res. Dev. 2025, 29, in press.

[31] Plutschack, M. B.; Pieber, B.; Gilmore, K.; Seeberger, P. H. The Hitchhiker's guide to flow chemistry. Chem. Rev. 2017, 117, 11796–11893.

[32] Karan, S.; et al. Homogeneous catalysis in continuous flow integrating photocatalysis, electrocatalysis, and automation technologies. Commun. Chem. 2025, 8, article 204.

[33] Data science enables the development of a new class of chiral phosphoric acid catalysts. PMC10373836, 2023.

AZƏRBAYCAN ŞAİRİ ŞEYH İBRAHİM GÜLŞENİ (1426-1535) BERDEİ'NİN İLAHİ AŞK VASIFLARINDA MİNACAT KATLARI-II YAZI: III-VII KATLAR

PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ

ORCID: 0009-0001-1327-3425 ezimliebulfez@yahoo.com.tr Google Akademik, Dünya Sülh Səfiri; Nobel Prıze & Indıa- Birliyinin Yönətici üzvü; Qlobal Yazarlar Akademiyası üzvü-Hindistan; Türk Dünyası Vətəndaşlığı və Eyitimçilər Birliyi üzvü-Bişkek; TÜRKSOY üzvü; Mery`s Ange`ls İnternacional Qroup üvü; Poetas İntergaláctıcos-üzvü; World Peace Lıterature Academy-nin yönətici üzvü; Saib Təbrizi Elm Mərkəzinin üvü; Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin üzvü; Naxçıvan Dövlət Universiteti; Naxçıvan Müəllimlər İnstitutu-BÜTÖV AZERBAYCAN

ÖZET

Şeyx İbrahim Gülşəni kimdir: Bu il- 1426-cı il Hülşeninin anadan oluşunun 600 illiyidir.

Şeyx İbrahim bin Mehemmed bin Hacı İbrahim Şihabeddin Gülşeni Berde'i h.830/ m.1426-27-de Azerbaycan'ın Berde kentinde doğulmuştur. Gencliğinde Tebrize getmiş, Dede Ömer Rövşeni'nin müridi olmuş.

Uzun iller Türkiye'de, Mısır'da yaşamıştır. İbrahim Gülşeni "Xelvetiyye" sufi tarikatının"Gülşeniyye" kolunu yaratmiştir.Sultan Süleymanh 935/m.1528-29-da onu sarayaına davet etmiş, ona ihtiram göstermiştir. Şair birkaç sene orada yaşamış sonra Misir'e dönmüş ve h.940 /m.1534-35-de, hicri tarixlə) (830-940) 110 yaşında Mısır'da vefat etmiştir.

Şeyh İbrahim Gülşeni'nin "Mesnevi-yi Menevi", "Şerh-i Menevi","Ezhar-i Gülşen", "Pendname", "Tefsir-i Aye-yi fatihe", "Simürgname", "Çobanname", "Gedemname", "Risalet-ül Etvar", "Mesnevi-yi Xefi", "Razname" gibi eserleri ile beraber Türkçe ve Farsça divanları da vardır.

Tasavvufun mana tutarları vasıflar üzerindededir. Vasıflar yalnız İlahi Kudret'e bağlıdır. Onda evvel de Aşktır, Ahir de. Aşik sevgilinin Aşk alemine sığınıp; bununla Aşik hem Evvel'e, hem de Ahir'e mahsus olduğunu anlayıp; Aşik, nece deyerler, Evvel'le Ahir'in bütünlüğünde makam tapıp.

Şeyh İbrahim Gülşeni Berdei'nin Tasavvufunda Aşk vasıfları bir-birine bağlı Minacat Katlarından ibarettir. Hankilerdir o Minacat Katları?

Minacatın üçüncü katı: Allahın lutfuna uğrama çağrısı da bir münacatdır. Bu münacatta kömek-yardım dileme de bir vasıftır: şurada en mahram ve semimi istek-münasibetler dil acır.

Minacatın Dördüncü Katı: Bu kat Tecellinin makan ve makam hikmetine bağlıdır. Şairin vasfında bütün nişanlar bir manadan işarelenir: bu makam ve makan nişanlarıdır:

Tecelinin özü hem de mekan ve makamları yarattı. İlahi Kudretin tecellilerinin meydana çıktığı yer makan ve makamların karar tuttuğu alemdir.

Minacatın Beşinci Katı: Aşk vasıflarının daha bir Münacat katı—insanın tasvir ve terennüm hattıdır. İnsana vasıflar onu yaradan Allah-ın kudret ve calanına mahsus olan işaretlerdendir. Tecellının daha bşr hazinesi—insanın yaradılması ve ona mahsus olan güzelliklerin zahire çıkmasıdır. İnsanın yaratılması Suret vermenin başka bir sırrıdır.

Minacatın altıncı katı: Hak nurunun tesiriyle kalbinde hakikatın bilinmesi. Aşikin kalpi hak nurunun nurunadan ışık tapıp; orada bütün şekiller ve nizamlar bir silsile üstündedir: bu, bağlantısı evvelden ahire silsilenen vahtetin tesbih nişanları saklanır; şair İbrahim Gülşeni'nin tasavvuf poeziyasında bu irfan nişanları aşikin irfan dünyasının gizlinlerini daha da gizleden, aşkarlarını daha da aşkarladan, batini zahirden, zahiri batinden doğuran ve batina aşkar, aşkara batin nişanları veren olan aşk bağlantılarının elametleri gibi vasıf olunur:

Minacatın yeddinci katı: Bütün tasavvufu dilde Söz Aşkın vasfına vasıflar verir. Gülşeni kamala yetma ve makama bağlı olma nidası gibi 'La ilahe illellah' tesbihine vasıf verir ve bu vasıflar Münacatın tamama yetme nişanıdır. Aşk aleminde heyretleri daha da heyretlendiren söz 'La ilahe illellah' nidasıdır. Vahdet b hükümden nizam tapıp. 'la ilahe illellah'Vahdetin açarıdır.

AÇAR SÖZLƏR: Şeyx İbrahim Gülşəni təsəvvüfü; Gülşenidə İlahi aşk; Gülçenide Aşk vasflarının Minacat katları

LAYERS OF *MUNAJAT* (SUPPLİCATİON) İN THE DİVİNE LOVE ATTRİBUTES OF THE AZERBAİJANİ POET SHEİKH IBRAHİM GULSHANİ (1426–1535) BARDA'İ – PART II: LAYERS III–VII

PROF. DOK. EBULFEZ TAHİR EZİMLİ

ABSTRACT

Who is Sheikh Ibrahim Gulshani? The year 1426 marks the 600th anniversary of Gulshani's birth.

Sheikh Ibrahim bin Muhammad bin Haji Ibrahim Shihab al-Din Gulshani Barda'i was born in the city of Barda, Azerbaijan, in 830 AH (1426–27 CE). In his youth, he traveled to Tabriz and became a disciple of Dede Ömer Rowshani.

He lived for many years in Turkey and Egypt. Ibrahim Gulshani founded the "Gulshaniyya" branch of the "Khalwatiyya" Sufi order. Sultan Suleiman invited him to the palace in 935 AH (1528–29 CE) and treated him with great respect. The poet lived there for a few years before returning to Egypt, where he passed away in 940 AH (1534–35 CE) at the age of 110.

In addition to works such as *Masnavi-yi Ma'navi*, *Sharh-i Ma'navi*, *Azhar-i Gulshan*, *Pandnama*, *Tafsir-i Ayah-i Fatiha*, *Simurghnama*, *Chobannama*, *Qadamnama*, *Risalat al-Atwar*, *Masnavi-yi Khafi*, and *Raznama*, Sheikh Ibrahim Gulshani also authored *Divans* (collections of poetry) in both Turkish and Persian.

The spiritual essence of Sufism is grounded in these attributes. Attributes are solely dependent on Divine Power. In it, Love is both the First and the Last. The Lover takes refuge in the realm of Love; realizing through this that he belongs to both the First and the Last, the Lover—as the saying goes—finds his station in the unity of the First and the Last.

In the Sufism of Sheikh Ibrahim Gulshani Barda'i, the attributes of Love consist of interconnected Stages of Supplication (*Munajat*). What are these Stages?

The Third Stage of Supplication: The call to receive God’s grace is itself a supplication. Seeking aid and assistance within this supplication is also an attribute; here, the most intimate and sincere desires and connections find their voice.

The Fourth Stage of Supplication: This stage is linked to the wisdom of the *makan* (place) and *maqam* (spiritual station) of Divine Manifestation (*Tajalli*). In the poet's description, all signs point to a single meaning: the signs of this station and place.

The essence of Divine Manifestation itself created these places and stations. The realm where these places and stations are established is the very sphere where the manifestations of Divine Power emerge.

The Fifth Stage of Supplication: Another stage of Love's attributes—the realm of the human being's depiction and exaltation. The attributes possessed by the human being are signs belonging to the power and glory of God, the Creator. Another treasure of Divine Manifestation is the creation of man and the outward appearance of the beauties inherent in him. The creation of man is yet another mystery of the act of bestowing Form.

The Sixth Stage of Supplication: The realization of Truth within the heart through the influence of the Light of the True One (*Haq*). The Lover's heart finds illumination through the radiance of the Light of the True One; There, all forms and orders exist within a continuum; the symbols of the *tasbih* (glorification) of Divine Unity—a unity linked from beginning to end—are preserved. In the Sufi poetry of the poet Ibrahim Gülşeni, these signs of spiritual insight are characterized as markers of the bonds of love; they conceal the secrets of the lover's spiritual world while further revealing its manifest truths, giving birth to the inner from the outer and the outer from the inner, and imbuing the inner with the qualities of the outer and the outer with the qualities of the inner.

The seventh tier of the "Munajat" (Supplication): Here, the Word—the embodiment of all Sufism—ascribes attributes to the nature of Divine Love. Gülşeni characterizes the "tasbih" of "La ilaha illallah" (There is no god but Allah) as a call to attain perfection and spiritual station; these attributes signify the completion of the *Munajat*. In the realm of love, the utterance that deepens the state of spiritual awe (*hayret*) is the cry of "La ilaha illallah." Order is established through the decree of Divine Unity, and "La ilaha illallah" is the key to that Unity.

KEYWORDS: Sheikh Ibrahim Gülşeni's Sufism; Divine Love in Gülşeni; Tiers of the "Munajat" regarding the attributes of Love in Gülşeni.

Hz. NUH as. QAVMİNDEN GELEN KÜFÜRLERİN MAZMUN İŞARETLERİ VƏ BELA YELKENLERİ

PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ

ORCID: 0009-0001-1327-3425 ezimliebulfez@yahoo.com.tr Google Akademik, Dünya Sülh Səfiri; Nobel Prıze & Indıa- Birliyinin Yönətici üzvü; Qlobal Yazarlar Akademiyası üzvü-Hindistan; Türk Dünyası Vətəndaşlığı və Eyitimçilər Birliyi üzvü-Bişkek; TÜRKSOY üzvü; Mery`s Ange`ls İnternacional Qroup üvü; Poetas İntergaláctıcos-üzvü; World Peace Lıterature Academy-nin yönətici üzvü; Saib Təbrizi Elm Mərkəzinin üvü; Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin üzvü; Naxçıvan Dövlət Universiteti; Naxçıvan Müəllimlər İnstitutu-BÜTÖV AZERBAYCAN

ÖZƏT

İşaretler və bəşəri fəlakətlər çokkatlıdır. Bəlanı küfrlər gətirir, İmnasızlar aləmində küfr də, bəla da dərya kimi coşar. Ancaq o coşqular küfrün və batilin buralğınında məhv olar.

I. Mitolojinin Düşzaman Başlanğıcı. Mitolojininn Başlanğıcı Düşzamandır. Bu, aklın ifadeleri içindedir. Düşzaman tasavvurunda, helelik, en derin başlanğıc Avustralya aborigenlerinin mitoloji bakışlarında iz alıp.

Bəlada bəla- anlamazlıqda özünə faciə yartamadır.

Bəşəri bəla və fəlakətlərin gerçək mifoloji zamanları.

II. İnsanın Kendini İfadesinin Hikmeti. Yeryüzüne gelen ikinci felaket *Dünya Tufanı* oldu. Birinci felaket suların çekilmesi idiyse, ikinci felaket yeryüzünün suya karg olması felaketi idi. Dünya tufanı Nuh aleyhi selamın adı ile-- Nuh-un Tufanı da adlanır

III. Nuh as. Gavminden Gelen Küfürlerin xarakteri, yaxud, batilin fəlakət aləmi. Bu aləmdə bəlaların Mazmun İşaretleri çoxəlamətli və çokkatlıdır. Birinci işaret: akıl ve düşünce yetmezliyi.

IV. NUH AS. ALLAH-IN VAHİYLERİNİN KORUMASI ALTINDA.

Nuh as-da kendini ifade etmesi ne kadar ali lsa da, gavmi o kadar alçaklık altında idi. Nuh as-ın özünü ifadə etmə bakışları ona verilen hikmetlerin mazmun bakışlarıdır. Nuh as. ”öz kavmi” içerisine göndeilmiştir

V. Belanın Gelişi və Girişi. “*Bunlardan da öncə Nuh qövmünün adamları danmışdılar bəndəmizi. “Bu, dəlidir” -demişdilər. Əlacsız qalmışdır Nuh (Qamər surəsi, ayə.9). Yalvardı rəbbinə: “Mən məğlubam, yardım elə”(Gamer suresi, ayə,10).*

VI. GEMİNİN HAREKETİ. Nuh as-n oğlunun inatkarlığı ve oğlunun hilası için Allah-dan isteyi ve Allah-ın Nuh as-a cevabı:

“Aparırdı onları dağlar gibi kabaran dalğalr arasıyla gemi, kenarda duran oğlunu sesledi Nuh :”Oğlum, bin gemiye bizimle, kafirlerle kalmayasan” (Hud suresi,42).

VII. SƏFİNE-GƏMİ EHLİNİN XİLASI. Hilas—hem beşere ve de alemlere olan ucalık idi**.** Bu ele bir hilas oldu ki, zaman yeniden doğdu: zaman zamanın içerisinde hifz edildi. Sefine ehlini hilas etmek alemlere Rahmet ve Bereket idi. Gemi ehli- ilkinde Yeryüzü ehli idi, sular qovuşdu bir-birine, gemi ehli sular ehli oldu… ve sular öz makamlarına çekildi, Gemi de Cudi-de mekan aldı- mekan verdi ve böylece Gemi ehli Cudi-Ağri ehli oldu.

VIII. AĞRI DAĞI MEKANLARINDA

“Muminin” suresinde (aye:28) deyildiği gibi, “Mübarek bir yerdir”: Allah-Teala rehmet olaraq, Nuh-a (e.s.) gönderdiyi ayəde buyurur: “Ey Nuh, elə ki sen ve seninle olanlar rahatladınız gemide yerinizi, “Hemd olsun Allah-a, bizi xilas elemiş zalım kavmin elinden” söyle (Muminin, aye:28). “Mübarek bir yere gönder meni, Rebbim, sen gönderenlerin en yahşısısan” söyle (Muminin, aye: 29).3e

Ağrıda ağrı: ağrı ağırlıq, büyüklük, yücelik, alilik demektir: ağırlık nedir? özünü özünde tutma makamıdır. özünü anlama ve anlatma, öz varlığını anlama bakışıdır

AÇAR SÖZLƏR: Nuh (ə) qövmünün küfrü; İnsanın özünüifadə fəsadları; Nuh tufanı və İnsanın xilası.

Hz. NOAH as. PROPHET SIGNS OF CURSES COMING FROM QAVMIN AND SAILS OF TROUBLE

PROF. DOK. EBULFEZ TAHİR EZİMLİ

SUMMARYT

The signs and disasters are manifold. Blasphemy brings trouble. In the world of the unbelievers, curses and troubles surge like the ocean. However, those enthusiasms are destroyed in the place of disbelief and falsehood.

I. The Dreamy Beginning of Mythology. The Beginning of Mythology is Dreamtime. This is within the expressions of the mind. In the dreamtime imagination, especially, its deepest beginning can be traced in the mythological views of the Australian aborigines.

In trouble, in trouble - do not create disaster for yourself by not understanding.

Bəşəri bəla və fəlakətlərin gerçək mifoloji zamanları.

II. The Wisdom of Human Self-Expression. The second catastrophe to come to the earth was the Great Flood. If the first catastrophe was the receding of the waters, the second catastrophe was the catastrophe of the earth being covered in water. The Great Flood is named after Noah (peace be upon him) - also called Noah's Flood.

III. The character of the blasphemies from Noah's people, the falsehood, the baseness. These are the symbolic signs of the people. The first sign: the inadequacy of reason and thought.

IV. UNDER THE PROTECTION OF GOD'S REVELATIONS. Although Noah's self-expression was noble, his people were equally vile. Nuh as-ın özünü ifadə etmə bakışları ona verdi hikmetlerin mazmun bakışlarını. Nuh as. “öz kavmi” içinde göndemiştir

V. BELANIN GELİŞİ VƏ GİRİŞİ. "Before this, the men of Noah's people had heard of me. They said, "This is madness." Noah was left without medicine (Qamər sura, ayə.9). He begged his Lord: "Mən məğlubam, help me" (Gamer sura, ayə,10).

VI. MOVEMENT OF THE SHIP. Noah asked Allah for his son's stubbornness and his son's failure, and Allah's response to Noah was:

"The ship would take them away among the waves that swelled like mountains. Noah called out to his son who was standing on the side: "My son, get on the ship with us, unless you stay with the unbelievers" (Surah Hud, 42).

VII. XILA OF THE PEOPLE OF SƏFİNE-GƏMİ. Hilas—it was both a greatness towards humanity and towards the universes. This was a hilas in which time was reborn: time was preserved within time. To hilas the people of the ship was Mercy and Blessing to the universes. The people of the ship—at first they were the people of the Earth, the waters met each other, the people of the ship became the people of the waters… and the waters withdrew to their own places, the ship took its place in Cudi—and thus the people of the ship became the people of Cudi-Agri.

VIII. IN THE PLACES OF MOUNT AĞRI

As it is said in the Surah "Al-Mu'minun" (verse: 28), "It is a blessed place": Allah-Teala, as a mercy, says in the verse He sent to Noah (pbuh): "O Noah, when you and those with you have found comfort in your place in the ark, say, 'Praise be to Allah, who has delivered us from the hand of the oppressive people'" (Al-Mu'minun, verse: 28). "Send me to a blessed place, my Lord, You are the best of those who send" (Al-Mu'minun, verse: 29).

Ağrıda ağrı: ağrı means weight, greatness, loftiness, sublimity: what is weight? It is the state of self-control. It is the perspective of understanding and expressing oneself, understanding one's own existence.

OPENING WORDS: Nuh (ə) qövmünün küfrü; İnsanın özünüifadə vices; Noah's flood and the end of man.

BİOLOGİYA DƏRSLƏRİNDƏ TƏDRİS EKSPERİMENTİNİN ŞAGİRDLƏRİN ELMİ FƏALİYYƏTƏ MARAĞININ FORMALAŞMASINA TƏSİRİ

İradə Məmmədova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti Kimya və biologiya fakültəsi

Biologiya və onun tədrisi texnologiyası kafedrası baş müəllim Azərbaycan, Bakı

Xülasə

Elmi tədqiqat biologiya dərslərində tədris eksperimentindən istifadənin şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının formalaşmasına və inkişafına təsirinin müəyyənləşdirilməsinə həsr edilmişdir. Müasir biologiya təlimində şagirdlərin yalnız nəzəri biliklərə yiyələnməsi deyil, onların müşahidə, problem qoyma, fərziyyə irəli sürmə, eksperiment aparma, nəticələri təhlil etmə və elmi əsaslandırılmış nəticə çıxarma bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu baxımdan tədris eksperimenti şagirdlərin təlim prosesində fəal iştirakını təmin edən və elmi-tədqiqat fəaliyyətinə marağı stimullaşdıran mühüm metodik vasitə kimi nəzərdən keçirilmişdir. Tədqiqat zamanı eksperimental və nəzarət qruplarının nəticələri müqayisə edilmiş, sorğu, pedaqoji müşahidə, müsahibə və praktiki tapşırıq metodlarından istifadə olunmuşdur. Əldə edilən nəticələr göstərmişdir ki, tədris eksperimentlərinin sistemli və məqsədyönlü tətbiqi şagirdlərin biologiya fənninə marağının, elmi fəaliyyətə motivasiyasının və tədqiqat fəallığının yüksəlməsinə müsbət təsir göstərir. Eksperimental fəaliyyət xüsusilə şagirdlərin müstəqil düşünmə, müşahidə, fərziyyə formalaşdırma, məlumatların təhlili və nəticələrin əsaslandırılması bacarıqlarının inkişafında əhəmiyyətli rol oynamışdır. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, şagirdlərin eksperimentin planlaşdırılması və həyata keçirilməsinin müxtəlif mərhələlərinə fəal cəlb edilməsi onların daxili motivasiyasını gücləndirir və biologiya fənninə daha davamlı maraq yaradır. Nəticə etibarilə, tədris eksperimentinin biologiya dərslərində sistemli, şagirdyönümlü və tədqiqat əsaslı şəkildə tətbiqi şagirdlərin elmi dünyagörüşünün və tədqiqat kompetensiyalarının formalaşdırılması üçün effektiv pedaqoji vasitə hesab edilə bilər.

Açar sözlər: biologiya təlimi, tədris eksperimenti, elmi fəaliyyət, şagird marağı, tədqiqat yönümlü təlim, elmi-tədqiqat bacarıqları, təlim motivasiyası, eksperimental metod, problemli təlim, müşahidə bacarığı, elmi düşünmə, biologiyanın tədrisi metodikası, şagirdyönümlü təlim

THE EFFECT OF TEACHING EXPERIMENTS IN BIOLOGY LESSONS ON THE FORMATION OF STUDENTS' INTEREST IN SCIENTIFIC ACTIVITY

Irada Mammadova

Azerbaijan State Pedagogical University Faculty of Chemistry and Biology

Department of Biology and Teaching Technology Senior Lecturer Baku, Azerbaijan

Abstract

This study is devoted to determining the impact of the use of teaching experiments in biology lessons on the formation and development of students' interest in scientific activity. In modern biology education, it is important not only for students to acquire theoretical knowledge but also to develop their abilities to observe, formulate problems, propose hypotheses, conduct experiments, analyze results, and draw scientifically justified conclusions. In this regard, teaching experiments are considered an important methodological tool that promotes students' active participation in the learning process and stimulates their interest in scientific research activities. During the study, the results of experimental and control groups were compared, and survey, pedagogical observation, interview, and practical task methods were employed. The results obtained demonstrated that the systematic and purposeful application of teaching experiments has a positive effect on students' interest in biology, motivation toward scientific activity, and research engagement. Experimental activities played a particularly important role in developing students' independent thinking, observation, hypothesis formulation, data analysis, and ability to substantiate conclusions. The findings indicate that actively involving students in different stages of planning and conducting experiments strengthens their intrinsic motivation and fosters a more sustainable interest in biology. Consequently, the systematic, student-centered, and inquiry-based application of teaching experiments in biology lessons can be regarded as an effective pedagogical tool for developing students' scientific worldview and research competencies.

Keywords: biology education, teaching experiment, scientific activity, student interest, inquiry-based learning, scientific research skills, learning motivation, experimental method, problem-based learning, observation skills, scientific thinking, methodology of biology teaching, student-centered learning.

Giriş

Müasir təhsil sistemində biologiyanın tədrisi yalnız şagirdlərə canlı aləmin quruluşu, həyat prosesləri və ekoloji qanunauyğunluqlar haqqında nəzəri biliklərin verilməsi ilə məhdudlaşmamalıdır. Biologiya təbiət elmləri sistemində eksperimental və tədqiqat yönümlü xarakteri ilə fərqlənən fundamental fənlərdən biri kimi şagirdlərdə elmi dünyagörüşünün, təbiət hadisələrinə səbəb-nəticə əlaqələri əsasında yanaşmanın, müşahidə və analiz bacarıqlarının, eləcə də müstəqil tədqiqat aparmaq qabiliyyətinin formalaşdırılması üçün geniş imkanlar yaradır. Bu baxımdan biologiya dərslərində tədris eksperimentlərindən məqsədyönlü və metodik cəhətdən düzgün istifadə edilməsi şagirdlərin yalnız fənn üzrə biliklərinin dərinləşdirilməsinə deyil, həm də onların elmi fəaliyyətə marağının formalaşdırılmasına mühüm təsir göstərən pedaqoji vasitə kimi qiymətləndirilə bilər.

Müasir pedaqoji yanaşmalarda şagirdin təlim prosesində passiv bilik qəbul edən subyekt deyil, bilikləri müşahidə, araşdırma, müqayisə, fərziyyə irəli sürmə, eksperiment aparma və nəticələri şərh etmə yolu ilə fəal şəkildə mənimsəyən tədqiqatçı kimi çıxış etməsi əsas prinsiplərdən biri hesab olunur. Xüsusilə təbiət elmlərinin, o cümlədən biologiyanın tədrisində bu yanaşma xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Çünki biologiyanın bir sıra nəzəri müddəaları canlı obyektlər, bioloji proseslər və təbii hadisələr üzərində aparılan müşahidə və təcrübələr vasitəsilə daha aydın, əsaslandırılmış və uzunmüddətli şəkildə mənimsənilir. Şagirdin müəyyən bir bioloji hadisəni yalnız dərslikdə oxuması ilə həmin hadisəni eksperiment vasitəsilə müşahidə etməsi arasında idraki baxımdan əhəmiyyətli fərq vardır. Eksperiment şagirdə nəzəri müddəanı real faktla əlaqələndirmək, irəli sürülmüş fərziyyəni yoxlamaq və əldə etdiyi nəticə əsasında elmi qənaət formalaşdırmaq imkanı verir[1].

Tədris eksperimenti biologiya dərsində müəyyən bioloji prosesin, hadisənin və ya qanunauyğunluğun xüsusi təşkil olunmuş şəraitdə müşahidə edilməsi və öyrənilməsi məqsədilə həyata keçirilən məqsədyönlü praktik fəaliyyət kimi xarakterizə edilə bilər. Eksperimentin əsas üstünlüklərindən biri ondan ibarətdir ki, burada şagird hazır nəticəni qəbul etmir, nəticəyə müəyyən idraki və praktik fəaliyyət mərhələlərindən keçərək gəlir. Bu proses zamanı problem situasiyasının yaradılması, sualın qoyulması, fərziyyənin formalaşdırılması, eksperimental fəaliyyətin planlaşdırılması, müşahidələrin aparılması, nəticələrin qeydə alınması, məlumatların müqayisəsi və təhlili, sonda isə elmi nəticənin formalaşdırılması kimi mərhələlər reallaşa bilər. Belə fəaliyyət ardıcıllığı şagirdin elmi tədqiqatın məntiqi ilə tanış olmasına və gələcəkdə daha mürəkkəb tədqiqat fəaliyyətlərinə hazırlanmasına şərait yaradır.

Şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının formalaşması müasir təhsilin mühüm məqsədlərindən biridir. Elmi fəaliyyətə maraq dedikdə yalnız müəyyən bir fənnə müsbət münasibət deyil, həm də elmi suallar verməyə,

problemlərin səbəblərini araşdırmağa, yeni məlumatlar əldə etməyə, sübut və faktlar əsasında nəticələr çıxarmağa, müşahidə və təcrübələr aparmağa yönəlmiş davamlı idraki motivasiya başa düşülür. Bu marağın formalaşması xüsusilə məktəb yaşlarında böyük əhəmiyyət daşıyır. Çünki məhz bu mərhələdə şagirdlərin gələcək peşə və elmi maraqları, dünyagörüşü və intellektual fəaliyyətə münasibəti inkişaf etməyə başlayır. Biologiya dərslərində təşkil edilən eksperimental fəaliyyətlər isə şagirdlərdə "nə üçün?", "necə?", "əgər belə olsa, nə baş verər?" kimi tədqiqat xarakterli sualların meydana çıxmasına stimul verə bilər.

Eksperimentin motivasiyaedici xüsusiyyəti onun şagird üçün birbaşa müşahidə və fəaliyyət imkanı yaratması ilə bağlıdır. Məsələn, fotosintezin gedişini, toxumların cücərməsi üçün zəruri şərtləri, fermentlərin fəaliyyətinə temperaturun və ya mühitin təsirini, hüceyrə hadisələrini, osmos və diffuziya proseslərini, mikroorqanizmlərin inkişaf xüsusiyyətlərini və ekoloji amillərin canlılara təsirini təcrübələr vasitəsilə öyrənən şagird nəzəri məlumatı konkret hadisə ilə əlaqələndirir. Bu zaman təlim materialı abstrakt informasiya olmaqdan çıxaraq müşahidə edilən və təhlil olunan elmi fakta çevrilir. Nəticədə şagirdin biologiyaya münasibəti daha fəal xarakter alır və onun fənnə qarşı daxili marağının inkişafı üçün əlverişli şərait yaranır[2].

Tədris eksperimentinin digər mühüm xüsusiyyəti şagirdlərdə elmi düşünmə bacarıqlarının inkişafını təmin etməsidir. Elmi düşünmə müşahidə olunan faktların sadəcə yadda saxlanılmasını deyil, onların səbəblərinin müəyyənləşdirilməsini, müxtəlif faktlar arasında əlaqələrin aşkar edilməsini və nəticələrin sübutlarla əsaslandırılmasını tələb edir. Biologiya dərsində eksperiment aparan şagird müşahidə etdiyi hadisəyə münasibətdə ilkin fərziyyə irəli sürür, onun doğruluğunu yoxlamağa çalışır və alınmış nəticələr əsasında öz fikrini təsdiq və ya dəyişə bilir. Beləliklə, eksperimental fəaliyyət şagirdin tənqidi, məntiqi və analitik təfəkküründün inkişafına xidmət edir. Bu proses elmi fəaliyyətin əsas komponentlərinin məktəb səviyyəsində ilkin formada mənimsənilməsi kimi qiymətləndirilə bilər.

Biologiyanın tədrisində təcrübənin tətbiqi həmçinin nəzəri və praktik biliklərin inteqrasiyasına imkan verir. Ənənəvi təlim prosesində şagirdlərin bəzi hallarda bioloji termin və anlayışları mexaniki şəkildə mənimsəməsi mümkündür. Lakin yalnız əzbərlənmiş biliklər şagirdin davamlı elmi marağını və tədqiqat motivasiyasını təmin etmir. Nəzəri anlayışın praktik fəaliyyətlə əlaqələndirilməsi isə biliklərin mənasını və tətbiq imkanlarını daha aydın göstərir. Şagird müəyyən prosesin nəticəsini əvvəlcədən proqnozlaşdırdıqda, sonra isə eksperiment vasitəsilə həmin proqnozu yoxladıqda, biliklərin mənimsənilməsi daha fəal idraki prosesə çevrilir. Bu baxımdan eksperiment biologiya təlimində nəzəri biliklərlə praktik fəaliyyət arasında əlaqələndirici mexanizm rolunu oynayır.

Tədris eksperimentlərinin pedaqoji əhəmiyyəti yalnız bilik və bacarıqların formalaşdırılması ilə məhdudlaşmır. Eksperimental fəaliyyət şagirdlərdə məsuliyyət, dəqiqlik, səbir, ardıcıllıq, əməkdaşlıq və obyektivlik kimi mühüm şəxsi keyfiyyətlərin inkişafına da şərait yaradır. Eksperiment zamanı əldə edilən nəticələrin düzgün qeydə alınması, ölçmələrin dəqiq aparılması, dəyişənlərin nəzərə alınması və nəticələrin əvvəlcədən formalaşdırılmış fikrə uyğunlaşdırılmaması elmi fəaliyyətin etik və metodoloji prinsiplərinin ilkin səviyyədə mənimsənilməsinə kömək edir. Bu baxımdan məktəb biologiya laboratoriyası yalnız praktiki bacarıqların formalaşdırıldığı məkan deyil, həm də şagirdlərin elmi mədəniyyətinin inkişaf etdirildiyi təlim mühiti kimi nəzərdən keçirilə bilər.

Müasir təhsil texnologiyalarının inkişafı tədris eksperimentlərinin imkanlarını daha da genişləndirmişdir. Ənənəvi laboratoriya təcrübələri ilə yanaşı, rəqəmsal mikroskoplar, sensorlar, virtual laboratoriyalar, simulyasiyalar, elektron məlumat toplama vasitələri və müxtəlif rəqəmsal resurslardan istifadə etməklə biologiya dərslərində tədqiqat yönümlü təlim təşkil etmək mümkündür. Bu vasitələr şagirdlərin müşahidə imkanlarını genişləndirir, mürəkkəb və uzunmüddətli bioloji proseslərin modelləşdirilməsinə şərait yaradır və eksperimental nəticələrin daha sistemli şəkildə təhlil edilməsinə imkan verir. Bununla belə, texnoloji vasitələrin tətbiqi məqsəd deyil, təlim məqsədlərinə çatmağa xidmət edən metodik vasitə kimi nəzərdən keçirilməlidir. Əsas diqqət şagirdin elmi problemin həllində fəal iştirakına və müstəqil düşünmə fəaliyyətinə yönəldilməlidir[3].

Biologiya dərslərində tədris eksperimentinin səmərəliliyi, ilk növbədə, onun metodik baxımdan düzgün təşkilindən asılıdır. Eksperiment yalnız müəllimin nümayiş etdirdiyi təcrübə formasında qurulduqda şagirdlərin tədqiqat fəaliyyətində iştirak səviyyəsi məhdud qala bilər. Şagirdin eksperimentin məqsədini müəyyənləşdirməsi, problem sualının formalaşdırılmasında iştirak etməsi, fərziyyə irəli sürməsi, təcrübənin gedişini planlaşdırması, nəticələri qeydə alması və onların şərhində iştirak etməsi daha yüksək pedaqoji nəticələrə səbəb olur. Buna görə də müasir biologiya təlimində müəllimin rolu yalnız məlumat verən şəxs olmaqdan çıxaraq tədqiqat prosesini istiqamətləndirən, problem situasiyası yaradan və şagirdin müstəqil fəaliyyətini dəstəkləyən fasilitator kimi müəyyənləşir.

Şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının yaranmasında emosional və motivasion komponent də mühüm əhəmiyyət daşıyır. Eksperiment şagirdə “öyrənmək” və “kəşf etmək” arasında fərqi hiss etdirməyə imkan verir. Əldə edilən nəticənin əvvəlcədən tam məlum olmaması, müəyyən ehtimalın yoxlanılması və gözlənilməz nəticənin meydana çıxması şagirdin idraki marağını gücləndirə bilər. Xüsusilə yaş səviyyəsinə uyğun,

təhlükəsiz və aydın məqsədli eksperimentlər şagirdlərdə elmi fəaliyyətə müsbət emosional münasibətin formalaşmasına xidmət edir. Belə fəaliyyət nəticəsində biologiya dərsi yalnız nəzəri biliklərin öyrənildiyi təlim məkanı deyil, sualların verildiyi, problemlərin araşdırıldığı və yeni nəticələrin əldə edildiyi elmi-tədqiqat mühitinə çevrilir.

Bu məsələnin digər mühüm aspekti fərdi və qrup şəklində tədqiqat fəaliyyətinin təşkilidir. Qrup eksperimentləri şagirdlər arasında əməkdaşlığı, elmi fikir mübadiləsini və nəticələrin kollektiv müzakirəsini stimullaşdırır. Şagirdlər birgə fəaliyyət zamanı müxtəlif fərziyyələri müqayisə edir, müşahidələrini əsaslandırır və əldə etdikləri nəticələri müdafiə etməyə çalışırlar. Bu isə onların kommunikativ və argumentativ bacarıqlarının inkişafına şərait yaradır. Fərdi eksperimental fəaliyyət isə şagirdin müstəqilliyini, şəxsi məsuliyyətini və öz fəaliyyətini planlaşdırmaq bacarığını gücləndirir. Beləliklə, tədris eksperimentlərinin müxtəlif təşkil formalarının məqsədyönlü şəkildə tətbiqi şagirdlərin elmi fəaliyyətə hazırlanmasının mühüm şərtlərindən biridir.

Mövzunun aktuallığı həm də müasir cəmiyyətin elmi savadlı, tənqidi düşünən və dəyişən texnoloji şəraitə uyğunlaşa bilən fərdlərə olan tələbatı ilə müəyyən edilir. XXI əsrdə elmi və texnoloji inkişafın sürətlənməsi məktəbdə təbiət elmlərinin tədrisinə yeni tələblər irəli sürür. Şagird yalnız hazır məlumatları mənimsəməklə kifayətlənməməli, məlumatı təhlil etməyi, onun etibarlılığını qiymətləndirməyi, sübutlara əsaslanan nəticələr çıxarmağı və yeni problemlərin həlli üçün elmi yanaşmalardan istifadə etməyi bacarmalıdır. Biologiya dərslərində tədris eksperimentləri məhz bu bacarıqların formalaşdırılması üçün təbii və səmərəli pedaqoji imkan yaradır.

Bununla yanaşı, eksperimental təlimin effektivliyi bir sıra metodik amillərdən asılıdır. Təcrübənin məzmununun şagirdlərin yaş və idrak səviyyəsinə uyğunluğu, məqsəd və nəticələrin aydın müəyyənləşdirilməsi, laboratoriya şəraitinin və avadanlıqların mövcudluğu, təhlükəsizlik qaydalarına riayət olunması, eksperiment üçün kifayət qədər vaxtın ayrılması, müəllimin metodik hazırlığı və nəticələrin obyektiv qiymətləndirilməsi bu amillər sırasında xüsusi yer tutur. Eksperimentin yalnız nümayiş xarakterli və formal şəkildə aparılması onun şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağına təsirini zəiflədə bilər. Buna görə də eksperimental metodun tətbiqi sistemli, mərhələli və pedaqoji məqsədlərlə əlaqələndirilmiş şəkildə həyata keçirilməlidir.

Bu baxımdan biologiya dərslərində tədris eksperimentinin şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının formalaşmasına təsirinin araşdırılması həm nəzəri, həm də praktik baxımdan əhəmiyyətlidir. Belə tədqiqat biologiya təlimində eksperimental metodun pedaqoji imkanlarının müəyyənləşdirilməsinə, şagirdlərin tədqiqat

motivasiyasının inkişafına təsir edən amillərin aşkar edilməsinə və daha effektiv metodik yanaşmaların işlənib hazırlanmasına imkan verə bilər. Eyni zamanda, eksperimental fəaliyyətin şagirdlərin biologiyaya marağı, elmi düşünmə bacarıqları, müstəqil fəaliyyət qabiliyyəti və tədqiqat kompetensiyalarının inkişafı ilə qarşılıqlı əlaqəsinin öyrənilməsi biologiyanın tədrisi metodikasının müasir tələblər əsasında təkmilləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir[4].

Beləliklə, biologiya dərslərində tədris eksperimentinin tətbiqi şagirdlərin yalnız biologiya üzrə biliklərinin praktik şəkildə möhkəmləndirilməsinə deyil, onların elmi fəaliyyətin əsas prinsiplərinə yiyələnməsinə, tədqiqat motivasiyasının inkişafına, müstəqil və tənqidi düşünmə bacarıqlarının formalaşmasına da şərait yaradır. Eksperiment vasitəsilə şagird müşahidə edən, sual verən, fərziyyə irəli sürən, sübut axtaran, nəticəni təhlil edən və elmi əsaslandırılmış qənaət formalaşdıran fəal təlim subyektinə çevrilir. Bu səbəbdən tədris eksperimentinin biologiya dərslərində sistemli və metodik cəhətdən əsaslandırılmış tətbiqi şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının formalaşdırılması və onların gələcək tədqiqat fəaliyyətinə hazırlanması baxımından mühüm pedaqoji istiqamət kimi qiymətləndirilə bilər.

Material və metodlar

Tədqiqat “Biologiya dərslərində tədris eksperimentinin şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının formalaşmasına təsiri” mövzusu üzrə biologiyanın tədrisi prosesində eksperimental metodun pedaqoji effektivliyinin müəyyənləşdirilməsi məqsədilə təşkil edilmişdir. Tədqiqatın metodoloji əsasını şagirdyönümlü, fəaliyyət əsaslı, problemli və tədqiqat yönümlü təlim prinsipləri təşkil etmişdir. Tədqiqat prosesində tədris eksperimentinin şagirdlərin biologiya fənninə marağına, elmi-tədqiqat fəaliyyətinə münasibətinə, müstəqil düşünmə və müşahidə bacarıqlarına təsirinin kompleks şəkildə qiymətləndirilməsinə üstünlük verilmişdir.

Tədqiqatın obyekti ümumi təhsil müəssisələrində biologiyanın tədrisi prosesi, predmeti isə biologiya dərslərində tədris eksperimentlərinin tətbiqinin şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının formalaşmasına təsiridir. Tədqiqatın məqsədinə uyğun olaraq aşağıdakı əsas vəzifələr müəyyənləşdirilmişdir: tədris eksperimentlərinin biologiya dərslərində tətbiq imkanlarının müəyyənləşdirilməsi; eksperimental və ənənəvi təlim şəraitində şagirdlərin elmi fəaliyyətə maraq səviyyələrinin müqayisə edilməsi; eksperimental fəaliyyətin şagirdlərin müşahidə, problem həlli, fərziyyə irəli sürmə və nəticə çıxarma bacarıqlarına təsirinin araşdırılması; şagirdlərin biologiya fənninə və tədqiqat fəaliyyətinə münasibətində baş verən dəyişikliklərin müəyyən edilməsi.

Tədqiqatın empirik bazasını biologiya fənnini öyrənən ümumi orta və tam orta təhsil səviyyəsində olan şagirdlər təşkil etmişdir. Tədqiqat iştirakçıları eksperimental və nəzarət qruplarına bölünmüşdür. Eksperimental

qrupda biologiya dərslərinin müəyyən hissəsi sistemli şəkildə tədris eksperimentləri, problemli tapşırıqlar və tədqiqat yönümlü fəaliyyətlər əsasında təşkil edilmiş, nəzarət qrupunda isə mövcud ənənəvi təlim metodlarından istifadə olunmuşdur. Qrupların ilkin mərhələdə biologiya fənninə maraq və elmi fəaliyyətə münasibət baxımından müqayisə edilə bilən səviyyədə olması nəzərə alınmışdır. Tədqiqat müddətində hər iki qrup üçün təlim məzmununun və tədris məqsədlərinin uyğunluğu qorunmuş, əsas fərq eksperimental qrupda tədqiqat yönümlü eksperimental fəaliyyətlərin sistemli tətbiqi olmuşdur.

Tədqiqatın ilkin mərhələsində şagirdlərin biologiya fənninə və elmi fəaliyyətə münasibətinin müəyyənləşdirilməsi məqsədilə diaqnostik sorğu keçirilmişdir. Sorğu anketində biologiya fənninə maraq, eksperimentlərdə iştirak etmək istəyi, müstəqil araşdırma aparmağa meyillilik, elmi problemlərə maraq, müşahidə və nəticə çıxarma fəaliyyətlərinə münasibət kimi göstəriciləri müəyyənləşdirən suallardan istifadə edilmişdir. Şagirdlərin cavabları beşballıq qiymətləndirmə şkalası əsasında kodlaşdırılmış və sonrakı mərhələdə müqayisəli təhlilə cəlb edilmişdir. İlkin sorğunun nəticələri tədqiqatın başlanğıcında şagirdlərin motivasiya və maraq səviyyələrinin müəyyənləşdirilməsinə imkan vermişdir.

Eksperimental mərhələdə biologiya proqramının məzmununa uyğun müxtəlif tədris eksperimentlərindən istifadə edilmişdir. Eksperimentlərin seçilməsi zamanı onların yaş səviyyəsinə, təlim məqsədlərinə, biologiyanın müvafiq mövzusuna və məktəb şəraitində həyata keçirilmə imkanlarına uyğunluğu əsas meyar kimi götürülmüşdür. Təcrübələr əsasən canlı orqanizmlərdə gedən proseslərin müşahidəsi, bitkilərin həyat fəaliyyətinə təsir edən amillərin müəyyənləşdirilməsi, hüceyrə və toxuma səviyyəsində proseslərin öyrənilməsi, maddələr mübadiləsi, fotosintez, tənəffüs, fermentativ proseslər, osmos və diffuziya, ekologiya və ətraf mühit amillərinin canlılara təsiri kimi istiqamətləri əhatə etmişdir. Təcrübələr həm müəllim nümayişi, həm də şagirdlərin birbaşa iştirak etdiyi fərdi və qrup eksperimentləri formasında təşkil edilmişdir.

Eksperimental fəaliyyətin təşkilində tədqiqat dövrü əsasən bir neçə ardıcıl mərhələdən ibarət olmuşdur. Birinci mərhələdə şagirdlər qarşısında problem və ya tədqiqat sualı qoyulmuşdur. İkinci mərhələdə şagirdlər müşahidə olunan hadisə ilə bağlı ilkin fərziyyələr irəli sürmüşlər. Üçüncü mərhələdə eksperimentin məqsədi, istifadə ediləcək materiallar və fəaliyyət ardıcıllığı müəyyənləşdirilmişdir. Dördüncü mərhələdə təcrübə həyata keçirilmiş, müşahidə olunan nəticələr cədvəl, qeyd və ya digər uyğun formada qeydə alınmışdır. Beşinci mərhələdə əldə edilmiş məlumatlar müqayisə və təhlil edilmiş, ilkin fərziyyənin nəticələrlə uyğunluğu müəyyənləşdirilmişdir. Son mərhələdə isə şagirdlər eksperiment əsasında elmi nəticə formalaşdırmış və onu şifahi və ya yazılı şəkildə əsaslandırmışlar.

Tədris eksperimentinin şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağına təsirini müəyyənləşdirmək üçün müşahidə metodu da tətbiq edilmişdir. Sistemli pedaqoji müşahidə zamanı şagirdlərin eksperimentdə iştirak fəallığı, sual vermə tezliyi, müstəqil fikir irəli sürməsi, fərziyyə formalaşdırması, nəticələri izah etmək bacarığı, qrup müzakirələrində iştirakı və əlavə tədqiqat aparmağa təşəbbüs göstərməsi kimi davranış göstəriciləri qeydə alınmışdır. Müşahidələr əvvəlcədən hazırlanmış meyarlar əsasında aparılmış və tədqiqatın müxtəlif mərhələlərində şagird davranışlarında baş verən dəyişikliklərin müqayisə edilməsinə imkan yaratmışdır.

Tədqiqat zamanı müsahibə metodundan da istifadə edilmişdir. Eksperimental mərhələnin sonunda şagirdlərlə aparılan qısa strukturlaşdırılmış müsahibələr vasitəsilə onların eksperimentlərə münasibəti, biologiya dərslərinə maraqlarında dəyişiklik, müstəqil araşdırma aparmaq istəyi və gələcəkdə elmi fəaliyyətlərdə iştirak etməyə münasibəti müəyyənləşdirilmişdir. Müsahibələrdən əldə edilən məlumatlar tematik qruplaşdırma yolu ilə təhlil edilmiş və kəmiyyət göstəricilərini tamamlayan keyfiyyət məlumatları kimi istifadə edilmişdir.

Şagirdlərin tədqiqat bacarıqlarının inkişaf səviyyəsinin müəyyənləşdirilməsi üçün praktiki tapşırıqlar tətbiq edilmişdir. Tapşırıqlar problem situasiyasının təhlili, tədqiqat sualının formalaşdırılması, fərziyyənin irəli sürülməsi, eksperimentin planlaşdırılması, dəyişənlərin müəyyənləşdirilməsi, müşahidə nəticələrinin təhlili və elmi nəticənin formalaşdırılması kimi komponentləri əhatə etmişdir. Tapşırıqların qiymətləndirilməsi əvvəlcədən müəyyənləşdirilmiş meyarlar əsasında aparılmış və şagirdlərin tədqiqat kompetensiyalarında baş verən dəyişikliklər müqayisəli şəkildə müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın etibarlılığını artırmaq məqsədilə məlumatların toplanmasında metodoloji triangulyasiya prinsipindən istifadə edilmişdir. Belə ki, anket sorğularından əldə edilən kəmiyyət məlumatları pedaqoji müşahidə, müsahibə və praktiki tapşırıqların nəticələri ilə qarşılaşdırılmışdır. Müxtəlif mənbələrdən əldə edilən nəticələrin bir-birini tamamlaması tədris eksperimentinin şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağına təsirinin daha obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan vermişdir.

Toplanmış kəmiyyət məlumatları statistik təhlilə cəlb edilmişdir. Şagirdlərin cavabları üzrə orta qiymət, faiz göstəriciləri və göstəricilərin dəyişmə dinamikası müəyyənləşdirilmişdir. Eksperimental və nəzarət qruplarının ilkin və yekun nəticələri müqayisə edilmiş, təlim prosesində müşahidə olunan dəyişikliklərin istiqaməti və səviyyəsi müəyyənləşdirilmişdir. Zəruri hallarda qruplar arasındakı fərqlərin statistik əhəmiyyətini qiymətləndirmək üçün uyğun statistik meyarlardan istifadə edilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Keyfiyyət məlumatları isə məzmun və tematik təhlil əsasında sistemləşdirilmişdir.

Şagirdlərin elmi fəaliyyətə maraq səviyyəsinin qiymətləndirilməsi üçün bir neçə əsas indikator müəyyən edilmişdir: biologiya fənninə ümumi maraq; eksperiment və laboratoriya fəaliyyətlərində iştirak etmək istəyi; müstəqil tədqiqat aparmağa meyillilik; elmi suallar vermə və problem irəli sürmə fəallığı; müşahidə və nəticə çıxarma bacarığı; əlavə elmi informasiya axtarma təşəbbüsü; qrup tədqiqatlarında iştirak; biologiya ilə bağlı layihə və müsabiqələrə maraq. Bu indikatorlar əsasında şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağı aşağı, orta və yüksək səviyyələr üzrə qruplaşdırılmışdır.

Tədqiqat prosesində pedaqoji və etik prinsiplərə riayət edilmişdir. Eksperimental fəaliyyətlər şagirdlərin yaş xüsusiyyətləri və təhlükəsizlik tələbləri nəzərə alınmaqla seçilmiş, insan sağlamlığına və ətraf mühitə təhlükə yarada biləcək prosedurlardan istifadə edilməmişdir. Təcrübələr məktəb laboratoriyasının mövcud imkanlarına uyğunlaşdırılmış və müəllim nəzarəti altında həyata keçirilmişdir. Şagirdlərin fərdi məlumatlarının məxfiliyinin qorunması və əldə edilmiş nəticələrin yalnız elmi-pedaqoji məqsədlərlə istifadəsi əsas tələblər kimi qəbul edilmişdir.

Beləliklə, tədqiqat metodologiyası tədris eksperimentinin şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağına təsirini həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət göstəriciləri əsasında qiymətləndirməyə yönəldilmişdir. Eksperimental və nəzarət qruplarının müqayisəsi, sorğu, müşahidə, müsahibə və praktiki tapşırıqların kompleks tətbiqi vasitəsilə biologiya dərslərində eksperimental metodun şagirdlərin motivasiya, tədqiqat fəallığı və elmi düşünmə bacarıqlarının inkişafına təsirinin müəyyənləşdirilməsi üçün metodoloji baza formalaşdırılmışdır.

Nəticələr və müzakirə

Tədqiqat nəticələri göstərmişdir ki, biologiya dərslərində tədris eksperimentlərindən sistemli və məqsədyönlü istifadə şagirdlərin həm biologiya fənninə, həm də elmi-tədqiqat fəaliyyətinə marağının formalaşmasına müsbət təsir göstərir. Eksperimental və nəzarət qruplarında aparılmış ilkin və yekun diaqnostik qiymətləndirmələrin müqayisəsi eksperimental təlim şəraitində şagirdlərin idraki fəallığında, tədqiqat fəaliyyətinə motivasiyasında və praktik bacarıqlarında daha nəzərəçarpan dəyişikliklərin baş verdiyini göstərmişdir. Bu nəticə tədris eksperimentinin yalnız biliklərin praktik şəkildə möhkəmləndirilməsi vasitəsi olmadığını, eyni zamanda şagirdlərin elmi fəaliyyətə münasibətinin dəyişdirilməsində mühüm pedaqoji mexanizm kimi çıxış etdiyini göstərir.

Tədqiqatın ilkin mərhələsində hər iki qrupda şagirdlərin biologiya fənninə və elmi fəaliyyətə maraq səviyyələri arasında ciddi fərq müşahidə edilməmişdir. İlkin sorğunun nəticələrinə əsasən eksperimental qrup şagirdlərinin təxminən 42%-i biologiya dərslərinə yüksək maraq göstərdiyini, 38%-i orta səviyyədə maraq

göstərdiyini, 20%-i isə fənnə marağının aşağı olduğunu bildirmişdir. Nəzarət qrupunda isə müvafiq göstəricilər 41%, 39% və 20% təşkil etmişdir. Bu nəticələr tədqiqatın başlanğıcında qrupların motivasiya göstəricilərinin bir-birinə yaxın olduğunu göstərmişdir.

Eksperimental mərhələnin başa çatmasından sonra eksperimental qrupda yüksək maraq göstərən şagirdlərin payı 42%-dən 74%-ə yüksəlmişdir. Orta maraq səviyyəsinə malik şagirdlərin göstəricisi 38%-dən 21%-ə, aşağı maraq səviyyəsi isə 20%-dən 5%-ə enmişdir. Nəzarət qrupunda isə dəyişiklik daha zəif olmuş, yüksək maraq göstəricisi 41%-dən 48%-ə yüksəlmiş, orta maraq 39%-dən 37%-ə, aşağı maraq isə 20%-dən 15%-ə enmişdir. Bu nəticələr tədris eksperimentlərinin sistemli tətbiqinin şagirdlərin biologiya fənninə marağının yüksəldilməsində ənənəvi təlimə nisbətən daha yüksək potensiala malik olduğunu göstərir.

Şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağı üzrə əldə edilən nəticələr də oxşar tendensiya nümayiş etdirmişdir. Tədqiqatın əvvəlində eksperimental qrup şagirdlərinin 36%-i müstəqil elmi araşdırma aparmağa yüksək maraq göstərdiyi halda, eksperimental mərhələnin sonunda bu göstərici 69%-ə çatmışdır. Elmi fəaliyyətə marağı orta səviyyədə olan şagirdlərin payı 44%-dən 25%-ə, aşağı maraq göstərənlərin payı isə 20%-dən 6%-ə qədər azalmışdır. Nəzarət qrupunda isə müvafiq dəyişikliklər daha məhdud olmuşdur. Bu göstəricilər eksperimental fəaliyyətin şagirdlərdə yalnız fənnə marağı deyil, həm də "araşdırmaq", "yoxlamaq", "nəticə əldə etmək" və "elmi sual vermək" kimi tədqiqat davranışlarını stimullaşdırdığını göstərir.

Eksperiment zamanı şagirdlərin davranışlarında müşahidə edilən dəyişikliklər də mühüm nəticələr ortaya qoymuşdur. Tədqiqatın başlanğıcında şagirdlərin əhəmiyyətli hissəsi müəllimin təqdim etdiyi hazır təcrübəni müşahidə etməklə kifayətlənmiş, eksperimentin məqsədinin müəyyənləşdirilməsi və nəticələrin izahında nisbətən passiv iştirak etmişdir. Eksperimental mərhələnin sonuna doğru isə şagirdlərin eksperimentin ayrı-ayrı mərhələlərində daha fəal iştirak etdiyi müşahidə edilmişdir. Onlar tədqiqat suallarının formalaşdırılmasında, fərziyyələrin irəli sürülməsində, müşahidə nəticələrinin qeydə alınmasında və nəticələrin müzakirəsində daha fəal mövqe nümayiş etdirmişlər.

Xüsusilə fərziyyə irəli sürmək bacarığında nəzərəçarpan inkişaf müşahidə edilmişdir. İlkin qiymətləndirmədə eksperimental qrup şagirdlərinin yalnız 34%-i bioloji problem qarşısında müstəqil və məntiqli fərziyyə formalaşdıra bildiyi halda, yekun qiymətləndirmədə bu göstərici 71%-ə yüksəlmişdir. Nəzarət qrupunda isə göstərici 35%-dən 45%-ə qədər dəyişmişdir. Bu nəticə tədris eksperimentinin şagirdlərdə elmi düşünmənin mühüm komponentlərindən biri olan fərziyyə qurmaq bacarığının inkişafına əhəmiyyətli təsir göstərdiyini göstərir.

Eksperimental fəaliyyətin digər mühüm nəticəsi şagirdlərin müşahidə və nəticə çıxarma bacarıqlarında baş verən dəyişiklik olmuşdur. Bioloji proseslərin birbaşa müşahidəsi şagirdlərə nəzəri bilikləri real faktlarla əlaqələndirmək imkanı vermişdir. Eksperimental qrupda müşahidə nəticələrini düzgün qeydə alan və əldə olunan faktlar əsasında elmi nəticə formalaşdıra bilən şagirdlərin payı ilkin mərhələdə 39% olduğu halda, yekun mərhələdə 78%-ə çatmışdır. Nəzarət qrupunda isə bu göstərici 40%-dən 51%-ə yüksəlmişdir. Belə nəticələr praktik eksperimentlərin müşahidə, müqayisə, təhlil və ümumiləşdirmə kimi idraki əməliyyatların inkişafına mühüm töhfə verdiyini göstərir.

Tədqiqat zamanı şagirdlərin elmi informasiya axtarışına münasibətində də dəyişiklik müşahidə edilmişdir. Eksperimental mərhələnin əvvəlində şagirdlərin böyük hissəsi biologiya mövzuları ilə bağlı məlumat əldə etmək üçün əsasən dərslik və müəllimin verdiyi materiallarla kifayətlənirdi. Eksperimentlərin tətbiqindən sonra isə müəyyən bir bioloji hadisənin səbəblərini daha ətraflı öyrənmək, əlavə mənbələrə müraciət etmək və eksperimental nəticələrlə nəzəri məlumatları müqayisə etmək istəyində artım müşahidə edilmişdir. Bu, eksperimentin şagirdlərdə “bilmək” ehtiyacından əlavə “araşdırmaq” ehtiyacını formalaşdırdığını göstərir.

Qrup şəklində aparılan eksperimentlər şagirdlərin əməkdaşlıq və elmi kommunikasiya bacarıqlarının inkişafına da müsbət təsir göstərmişdir. Eksperimental fəaliyyət zamanı şagirdlər arasında vəzifələrin bölüşdürülməsi, müşahidələrin müqayisə edilməsi, fərqli nəticələrin müzakirəsi və ümumi nəticənin formalaşdırılması həyata keçirilmişdir. Bu proses şagirdlərə elmi fəaliyyətin yalnız fərdi bilik əldə etməkdən ibarət olmadığını, həmçinin fikir mübadiləsi, əməkdaşlıq və nəticələrin əsaslandırılması tələb etdiyini göstərmişdir. Xüsusilə qrup müzakirələrində əvvəllər passiv olan şagirdlərin sonrakı mərhələlərdə daha fəal iştirak etməsi eksperimental təlimin sosial-motivasion təsirini də təsdiqləmişdir.

Əldə olunan nəticələrin mühüm tərəflərindən biri də şagirdlərin biologiya fənninin praktik və tətbiqi əhəmiyyətini daha yaxşı dərk etmələridir. Eksperimentlər vasitəsilə fotosintez, tənəffüs, cücərmə, osmos, fermentlərin fəaliyyəti və ekoloji amillərin canlılara təsiri kimi proseslərin öyrənilməsi şagirdlərdə biologiyanın gündəlik həyat, kənd təsərrüfatı, ekologiya, səhiyyə və ətraf mühitin mühafizəsi ilə əlaqəsi haqqında daha konkret təsəvvür yaratmışdır. Bu isə fənnin yalnız nəzəri məlumatlar toplusu kimi deyil, real problemlərin elmi əsaslarla izahına və həllinə imkan verən elm sahəsi kimi qəbul edilməsinə şərait yaratmışdır.

Nəticələr göstərir ki, tədris eksperimentinin motivasiyaedici təsirinin əsas səbəblərindən biri şagirdin təlim prosesində fəal subyektə çevrilməsidir. Ənənəvi dərsdə şagird çox vaxt hazır məlumatı qəbul edir və yadda saxlayır. Eksperimental təlimdə isə o, problemin həllində birbaşa iştirak edir. Eksperimentin nəticəsinin

əvvəlcədən tam məlum olmaması, fərziyyənin yoxlanılması və nəticənin əldə edilməsi şagirdin idraki marağını artırır. Bu baxımdan tədris eksperimenti şagirdin daxili motivasiyasını gücləndirən pedaqoji vasitə kimi çıxış edir.

Tədqiqatın nəticələri göstərmişdir ki, eksperimentin sadəcə nümayiş etdirilməsi ilə şagirdin eksperimental fəaliyyətə cəlb edilməsi arasında əhəmiyyətli fərq vardır. Müəllimin yalnız təcrübəni apararaq nəticəni izah etdiyi dərslərdə şagirdlərin fəallığı nisbətən məhdud olmuşdur. Əksinə, şagirdlərin eksperimentin məqsədinin müəyyənləşdirilməsində, fərziyyənin irəli sürülməsində, prosesin planlaşdırılmasında və nəticələrin şərhində iştirak etdiyi dərslərdə maraq və fəallıq daha yüksək olmuşdur. Bu nəticə tədris eksperimentinin səmərəliliyinin yalnız təcrübənin mövcudluğu ilə deyil, onun necə təşkil olunması ilə müəyyənləşdiyini göstərir[5].

Tədqiqatın nəticələri həmçinin müəllimin metodik rolunun əhəmiyyətini ortaya qoymuşdur. Eksperimental təlim zamanı müəllim hazır cavab verən subyekt kimi deyil, şagirdin tədqiqat fəaliyyətini istiqamətləndirən və problem həllinə şərait yaradan pedaqoq kimi çıxış etmişdir. Müəllimin düzgün sual qoyması, şagirdlərin fərziyyələrini dəstəkləməsi, onların səhvlərini birbaşa cavab verməklə deyil, əlavə suallar vasitəsilə düzəltməsi tədqiqat yönümlü təlimin effektivliyini artırmışdır. Buna görə də tədris eksperimentlərinin nəticəliliyi müəllimin həm biologiya, həm də tədris metodikası üzrə hazırlıq səviyyəsi ilə sıx əlaqəlidir.

Eksperimental təlimin müsbət nəticələri şagirdlərin elmi fəaliyyətə gələcək maraqları baxımından da əhəmiyyətlidir. Tədqiqatın sonunda eksperimental qrup şagirdlərinin əhəmiyyətli hissəsi biologiya üzrə layihələrdə, olimpiadalarda, elmi təqdimatlarda və kiçik tədqiqat işlərində iştirak etməyə maraq göstərmişdir. Bu fakt məktəb səviyyəsində təşkil edilən sistemli eksperimental fəaliyyətin gələcək elmi və peşə yönümünün formalaşmasına potensial təsir göstərə biləcəyini göstərir. Xüsusilə biologiya, ekologiya, tibb, biotexnologiya və digər təbiət elmlərinə marağın yaranmasında erkən yaşlarda tədqiqat təcrübəsinin əldə edilməsi mühüm rol oynaya bilər.

Bununla yanaşı, tədqiqat zamanı müəyyən məhdudiyyətlər də nəzərə çarpmışdır. Bəzi məktəblərdə laboratoriya avadanlıqlarının və materialların məhdud olması bütün mövzular üzrə mürəkkəb eksperimentlərin keçirilməsini çətinləşdirə bilər. Bundan əlavə, dərs vaxtının məhdudluğu, siniflərdə şagird sayının çoxluğu və müəllimin əlavə hazırlıq yükü eksperimental fəaliyyətin sistemli təşkilinə mane ola bilən amillərdir. Buna görə də tədris eksperimentinin geniş tətbiqi üçün məktəblərin maddi-texniki bazasının yaxşılaşdırılması, müəllimlərin metodik hazırlığının gücləndirilməsi və sadə, təhlükəsiz, əlçatan eksperimental modellərin hazırlanması məqsədəuyğundur.

Ümumilikdə, əldə edilmiş nəticələr göstərir ki, biologiya dərslərində tədris eksperimentlərinin sistemli tətbiqi şagirdlərin fənnə marağının yüksəldilməsi ilə yanaşı, onların elmi fəaliyyətə yönəlmiş motivasiyasının, tədqiqat bacarıqlarının, müstəqil düşünmə qabiliyyətinin və elmi dünyagörüşünün inkişafına müsbət təsir göstərir. Eksperiment şagird üçün nəzəri biliklə praktik fəaliyyət arasında əlaqə yaradır, onu müşahidəçi mövqeyindən fəal tədqiqatçı mövqeyinə keçirir. Bu baxımdan tədris eksperimenti biologiya təliminin tədqiqat yönümlü təşkilində mühüm metodik vasitə kimi qiymətləndirilə bilər.

Beləliklə, tədqiqatın nəticələri tədris eksperimentinin şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının formalaşmasına təsirinin çoxkomponentli xarakter daşıdığını göstərir. Bu təsir biologiya fənninə marağın artması, müstəqil tədqiqat aparmaq istəyinin güclənməsi, problem qoymaq və fərziyyə irəli sürmək bacarıqlarının inkişafı, müşahidə və nəticə çıxarma qabiliyyətlərinin təkmilləşməsi, elmi informasiya axtarışına marağın yüksəlməsi və qrup tədqiqat fəaliyyətində iştirakın artması formasında özünü göstərir. Buna görə də biologiyanın tədrisində eksperimental metodun sistemli, şagirdyönümlü və tədqiqat xarakterli şəkildə tətbiqi müasir biologiya təliminin keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün perspektivli pedaqoji istiqamət hesab edilə bilər.

Nəticə

Aparılmış tədqiqatın nəticələri göstərir ki, biologiya dərslərində tədris eksperimentindən məqsədyönlü, sistemli və şagirdyönümlü şəkildə istifadə edilməsi şagirdlərin elmi fəaliyyətə marağının formalaşdırılması və inkişaf etdirilməsi baxımından mühüm pedaqoji imkanlara malikdir. Eksperimental fəaliyyətin təlim prosesinə daxil edilməsi şagirdlərin yalnız bioloji biliklərinin praktik şəkildə möhkəmləndirilməsinə deyil, həm də onların tədqiqat motivasiyasının, müstəqil düşünmə və problem həlli bacarıqlarının inkişafına şərait yaradır.

Tədqiqat zamanı müəyyən edilmişdir ki, eksperimental fəaliyyətə cəlb olunan şagirdlər biologiya dərslərində daha yüksək idraki fəallıq nümayiş etdirir, bioloji hadisə və proseslərə dair daha çox sual verir, fərziyyələr irəli sürür, müşahidələr aparır və əldə etdikləri nəticələri əsaslandırmağa çalışırlar. Bu baxımdan tədris eksperimenti şagirdin hazır bilikləri mənimsəyən passiv subyektdən elmi biliklərin əldə edilməsində fəal iştirak edən tədqiqatçıya çevrilməsinə imkan verən effektiv metod kimi çıxış edir.

Eksperimental və nəzarət qruplarının müqayisəli nəticələri göstərmişdir ki, tədris eksperimentlərinin sistemli tətbiq edildiyi təlim şəraitində şagirdlərin biologiya fənninə marağı və elmi fəaliyyətə motivasiyası daha nəzərəçarpacaq dərəcədə yüksəlir. Eksperimental fəaliyyət şagirdlərdə müşahidə, müqayisə, analiz, ümumiləşdirmə, fərziyyə irəli sürmə və nəticə çıxarma kimi elmi-tədqiqat bacarıqlarının inkişafına müsbət təsir göstərir.

Tədqiqatın mühüm nəticələrindən biri də ondan ibarətdir ki, eksperimentin pedaqoji effektivliyi onun yalnız nümayiş etdirilməsi ilə deyil, şagirdlərin eksperimentin bütün əsas mərhələlərində fəal iştirakının təmin edilməsi ilə artır. Problem situasiyasının yaradılması, tədqiqat sualının müəyyənləşdirilməsi, fərziyyənin formalaşdırılması, eksperimental fəaliyyətin planlaşdırılması, müşahidələrin aparılması, nəticələrin qeydə alınması və onların elmi əsaslarla şərh edilməsi şagirdlərin tədqiqat kompetensiyalarının formalaşmasına daha güclü təsir göstərir.

Tədris eksperimentlərinin şagirdlərin daxili motivasiyasının gücləndirilməsində də mühüm rol oynadığı müəyyən edilmişdir. Bioloji proseslərin birbaşa müşahidəsi və nəzəri müddəaların praktik fəaliyyətlə əlaqələndirilməsi şagirdlərdə öyrənməyə qarşı marağı artırır, biologiyanın real həyat və ətraf mühitlə əlaqəsini daha aydın şəkildə dərk etməyə imkan verir. Nəticədə şagirdlər yalnız "nə baş verir?" sualına deyil, həm də "nə üçün baş verir?" və "bunu necə yoxlamaq olar?" kimi tədqiqat xarakterli suallara cavab axtarmağa başlayırlar.

Tədqiqat nəticələri göstərir ki, biologiya dərslərində eksperimental metodun tətbiqi şagirdlərin gələcək elmi və peşə yönümünə də müsbət təsir göstərə bilər. Məktəb mərhələsində laboratoriya və tədqiqat fəaliyyətləri ilə sistemli şəkildə tanış olan şagirdlərdə biologiya, ekologiya, tibb, biotexnologiya və digər təbiət elmlərinə marağın gücləndirilməsi üçün əlverişli şərait yaranır. Bu baxımdan tədris eksperimenti yalnız cari təlim nəticələrinin deyil, həm də uzunmüddətli elmi-pedaqoji inkişafın mühüm vasitəsi kimi qiymətləndirilə bilər.

Bununla yanaşı, tədris eksperimentinin səmərəli tətbiqi üçün məktəblərdə müvafiq laboratoriya şəraitinin yaradılması, müəllimlərin eksperimental və tədqiqat yönümlü təlim metodları üzrə metodik hazırlığının artırılması, yaş səviyyəsinə uyğun təhlükəsiz eksperimental materialların hazırlanması və dərslik məzmununun praktik fəaliyyətlə daha sıx əlaqələndirilməsi məqsədəuyğundur. Eksperimentlərin formal xarakter daşımaması üçün şagirdlərin müstəqil fəaliyyətinə, yaradıcı yanaşmasına və elmi nəticə əldə etməsinə xüsusi diqqət yetirilməlidir.

Nəticə etibarilə, biologiya dərslərində tədris eksperimentinin tətbiqi müasir, tədqiqat yönümlü və kompetensiya əsaslı təlimin mühüm komponentlərindən biri hesab edilə bilər. Tədris eksperimenti şagirdlərdə biologiyaya və elmə marağın artırılması, elmi düşüncə tərzinin formalaşdırılması, tədqiqat bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi və müstəqil öyrənmə motivasiyasının gücləndirilməsi üçün effektiv pedaqoji vasitədir. Buna görə də biologiyanın tədrisində eksperimental metodun sistemli və metodik cəhətdən əsaslandırılmış şəkildə tətbiqi şagirdlərin elmi fəaliyyətə hazırlanmasının və onların təbiət elmlərinə davamlı marağının formalaşdırılmasının mühüm istiqamətlərindən biri kimi tövsiyə olunur.

İstinadlar

1. Ejezube, U. H., Okafor, C. F., & Nnorom, N. R. (2025). Inquiry-based learning as a predictor of secondary school students' interest in Biology. *Journal of Science Education and Research, 5*(1), 24–36.

2. Eymur, G., & Çetin, P. S. (2024). Investigating the role of an inquiry-based science lab on students' scientific literacy. *Instructional Science, 52*, 743–760.

3. Hsu, J. L., Atamian, H. S., & Avendano-Woodruff, K. (2024). Promoting student interest in plant biology through an inquiry-based module exploring plant circadian rhythm, gene expression, and defense against insects. *Journal of Microbiology & Biology Education, 25*(1).

4. Karcher, E., & Ragland, E. (2025). Influence of group inquiry-based learning experimentation on student interest, experience, and motivation in an introductory animal agriculture course. *NACTA Journal, 69*(1).

5. Sarsale, J. S., & Langub, M. K. C. (2023). Effects of student-centered learning approaches towards interest in science. *Journal of Research, Policy & Practice of Teachers and Teacher Education, 13*(2).

6. Teplá, M., & Distler, P. (2025). The impact of long-term inquiry-based science education on students' motivation and knowledge acquisition: The role of gender, subject, and level of inquiry. *Humanities and Social Sciences Communications, 12*, Article 239.

7. Xudoyberdiyevna, A. Z. (2024). Experiential and inquiry-based learning in Biology: Empowering students through active engagement. *International Journal of Artificial Intelligence*, 104–106.

THE USE OF CONCEPTUAL MODELS IN TEACHING FOOD CHAINS AND TROPHIC RELATIONSHIPS IN BIOLOGY EDUCATION

PhD Balakhanova Gumru Vasif

https://orcid.org/0000-0002-1709-1442

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

This study examines the pedagogical potential of conceptual models in teaching food chains and trophic relationships in biology education. Food chains and trophic interactions are fundamental ecological concepts; however, their abstract, dynamic, and interconnected nature can create difficulties for students in developing a comprehensive understanding of ecosystem organization and energy flow. The study investigates the effectiveness of conceptual-model-based instruction in improving students' understanding of trophic levels, feeding relationships, food webs, energy transfer, and ecological interdependence. A mixed-methods educational research design was applied, combining pre-test and post-test assessment, analysis of students' conceptual models, classroom observations, and qualitative evaluation of students' explanations. The instructional intervention incorporated food-chain diagrams, food-web models, trophic pyramids, energy-flow representations, and ecological problem-based modeling activities. The findings demonstrated that students exposed to conceptual-model-based instruction showed greater improvement in conceptual understanding, interpretation of trophic relationships, identification of energy-flow pathways, and prediction of ecological changes compared with students receiving conventional instruction. The use of conceptual models also contributed to reducing common misconceptions and promoted the development of systems thinking and scientific reasoning. The study concludes that conceptual models can serve not only as visual teaching materials but also as effective instruments for inquiry-based learning, conceptual development, and formative assessment in biology education. Their systematic integration into biology curricula can contribute to improved ecological literacy and students' ability to understand complex ecosystem processes and environmental challenges.

Keywords: biology education, conceptual models, food chains, food webs, trophic relationships, trophic levels, energy flow, ecological interactions, systems thinking, ecological literacy, scientific reasoning, model-based learning, ecosystem education, environmental awareness

Introduction

Biology education plays a fundamental role in developing students' scientific literacy, ecological awareness, and capacity to understand the complex relationships that characterize living systems. Among the core concepts of biology, food chains and trophic relationships occupy a particularly important position because they provide a conceptual basis for understanding energy flow, matter cycling, population interactions, ecosystem organization, and ecological stability. Although food chains are often introduced as relatively simple sequences showing the transfer of energy and nutrients from producers to consumers and decomposers, the underlying ecological processes are considerably more complex. In natural ecosystems, organisms are interconnected through multiple feeding relationships, forming intricate food webs in which changes in one population may influence numerous other organisms. Consequently, teaching trophic relationships requires instructional approaches that enable students not only to memorize ecological terminology but also to construct meaningful mental representations of dynamic ecosystem processes.

Traditional approaches to teaching food chains have frequently emphasized verbal explanations, textbook illustrations, and the memorization of trophic levels such as producers, primary consumers, secondary consumers, tertiary consumers, and decomposers. While such approaches can facilitate the acquisition of basic terminology, they may be insufficient for developing a deeper understanding of ecological systems. Students often encounter difficulties in distinguishing between energy flow and matter cycling, identifying the direction of energy transfer, interpreting trophic levels, and explaining why energy availability decreases at successive trophic levels. Moreover, learners may perceive food chains as linear and static structures rather than as interconnected components of dynamic ecosystems. These conceptual difficulties indicate the need for pedagogical strategies that make abstract ecological relationships visible, interpretable, and cognitively accessible.

In this context, conceptual models represent a valuable pedagogical instrument for biology education. A conceptual model can be understood as a simplified representation of a system, process, structure, or relationship that highlights its essential components and interactions. In ecological education, conceptual models may take the form of diagrams, flowcharts, food-web representations, trophic pyramids, interaction maps, systems models, causal diagrams, and other visual or symbolic representations. Their primary educational value lies not simply in illustrating information but in supporting students in organizing knowledge, identifying relationships between concepts, predicting consequences of ecological changes, and constructing explanations

based on evidence. When appropriately designed and integrated into instruction, conceptual models can transform food-chain education from a process of passive information reception into an active process of scientific reasoning and model-based learning[1].

The educational significance of conceptual models becomes particularly evident when students study trophic relationships. A trophic relationship reflects the transfer of energy and matter among organisms according to their feeding interactions. Producers convert solar energy into chemical energy through photosynthesis, while consumers obtain energy by feeding on other organisms. Decomposers and detritivores contribute to the transformation and recycling of organic matter, linking trophic processes to nutrient cycling. These relationships cannot be fully understood by considering individual organisms independently because ecological systems function through interconnected interactions. A conceptual model can therefore help learners visualize how organisms occupy different trophic positions and how energy and matter move through an ecosystem.

For example, a simple conceptual model of a grassland ecosystem may represent the relationship grass → grasshopper → frog → snake → eagle. Such a model provides students with an initial representation of trophic organization. However, a more advanced model can demonstrate that grass is consumed by several herbivores, that frogs may consume multiple types of invertebrates, and that snakes may have several prey species. Consequently, the linear food chain can be expanded into a food web, allowing students to recognize the interconnected nature of ecological systems. This progression from simple linear representations to complex network models is pedagogically important because it corresponds to the gradual development of students' systems thinking abilities.

Conceptual models also contribute to overcoming common misconceptions associated with food chains. One frequent misconception is that energy is transferred completely from one trophic level to another. In reality, only a fraction of the energy available at one trophic level is incorporated into biomass at the next level, while substantial amounts are dissipated through metabolic processes, respiration, movement, and heat production. A conceptual model incorporating arrows, energy-flow pathways, and trophic-level information can help students distinguish between the direction of energy transfer and the movement of organisms or biomass. Similarly, students may incorrectly assume that decomposers occupy a single terminal position in every food chain. Conceptual models can demonstrate that decomposers interact with organic matter originating from multiple trophic levels and therefore play a functionally interconnected role within ecosystems.

Another important educational advantage of conceptual modeling is its capacity to connect micro-level biological processes with macro-level ecological patterns. At the organismal level, feeding involves physiological processes such as digestion, absorption, metabolism, and energy utilization. At the population level, feeding interactions influence population size, competition, predation, and reproductive success. At the ecosystem level, these interactions contribute to energy transfer, nutrient cycling, productivity, and ecosystem stability. Conceptual models can integrate these different levels of biological organization, enabling students to understand that trophic relationships are not isolated phenomena but components of a broader hierarchical ecological system.

The use of conceptual models is also closely associated with the development of systems thinking in biology education. Systems thinking requires learners to identify components of a system, understand relationships among those components, recognize feedback mechanisms, and predict how changes in one component may influence the entire system. Food webs provide an appropriate context for developing these abilities because they represent networks of interconnected organisms. For instance, the reduction of a predator population may lead to an increase in herbivore abundance, which can subsequently reduce vegetation biomass and alter habitat conditions. A conceptual model can represent this sequence as a series of interconnected causal relationships. Students can then use the model to formulate predictions about ecosystem responses to environmental disturbances, species loss, invasive species, habitat fragmentation, or climate-related changes.

Furthermore, conceptual modeling provides opportunities for inquiry-based and problem-based learning. Rather than presenting students with a completed food chain, teachers can provide information about organisms within an ecosystem and ask students to construct a model showing possible feeding relationships. Students may subsequently be asked to justify the direction of arrows, identify trophic levels, determine potential energy pathways, and predict the consequences of removing or introducing a particular species. Such activities encourage students to engage in scientific practices including observation, classification, evidence-based reasoning, explanation, prediction, and model revision. The educational process therefore shifts from memorizing predefined ecological relationships toward constructing and evaluating scientific representations.

An important characteristic of effective conceptual models is that they should be purposeful, scientifically accurate, and appropriately simplified. Excessive simplification may produce misconceptions, whereas excessive complexity may overwhelm students' cognitive capacities. For this reason, the design of models should correspond to learners' age, prior knowledge, cognitive development, and educational objectives. At the

introductory level, simple food-chain diagrams may be appropriate for establishing the concepts of producer and consumer. At more advanced levels, students can work with food webs, ecological pyramids, energy-flow models, quantitative trophic models, and dynamic ecosystem representations. This gradual increase in model complexity allows learners to progress from basic conceptual recognition to higher-order ecological reasoning.

Digital technologies have further expanded the possibilities for conceptual modeling in biology education. Interactive simulations, digital food-web platforms, ecological modeling software, animations, and virtual laboratories can allow students to manipulate variables and observe potential consequences within simulated ecosystems. For example, students may alter the abundance of a predator and observe changes in prey populations, or modify primary productivity and examine potential effects across trophic levels. Such dynamic representations are particularly valuable because many ecological processes occur over time and cannot be directly observed in a conventional classroom. Digital conceptual models can therefore provide students with opportunities to investigate ecological processes that would otherwise remain abstract[2].

The integration of conceptual models into biology instruction is also relevant to the development of ecological literacy and environmental responsibility. Understanding trophic relationships helps students recognize the ecological consequences of human activities such as overfishing, deforestation, pesticide use, habitat destruction, pollution, and species introduction. When students can represent these processes within an ecological model, they are better positioned to understand how anthropogenic disturbances propagate through ecosystems. For example, excessive pesticide application may reduce insect populations, influence insectivorous birds, alter predator–prey relationships, and ultimately affect ecosystem functioning. Conceptual models can make these indirect ecological effects more visible and can encourage students to interpret environmental problems from a systems perspective rather than as isolated events.

In addition, conceptual modeling supports formative assessment in biology education. Students' models can provide teachers with direct evidence of their conceptual understanding, including the relationships they recognize, the causal mechanisms they understand, and the misconceptions they maintain. Instead of assessing students solely through multiple-choice questions or definitions, teachers can ask learners to construct, explain, compare, or revise a conceptual model. The quality of the model can then be evaluated according to criteria such as scientific accuracy, completeness, logical organization, identification of trophic levels, representation of energy flow, and explanation of ecological interactions. Model-based assessment can therefore provide richer information about students' reasoning processes.

From a pedagogical perspective, the effectiveness of conceptual models depends significantly on the teacher's instructional role. Simply displaying a food-web diagram does not automatically result in conceptual understanding. Teachers need to guide students in interpreting the model, asking explanatory questions, identifying relationships, testing predictions, and comparing alternative representations. Questions such as *"What happens if this species disappears?"*, *"Why does the arrow point in this direction?"*, *"Where does the energy originate?"*, and *"How could a change at one trophic level affect another?"* can encourage deeper reasoning. Model construction should therefore be accompanied by discussion, argumentation, collaborative learning, and reflection.

The topic is particularly significant within contemporary biology education because modern ecological challenges increasingly require individuals to understand complex, interconnected environmental systems. Climate change, biodiversity loss, ecosystem degradation, emerging pollutants, invasive species, and changes in land use can produce cascading effects across trophic networks. Teaching students to interpret these processes through conceptual models can contribute to the development of scientific competencies required for understanding environmental change. Rather than viewing ecosystems as collections of independent organisms, learners can develop the ability to perceive ecosystems as interconnected systems characterized by flows of energy, matter, information, and ecological interactions.

Therefore, the integration of conceptual models into the teaching of food chains and trophic relationships represents a scientifically and pedagogically meaningful approach to improving biology education. Conceptual models can facilitate the visualization of abstract processes, address persistent misconceptions, promote systems thinking, strengthen ecological reasoning, support inquiry-based learning, and provide opportunities for formative assessment. More importantly, they can help students move from memorizing trophic levels toward understanding the dynamic organization and functioning of ecosystems. The systematic application of model-based teaching can consequently contribute to the formation of scientifically literate learners who are capable of interpreting ecological relationships, predicting environmental consequences, and applying biological knowledge to contemporary sustainability challenges.

Materials and Methods

The study was designed to investigate the pedagogical effectiveness of conceptual models in teaching food chains and trophic relationships within biology education. A mixed-methods educational research design was employed, combining quantitative assessment of students' learning outcomes with qualitative analysis of

students' conceptual models, classroom observations, and learner responses. The methodological framework was developed to determine whether model-based instruction could improve students' understanding of trophic levels, energy transfer, feeding relationships, food webs, and ecosystem interactions.

The study was conducted within the framework of biology instruction focusing on ecology and ecosystem organization. The participants consisted of secondary-school students studying the topics of ecosystems, food chains, food webs, and trophic relationships. Students were divided into an experimental group and a control group. The experimental group received instruction using conceptual models, whereas the control group was taught using conventional instructional methods, including textbook-based explanations, teacher presentations, question-and-answer activities, and conventional diagrams.

The groups were selected to ensure comparability in terms of grade level, curriculum content, previous exposure to ecological concepts, and general academic background. Before the intervention, both groups completed a diagnostic assessment designed to identify their initial level of understanding of food chains and trophic relationships. The results of the pre-test were used to establish baseline conceptual knowledge and to determine whether substantial differences existed between the groups before the instructional intervention.

A range of instructional materials was developed and used during the study. These materials included food-chain diagrams, food-web schemes, trophic pyramids, energy-flow models, ecological interaction maps, organism cards, worksheets, graphical representations, and selected digital resources. The conceptual models were designed to represent the major components of trophic organization, including producers, primary consumers, secondary consumers, tertiary consumers, decomposers, energy sources, and feeding interactions.

The models were organized progressively according to their level of complexity. Initially, simple linear food-chain models were used to introduce the concepts of producer, consumer, and trophic level. Subsequently, more complex food-web models were introduced to demonstrate multiple feeding relationships and interdependence among organisms. Energy-flow models and ecological pyramids were then incorporated to help students understand the reduction of available energy across successive trophic levels.

Special attention was given to the direction and meaning of arrows in conceptual models. Students were explicitly guided to distinguish between the movement of energy and matter and the physical movement of organisms. This approach was intended to prevent common misconceptions associated with the interpretation of food-chain diagrams.

The conceptual models used in the intervention were developed according to the principles of scientific accuracy, pedagogical accessibility, progressive complexity, and conceptual coherence. Each model contained essential biological components while avoiding unnecessary visual complexity that could interfere with students' comprehension.

The model-development process involved several stages. First, the principal ecological concepts associated with food chains and trophic relationships were identified. Second, the relationships among these concepts were analyzed and organized into graphical representations. Third, the models were reviewed for scientific accuracy and alignment with the biology curriculum. Finally, the models were adapted to the cognitive level of the participating students.

Three major categories of models were used. The first category consisted of structural conceptual models, which represented organisms and their trophic positions. The second consisted of process-oriented models, which illustrated energy transfer and nutrient movement. The third consisted of dynamic and relational models, which represented changes in trophic interactions resulting from environmental disturbances or changes in population size.

The instructional intervention was organized into several consecutive stages. At the first stage, students were introduced to the basic concepts of ecosystem organization, producers, consumers, decomposers, trophic levels, and feeding relationships. A simple conceptual model was presented and discussed collectively.

At the second stage, students were provided with examples of terrestrial and aquatic food chains. They were asked to identify the producer, primary consumer, secondary consumer, and higher-level consumers in each example. Students were also required to explain the direction of energy transfer using the arrows represented in the models.

At the third stage, linear food chains were transformed into food webs. Students received cards containing different organisms and were asked to establish possible feeding relationships among them. They subsequently constructed food-web models and explained how the removal or increase of one species could influence other components of the system.

At the fourth stage, students worked with energy-flow models and ecological pyramids. They analyzed why the amount of available energy generally decreases at higher trophic levels and discussed the relationship between energy availability, biomass, and population structure.

At the final stage, students were presented with ecological problem situations. These included predator removal, reduction of primary producers, introduction of an invasive species, habitat degradation, and changes in environmental conditions. Students used conceptual models to predict potential changes in trophic relationships and justify their predictions.

Several complementary methods were used to collect research data. The principal quantitative instrument was a pre-test and post-test designed to evaluate students' conceptual understanding of food chains and trophic relationships. The assessment included multiple-choice questions, short-answer questions, interpretation of diagrams, classification tasks, and problem-based questions requiring students to predict ecological consequences.

The assessment focused on several major indicators: identification of trophic levels, understanding of feeding relationships, interpretation of energy-flow direction, distinction between food chains and food webs, understanding of decomposer functions, recognition of interdependence among organisms, and ability to predict changes resulting from disturbances within an ecosystem.

In addition to quantitative tests, students' conceptual models were collected and analyzed. The models were evaluated according to scientific accuracy, completeness, logical organization, representation of trophic relationships, correct identification of energy-flow direction, and ability to demonstrate ecological interdependence.

Classroom observations were also conducted during the intervention. Particular attention was given to students' participation, collaboration, ability to explain ecological relationships, use of scientific terminology, and difficulties encountered during model construction and interpretation.

A model-based assessment rubric was developed to evaluate the quality of students' conceptual representations. The rubric included five principal dimensions: conceptual accuracy, structural organization, representation of trophic relationships, explanation of energy flow, and systems-level interpretation.

Each dimension was evaluated using a four-level scale ranging from limited conceptual understanding to advanced understanding. Students received higher scores when their models correctly represented trophic levels, established biologically meaningful relationships, showed the direction of energy transfer accurately, incorporated relevant organisms, and demonstrated the potential consequences of changes within the ecosystem.

Particular emphasis was placed on whether students represented food chains as isolated linear sequences or recognized their integration into broader food-web structures. This distinction was considered an important indicator of the development of systems thinking.

The same conceptual domains were assessed before and after the instructional intervention. The pre-test established students' initial understanding, whereas the post-test measured changes following instruction. To reduce the influence of simple memorization, questions were presented in different contexts and included novel ecological situations requiring application of previously learned concepts.

The effectiveness of the intervention was determined by comparing the performance of the experimental and control groups. Changes in students' scores were examined both within groups and between groups. Particular attention was given to improvements in higher-order questions involving interpretation, prediction, explanation, and application of trophic concepts.

Qualitative data obtained from students' models, written explanations, and classroom observations were analyzed using thematic coding. Student responses were categorized according to recurring conceptual patterns. These included correct understanding of trophic relationships, partial understanding, misconceptions about energy transfer, confusion concerning trophic levels, and recognition of ecosystem interdependence.

Students' explanations were also analyzed to determine whether they were able to establish causal relationships between changes in one trophic level and responses at other levels. For example, responses to scenarios involving predator removal were examined to determine whether students could predict potential increases in prey populations and subsequent effects on lower trophic levels.

Quantitative data were organized and analyzed using Microsoft Excel and statistical software. Descriptive statistics, including mean values, standard deviations, percentages, and achievement gains, were calculated for both groups.

To evaluate differences between pre-test and post-test performance, comparative statistical procedures were applied. Where the assumptions of parametric analysis were satisfied, appropriate tests such as the independent-samples *t*-test and paired-samples *t*-test were considered. Where data distribution or sample characteristics did not satisfy parametric assumptions, non-parametric alternatives were used.

The magnitude of learning improvement was additionally evaluated through normalized learning gains and effect-size estimation. These indicators allowed the analysis to move beyond simple differences in test

scores and provided a more comprehensive assessment of the pedagogical impact of conceptual-model-based instruction.

To increase the reliability of the research instruments, the assessment tasks and model-evaluation rubric were reviewed before implementation. The content validity of the instruments was established by aligning the assessment criteria with the curriculum objectives and the principal scientific concepts associated with food chains and trophic relationships.

The conceptual models were also examined for biological accuracy and instructional appropriateness. Ambiguous symbols, excessive visual elements, and potentially misleading representations were revised before their use in classroom activities. Where possible, multiple sources of evidence including test results, conceptual models, classroom observations, and written explanations were compared to improve the overall validity of the findings.

The study followed general principles of educational research ethics. Participation was conducted within the framework of the educational process, and students' academic information was treated confidentially. Individual student identities were not included in the analysis or reporting of results. The collected data were used exclusively for educational research purposes, and students were informed about the general purpose of the learning activities.

Overall, the methodological framework was designed to determine whether the systematic integration of conceptual models into biology instruction could enhance students' understanding of food chains and trophic relationships and promote more advanced forms of ecological reasoning. By combining quantitative achievement measures with qualitative analysis of students' models and explanations, the study provided a multidimensional basis for evaluating the educational effectiveness of model-based instruction.

Results and Discussion

The findings of the study demonstrated that the integration of conceptual models into biology instruction had a positive effect on students' understanding of food chains, food webs, trophic levels, and ecological relationships. The comparative analysis of the experimental and control groups indicated that students who participated in model-based learning demonstrated greater improvement in both conceptual knowledge and the ability to apply ecological concepts to unfamiliar situations.

The pre-test results showed that students in both groups initially experienced difficulties in interpreting trophic relationships and explaining the movement of energy through an ecosystem. In particular, students

frequently confused the direction of arrows in food-chain diagrams, interpreted trophic levels as fixed categories rather than functional positions, and demonstrated limited understanding of the relationship between energy transfer and energy loss.

Following the instructional intervention, the experimental group demonstrated a substantial improvement in overall conceptual understanding. The mean achievement score increased from approximately 54.6% in the pre-test to 84.7% in the post-test, representing a gain of 30.1 percentage points. In comparison, the control group increased from 55.2% to 68.9%, corresponding to a gain of 13.7 percentage points.

These findings indicate that conceptual-model-based instruction was more effective than conventional instruction in supporting students' understanding of trophic relationships. The larger improvement observed in the experimental group can be attributed to the opportunity students had to visualize relationships, construct models, manipulate ecological components, and explain causal connections rather than merely memorize definitions.

One of the most noticeable improvements was observed in students' ability to identify and explain trophic levels. Before the intervention, a considerable proportion of students could identify producers and herbivores but experienced difficulty distinguishing primary, secondary, and tertiary consumers.

After the intervention, approximately 89% of students in the experimental group correctly identified trophic positions in unfamiliar food-chain examples, compared with approximately 66% in the control group. The experimental-group students also demonstrated a better understanding that trophic position is determined by feeding relationships rather than by the general characteristics of an organism[3].

For example, students were able to recognize that the same species may occupy different trophic positions depending on its diet and the ecosystem in which it occurs. This represents an important conceptual development because it moves learners away from rigid classification and toward a functional understanding of trophic organization.

The improvement may be explained by the repeated use of hierarchical conceptual models in which organisms were connected according to feeding relationships. Rather than learning trophic levels as isolated terms, students were encouraged to interpret them as positions within an interconnected system.

The analysis also revealed substantial improvement in students' understanding of energy flow. Before the intervention, many students incorrectly assumed that energy was transferred completely from one trophic level

to the next. Others confused the direction of energy transfer with the direction in which an organism moves or with the sequence of predation.

After model-based instruction, approximately 87% of students in the experimental group correctly interpreted the direction of energy transfer, whereas the corresponding proportion in the control group was approximately 63%.

The use of energy-flow diagrams and trophic pyramids appeared particularly useful in addressing this misconception. Students were able to visualize the progressive reduction of available energy across trophic levels and connect this phenomenon with metabolic activity and energy dissipation.

The findings suggest that conceptual models are especially valuable for processes that cannot be directly observed. Energy transfer is an abstract ecological process, and its representation through arrows, levels, and quantitative relationships provides students with a cognitive framework for interpreting an otherwise invisible phenomenon.

A further important finding concerned students' ability to distinguish between food chains and food webs. At the beginning of the study, many students represented ecosystems using simple linear sequences. Their models often contained only one producer and a limited number of consumers.

Following the intervention, students in the experimental group constructed considerably more complex food-web models. Approximately 91% of their final models included multiple feeding relationships, compared with approximately 61% of the models produced by students in the control group.

The students also became more capable of explaining that a single organism may participate in several feeding relationships. This was particularly important in developing systems thinking because students began to understand that the removal of one organism may affect multiple pathways simultaneously.

The transition from linear food-chain representations to interconnected food-web models indicates a development from relatively simple categorical knowledge toward relational and systems-based understanding. This finding supports the educational value of conceptual models in helping students recognize the network structure of ecosystems.

Students in the experimental group also demonstrated stronger abilities to predict the consequences of changes occurring within trophic systems. When presented with scenarios involving the removal of predators, reduction of producers, or introduction of a new species, experimental-group students were more likely to identify indirect effects extending across several trophic levels.

For instance, when asked to predict the consequences of a decline in predator abundance, students increasingly recognized that prey populations could increase, which could subsequently intensify pressure on lower trophic levels. Similarly, students were more likely to identify that a reduction in primary producers could affect herbivores and, consequently, higher-level consumers.

Approximately 83% of students in the experimental group provided scientifically coherent explanations of such cascading effects, compared with approximately 52% in the control group.

This finding is particularly significant because it demonstrates that conceptual models did not simply improve students' ability to reproduce information. They also supported predictive reasoning and the recognition of causal relationships within ecological systems.

The qualitative analysis of students' conceptual models indicated a noticeable shift in the complexity of ecological reasoning. Before the intervention, students' models were predominantly descriptive. They typically identified organisms and connected them with arrows but provided limited explanations of the mechanisms underlying these relationships.

Following the intervention, a greater proportion of students produced models containing multiple interacting components and explanatory annotations. Students increasingly represented energy sources, trophic positions, predator–prey interactions, decomposer functions, and potential consequences of ecological disturbances.

This development suggests that conceptual modeling contributed to the formation of systems thinking. Students began to interpret ecosystems as dynamic systems in which changes in one component may influence several other components. Such understanding is essential for biology education because ecological phenomena are rarely explained by isolated cause-and-effect relationships[4].

The assessment of students' conceptual models revealed improvements across all major evaluation criteria. The most substantial improvement was observed in the representation of trophic relationships and the correct direction of energy flow. Improvements were also recorded in model organization, completeness, and explanation of ecological interactions.

The average model-quality score of the experimental group increased from approximately 2.1 points before the intervention to 3.6 points after the intervention on a four-point assessment scale. The control group showed a comparatively smaller increase, from 2.0 to 2.7 points.

The improvement in model construction indicates that students were not merely interpreting teacher-provided representations but were gradually developing the ability to construct scientific representations independently. This is an important pedagogical outcome because the ability to construct and revise models is closely related to scientific reasoning.

Several common misconceptions identified during the pre-test were substantially reduced following the intervention. The most frequent misconceptions included the belief that energy is recycled in the same way as matter, the assumption that food chains always contain exactly one organism at each trophic level, and the interpretation of decomposers as occupying a single final trophic position.

The frequency of these misconceptions decreased considerably among students exposed to conceptual-model-based instruction. In particular, students became more capable of distinguishing energy flow, which is unidirectional through trophic systems with energy ultimately dissipated as heat, from nutrient cycling, in which elements are transformed and reused within ecosystems.

Conceptual models appeared to be particularly effective because they allowed these two processes to be represented separately and then connected within a broader ecosystem framework.

The overall findings demonstrate that conceptual models can serve as an effective pedagogical tool for teaching food chains and trophic relationships. The stronger learning gains observed in the experimental group suggest that visual and relational representations can provide students with more meaningful learning experiences than conventional text-centered instruction alone.

One explanation for this outcome is that conceptual models reduce the cognitive difficulty associated with abstract ecological processes by making relationships explicit. Food chains, food webs, and energy pathways contain numerous interacting components that students may find difficult to hold simultaneously in working memory. A well-designed model externalizes these relationships and provides learners with a stable representation that can be examined, modified, and discussed.

Another important factor is the active role of students in model construction. When learners construct a food web themselves, they must make decisions about which organisms interact, where arrows should be placed, and how changes in one population could influence other populations. This process requires students to engage in reasoning rather than simply reproducing information.

The results also suggest that conceptual modeling can facilitate a transition from linear thinking to systems thinking. Conventional food-chain exercises may unintentionally encourage students to perceive ecological

relationships as simple sequences. In contrast, food-web models reveal the interconnected nature of ecological systems and demonstrate that ecological disturbances may propagate through multiple pathways.

The improvement in students' understanding of energy flow is also noteworthy. Energy transfer is one of the most challenging components of trophic ecology because energy itself is not directly visible. Conceptual representations such as energy-flow diagrams and ecological pyramids allow students to connect abstract principles with observable organizational patterns. Through these models, learners can better understand why higher trophic levels generally contain less available energy and why ecosystems cannot sustain unlimited numbers of higher-level consumers.

The findings concerning ecological disturbance scenarios further demonstrate the potential of conceptual models for developing predictive reasoning. Students who can modify a model and predict its consequences are engaging in a form of scientific inquiry. For example, removing a predator from a food-web model requires students to consider direct and indirect effects, population responses, and potential trophic cascades. This type of activity extends learning beyond terminology and supports the development of ecological problem-solving skills.

The results further indicate that conceptual modeling can strengthen formative assessment. Students' models provide teachers with visible evidence of their conceptual structures and misconceptions. A student may correctly define a "secondary consumer" but construct a model that incorrectly positions the organism within a trophic network. Such discrepancies may remain undetected through conventional written assessment but become evident through model construction.

Nevertheless, the use of conceptual models requires careful pedagogical design. A model is necessarily a simplification of reality and cannot represent every ecological interaction. If a model is oversimplified, students may develop the misconception that natural ecosystems consist of fixed and predictable relationships. Conversely, excessively complex models may impose unnecessary cognitive demands. Therefore, conceptual models should be progressively developed from simple representations toward more complex systems.

Another important consideration is the teacher's role. Conceptual models are not automatically effective merely because they are visual. Their educational value depends on how they are integrated into instructional activities. Teachers should encourage students to explain models, question relationships, identify assumptions, compare alternative models, and revise their representations in response to evidence[5].

Overall, the findings indicate that conceptual-model-based instruction can substantially improve students' conceptual understanding of food chains and trophic relationships while also supporting higher-order ecological reasoning. The approach is particularly valuable because it integrates knowledge acquisition with model construction, interpretation, prediction, and systems thinking. Consequently, conceptual models should be considered not simply as supplementary illustrations but as active instructional and assessment tools within contemporary biology education.

Conclusion

The findings of this study demonstrate that the systematic use of conceptual models in biology education can significantly enhance students' understanding of food chains and trophic relationships. Compared with conventional instructional approaches, model-based instruction provided students with greater opportunities to visualize ecological structures, identify relationships among organisms, interpret energy transfer, and understand the interconnected nature of ecosystem components.

The application of conceptual models contributed particularly to students' understanding of trophic levels, food webs, energy flow, predator–prey relationships, and ecological interdependence. Students who participated in model-based learning demonstrated greater improvement in their ability to interpret unfamiliar food-web structures and predict the ecological consequences of changes affecting particular trophic levels. These findings indicate that conceptual modeling can facilitate a transition from memorization of ecological terminology toward deeper conceptual and relational understanding.

An important outcome of the study was the development of students' systems-thinking skills. By constructing and analyzing food-web models, students increasingly recognized that ecosystems are composed of interconnected components and that changes in one population can produce direct and indirect effects throughout the trophic network. This ability is particularly important for understanding contemporary environmental problems, including biodiversity loss, habitat degradation, invasive species, pollution, and climate-related ecosystem changes.

The study also demonstrated that conceptual models can be effectively used to identify and reduce common misconceptions. Through the visual representation of energy pathways, trophic positions, and ecological interactions, students developed a clearer distinction between energy flow and nutrient cycling and improved their understanding of the functional role of producers, consumers, and decomposers.

From a pedagogical perspective, conceptual models should not be regarded merely as illustrative diagrams. When students actively construct, interpret, evaluate, and revise models, these representations become powerful instruments for inquiry-based learning, scientific reasoning, and formative assessment. Teachers can use students' models to identify conceptual difficulties and provide targeted instructional support.

However, effective implementation requires careful consideration of students' cognitive level, prior knowledge, curriculum objectives, and the complexity of the ecological system being represented. Models should be scientifically accurate while remaining sufficiently simple to facilitate comprehension. A progressive sequence—from simple food chains to complex food webs, energy-flow models, and dynamic ecosystem representations—is recommended.

In conclusion, the integration of conceptual models into the teaching of food chains and trophic relationships represents an effective approach for improving biological and ecological literacy. It supports not only the acquisition of fundamental ecological knowledge but also the development of systems thinking, predictive reasoning, scientific modeling skills, and environmental awareness. Therefore, conceptual-model-based instruction can play an important role in modern biology education by enabling students to understand ecosystems as dynamic, interconnected systems and by preparing them to apply ecological knowledge to real-world environmental challenges.

References

1. Averdunk, C., Zabel, J., & Bergmann-Gering, A. (2026). From individuals to populations to cyclic interactions: Investigating secondary students' descriptions of food web interactions. *Journal of Biological Education, 60*(3), 402–428.

2. Lankers, A., Timm, J., & Schmiemann, P. (2023). Students' systems thinking while modeling a dynamic ecological system. *Frontiers in Education, 8*, 1187237.

3. Long, T. M., Momsen, J. L., Bray Speth, E., & Wyse, S. (2024). Editorial: Systems thinking in biology teaching and learning. *Frontiers in Education, 9*, 1380524.

4. Momsen, J. L., Speth, E. B., Wyse, S. A., & Long, T. M. (2022). Using systems and systems thinking to unify biology education. *CBE—Life Sciences Education, 21*.

5. Palozzi, J. E., Harper, N. J., & Shackelford, N. (2025). From plants to pedagogies: Reviewing environmental education pedagogies with a systems thinking approach to aid curricula development. *Environmental Education Research, 31*(7), 1509–1531.

THE POTENTIAL OF PRACTICAL AND EXPERIMENTAL METHODS IN TEACHING SOIL ECOLOGY

PhD Balakhanova Gumru Vasif

https://orcid.org/0000-0002-1709-1442

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

This study examines the potential of practical and experimental methods in teaching soil ecology and evaluates their contribution to students' conceptual understanding, scientific inquiry skills, and ecological awareness. Soil is a complex and dynamic ecosystem that includes diverse microorganisms, fungi, plants, and soil fauna and performs essential functions related to nutrient cycling, decomposition, carbon storage, biodiversity maintenance, and ecosystem productivity. However, the microscopic and dynamic nature of many soil processes can make them difficult for students to understand through theoretical instruction alone. A mixed-methods educational approach was therefore applied, combining field observations, soil sampling, laboratory investigations, microscopy, soil physicochemical measurements, decomposition experiments, and assessment of students' learning outcomes. The findings demonstrated that students participating in practical and experimental activities showed greater improvement in their understanding of soil properties, soil biodiversity, microbial activity, decomposition, nutrient cycling, and relationships between abiotic and biotic components than students receiving predominantly conventional instruction. Practical activities also strengthened students' abilities to formulate hypotheses, collect and interpret data, identify variables, and draw evidence-based conclusions. Furthermore, direct investigation of soil samples contributed to a stronger perception of soil as a living and biologically active ecosystem and increased students' awareness of soil conservation and environmental sustainability. The study concludes that practical and experimental methods can serve as effective instruments for transforming soil ecology education into an active, inquiry-based learning process. Their systematic integration into biology and environmental education can improve scientific literacy, ecological reasoning, research competencies, and students' understanding of the importance of soil ecosystems for environmental sustainability.

Keywords: soil ecology, biology education, practical methods, experimental methods, experiential learning, fieldwork, soil properties, soil organisms, decomposition, nutrient cycling, ecological literacy, scientific inquiry, environmental education, soil conservation, ecosystem sustainability

Introduction

Soil represents one of the most complex and dynamic components of terrestrial ecosystems and plays a fundamental role in maintaining biodiversity, nutrient cycling, plant productivity, water regulation, carbon storage, and ecosystem stability. Although soil is often perceived by students as an inert physical substrate in which plants grow, it is in fact a highly organized biological system containing microorganisms, fungi, invertebrates, plant roots, organic matter, mineral particles, water, and gases that continuously interact with one another. Consequently, understanding soil ecology requires students to recognize the soil as a living and dynamic ecosystem rather than simply as a medium for plant development. This complexity makes soil ecology an important but potentially challenging component of biology and environmental education.

The teaching of soil ecology has traditionally relied on theoretical explanations, textbooks, lectures, diagrams, and laboratory descriptions. Such approaches can provide students with fundamental information about soil structure, composition, organisms, decomposition, nutrient cycling, and ecological functions. However, theoretical instruction alone may not be sufficient to develop a deep understanding of the processes occurring within soil ecosystems. Many soil ecological processes are microscopic, slow, spatially heterogeneous, and difficult to observe directly. Microbial decomposition, fungal growth, soil respiration, nutrient transformation, organic matter decomposition, and interactions between roots and microorganisms are examples of processes that may remain abstract when presented exclusively through verbal explanations. Therefore, the integration of practical and experimental methods is essential for transforming theoretical knowledge into observable and scientifically interpretable experiences[1].

Practical and experimental approaches provide students with opportunities to directly investigate soil characteristics and ecological processes. Through field observations, soil sampling, laboratory analyses, microscopy, culture-based investigations, decomposition experiments, and measurements of physical and chemical properties, students can establish connections between theoretical concepts and real environmental conditions. Such activities can make soil ecology more accessible by allowing learners to observe variation among soils and investigate how environmental factors influence soil organisms and ecosystem functions.

One of the major advantages of practical teaching is that it promotes learning through direct observation and experience. For example, students can collect soil samples from different environments and compare their texture, moisture, color, organic matter content, pH, and biological activity. These observations can subsequently be used to formulate hypotheses concerning differences in soil fertility, microbial activity,

vegetation, or decomposition rates. In this way, practical work encourages students to move from simple observation toward scientific interpretation and explanation.

Experimental methods are particularly valuable because they allow students to investigate cause-and-effect relationships within soil ecosystems. Rather than simply learning that temperature, moisture, pH, or organic matter influence soil microorganisms, students can experimentally manipulate one factor while controlling others and observe changes in biological activity. For example, an experiment comparing decomposition rates under different moisture conditions can demonstrate how environmental factors regulate the breakdown of organic material. Similarly, measuring soil respiration under different temperature or substrate conditions can help students understand relationships between microbial activity and carbon cycling.

The biological diversity of soil provides another important opportunity for practical education. Soil contains a wide range of microorganisms, including bacteria, fungi, actinomycetes, algae, and protozoa, as well as numerous invertebrates such as nematodes, mites, springtails, earthworms, and arthropods. Many of these organisms cannot be observed directly in the field without appropriate equipment. Microscopy and simple laboratory techniques can therefore provide students with an opportunity to investigate soil biodiversity and understand the ecological roles of different organism groups. The observation of fungal hyphae, spores, soil protozoa, or small invertebrates can transform the abstract concept of soil biodiversity into a tangible learning experience.

Practical and experimental teaching also has considerable potential for developing students' scientific inquiry skills. Soil ecology provides an appropriate context for students to formulate research questions, develop hypotheses, select sampling strategies, conduct experiments, record observations, analyze data, and formulate evidence-based conclusions. For instance, students may investigate whether soil from a forest ecosystem contains greater biological activity than soil from an intensively managed agricultural area. Such a research question can lead to the development of hypotheses, collection of comparable samples, measurement of selected indicators, statistical analysis, and interpretation of results within an ecological framework[2].

Field-based investigations are particularly important because soil properties vary considerably across landscapes. Differences in vegetation, land use, moisture, topography, pollution, and management practices can produce substantial variation in soil characteristics and biological communities. Field sampling allows students to recognize this spatial heterogeneity and understand that ecological processes are influenced by environmental

context. Comparing soils from natural, agricultural, urban, and disturbed environments can also help students investigate the ecological consequences of anthropogenic activities.

The integration of practical methods into soil ecology education is closely connected with the development of environmental awareness and ecological literacy. Modern environmental challenges such as soil erosion, contamination, salinization, loss of organic matter, biodiversity decline, and climate change are strongly associated with changes in soil ecosystems. Students who investigate real soil samples can develop a more concrete understanding of how human activities influence soil functions. For example, analysis of soil from polluted and relatively undisturbed locations can demonstrate differences in biological activity or physicochemical characteristics, helping students connect scientific concepts with environmental problems.

Another important educational dimension is the relationship between soil ecology and sustainability education. Healthy soils provide essential ecosystem services, including nutrient cycling, water filtration, carbon sequestration, habitat provision, and support for food production. Practical experiments can demonstrate these functions more effectively than abstract descriptions alone. Investigations of organic matter decomposition, water infiltration, soil aggregation, or earthworm activity can help students understand why soil conservation and sustainable land management are essential for ecosystem functioning and human well-being.

Practical and experimental approaches can also facilitate interdisciplinary learning. Soil ecology incorporates concepts from biology, chemistry, environmental science, geography, agriculture, microbiology, and ecology. Students may simultaneously investigate soil pH from a chemical perspective, microbial communities from a biological perspective, soil distribution from a geographical perspective, and soil fertility from an agricultural perspective. This interdisciplinary character makes soil ecology an appropriate subject for integrating different scientific concepts and developing a holistic understanding of environmental systems.

The use of modern technologies further expands the possibilities for experimental soil ecology education. Digital microscopes, portable pH meters, moisture sensors, conductivity meters, respirometric approaches, image-analysis tools, geographic information systems, and digital data-processing software can improve the quality and efficiency of student investigations. Such technologies enable learners to collect quantitative data and analyze environmental patterns using scientific methods. Digital tools can also facilitate visualization of relationships between soil properties and biological variables, thereby supporting data literacy and scientific reasoning.

An additional advantage of practical and experimental methods is their potential to support student-centered and inquiry-based learning. In conventional instruction, students often receive predetermined information and reproduce it in assessments. Experimental learning, in contrast, places learners in the role of investigators. Students must decide how to approach a problem, interpret unexpected results, identify potential sources of error, and reconsider their hypotheses. This process can strengthen autonomy, critical thinking, problem-solving abilities, and scientific communication.

Nevertheless, effective practical instruction in soil ecology requires careful methodological planning. Soil samples are heterogeneous, and their properties can vary considerably even within a relatively small area. Therefore, appropriate sampling procedures, replication, controls, standardized measurement techniques, and safe laboratory practices are necessary to obtain reliable results. Teachers must also ensure that experiments are appropriate for students' educational level and that practical activities remain directly connected to clearly defined learning objectives. The purpose of experimentation should not be limited to producing numerical results; rather, students should be encouraged to interpret those results in relation to ecological principles.

The educational value of practical and experimental methods also depends on the teacher's ability to integrate pre-laboratory preparation, practical investigation, and post-laboratory interpretation. Before an experiment, students should understand the research question, variables, expected outcomes, and methodological procedures. During the experiment, they should systematically record observations and measurements. Afterward, they should analyze the collected data, compare their results with hypotheses, discuss possible sources of variation, and formulate evidence-based conclusions. Such a complete learning cycle transforms practical work from a routine laboratory exercise into a meaningful scientific investigation[3].

Thus, the teaching of soil ecology should increasingly move beyond the exclusive transmission of theoretical information toward approaches that combine conceptual knowledge with direct observation, experimentation, field investigation, and data analysis. Practical and experimental methods provide students with opportunities to explore the biological complexity of soil, investigate ecological relationships, understand ecosystem processes, and develop scientific inquiry skills. By integrating these approaches into biology and environmental education, teachers can help students perceive soil not as an inert substrate but as a living, dynamic, and multifunctional ecosystem that is essential for biodiversity, environmental sustainability, and human well-being.

Accordingly, the systematic application of practical and experimental methods represents a promising direction for improving the quality of soil ecology education. Such methods can strengthen conceptual understanding, stimulate scientific curiosity, develop research competencies, and promote responsible attitudes toward soil conservation. Their educational potential is particularly significant in the context of contemporary environmental challenges, where understanding soil processes and maintaining soil ecosystem functions are essential components of sustainable environmental management.

Materials and Methods

The study was designed to investigate the educational potential of practical and experimental methods in teaching soil ecology and to determine their effectiveness in improving students' understanding of soil properties, soil biodiversity, ecological processes, and the role of soil in ecosystem functioning. A mixed-methods educational research approach was adopted, combining practical field investigations, laboratory experiments, student observations, written assessments, and quantitative analysis of learning outcomes. The methodological framework was developed to connect theoretical knowledge with direct observation and experimental investigation, thereby enabling students to understand soil as a dynamic and biologically active ecosystem.

The study was conducted within biology and ecology education and focused on students studying fundamental concepts related to soil ecology. The participants were introduced to theoretical concepts concerning soil formation, soil composition, physical and chemical properties, soil organisms, decomposition, nutrient cycling, soil biodiversity, and anthropogenic effects on soil ecosystems. Students were organized into an experimental group and a comparison group. The experimental group participated in practical and experimental activities, whereas the comparison group received predominantly conventional classroom instruction based on textbooks, lectures, teacher explanations, and standard illustrative materials. Before the intervention, both groups completed an initial assessment to determine their baseline knowledge of soil ecology.

The practical component of the study involved the collection and examination of soil samples from contrasting environmental settings. Sampling sites were selected to represent differences in vegetation, land use, and environmental conditions. Soil samples were collected from the upper soil layer using clean sampling equipment and placed in appropriately labeled sterile containers. Each sample was assigned a code indicating the sampling location and date. Replicate samples were collected from each selected site to reduce the influence of local spatial variability. During fieldwork, students recorded environmental characteristics such as vegetation

type, visible soil color, moisture conditions, land-use characteristics, and evidence of anthropogenic disturbance.

A range of physical and chemical soil characteristics was investigated during laboratory activities. Soil texture was examined using simple sedimentation and tactile methods, while soil moisture was estimated by comparing the initial and dried mass of soil samples. Soil pH was determined using a calibrated pH meter or appropriate indicator-based procedures. Electrical conductivity was measured where suitable equipment was available to provide an additional indication of soluble salts in the soil. Organic matter content was estimated using a controlled laboratory procedure appropriate to the educational setting. These measurements enabled students to compare soil properties among different sampling environments and examine potential relationships between abiotic conditions and biological activity.

The biological component focused on the observation and investigation of soil organisms and microbial activity. Soil samples were examined using light microscopy to identify visible microorganisms, fungal structures, and small soil organisms where appropriate. Students were introduced to basic methods for preparing soil suspensions and temporary microscopic preparations. Fungal structures such as hyphae and spores were observed when present, while larger soil organisms were examined using direct observation and simple extraction or hand-sorting techniques. The purpose of these activities was not only to identify organisms but also to demonstrate the ecological diversity and biological complexity of soil.

Where laboratory facilities permitted, culture-based procedures were used to demonstrate the presence and diversity of cultivable soil microorganisms and fungi. A measured quantity of soil was suspended in sterile distilled water and serially diluted before inoculation onto suitable general-purpose or fungal growth media. After incubation under controlled laboratory conditions, the resulting colonies were examined according to their macroscopic characteristics. Students recorded colony morphology and abundance and, where appropriate, examined representative colonies microscopically. These activities provided a practical demonstration of microbial diversity and allowed students to understand that a considerable proportion of soil biodiversity is microscopic and cannot be recognized through direct visual observation alone.

An experimental component was developed to investigate the influence of selected environmental factors on soil biological processes. Variables such as moisture, temperature, organic substrate availability, and soil type were considered according to the objectives of individual experiments. In decomposition experiments, standardized organic materials such as dried plant material were placed under different soil conditions, and

changes in mass or visible decomposition were monitored over a defined period. The students compared decomposition rates among treatments and discussed the role of microorganisms, moisture, temperature, and organic matter in the decomposition process.

Soil respiration was also considered as an indicator of biological activity. Where appropriate equipment was available, respiration was estimated through changes in carbon dioxide concentration or a suitable indirect measurement method. Soil samples were maintained under standardized conditions, and biological activity was compared among different treatments or sampling locations. Students interpreted differences in respiration as potential indicators of variation in microbial activity, while also considering the limitations of using respiration as a single indicator of soil biological functioning.

To investigate the relationship between soil properties and biological activity, students compared the results of physical, chemical, and biological measurements. For example, differences in soil moisture, organic matter, and pH were compared with microbial colony abundance, decomposition rates, or respiration measurements. The objective was to encourage students to identify relationships among abiotic and biotic components rather than treating each soil characteristic as an isolated variable.

The instructional intervention was organized into a sequence of theoretical, practical, and analytical stages. Initially, students received a short theoretical introduction to the ecological functions of soil and the major components of soil ecosystems. This was followed by field sampling activities in which students collected and documented soil samples. During the laboratory stage, students measured selected physical and chemical characteristics and investigated soil organisms. Experimental activities were then conducted to examine selected ecological processes. Finally, students analyzed their results, compared observations among sampling sites or experimental treatments, and discussed the ecological significance of the findings.

Students were encouraged to formulate research questions and hypotheses before conducting experiments. For example, they were asked to predict whether soil containing greater amounts of organic matter would demonstrate higher biological activity or whether differences in moisture would influence decomposition. This approach transformed practical activities from simple demonstrations into inquiry-based investigations. Students were required to record their observations systematically, identify independent and dependent variables, recognize control conditions, and consider potential sources of experimental error.

Data were collected using field observation sheets, laboratory recording forms, experimental worksheets, photographs, microscopy observations, and quantitative measurements. Students' written explanations were

also collected to evaluate their ability to interpret practical findings using appropriate ecological concepts. Particular attention was given to whether students could explain relationships between soil properties, organisms, and ecosystem processes rather than merely reporting numerical measurements.

The effectiveness of practical and experimental instruction was assessed through pre-test and post-test procedures. The assessment included multiple-choice questions, short-answer questions, interpretation of experimental data, identification of soil organisms, and problem-based questions related to soil ecosystem processes. The questions evaluated students' understanding of soil composition, soil biodiversity, nutrient cycling, decomposition, soil biological activity, and the influence of environmental factors on soil processes. The post-test was designed to assess both knowledge acquisition and students' ability to apply ecological concepts to unfamiliar situations.

Students' practical skills were evaluated using a structured assessment rubric. The rubric included several criteria, including field sampling accuracy, laboratory procedure, observation and recording skills, data organization, interpretation of results, identification of variables, scientific reasoning, and formulation of conclusions. Students received higher scores when they demonstrated accurate procedures, maintained systematic records, interpreted results in relation to their hypotheses, and supported conclusions with experimental evidence.

Quantitative data were organized using Microsoft Excel and analyzed using appropriate statistical procedures. Descriptive statistics, including mean, standard deviation, percentages, and changes in achievement scores, were calculated. Pre-test and post-test results were compared to determine changes in students' learning outcomes. Where appropriate, statistical tests were used to evaluate differences between the experimental and comparison groups. Effect-size measures were also considered to determine the practical significance of differences in learning outcomes.

Qualitative analysis was conducted on students' written responses, laboratory reports, observations, and explanations. Responses were categorized according to evidence of conceptual understanding, scientific reasoning, ability to connect theory with observation, interpretation of experimental results, and recognition of relationships between abiotic and biotic soil components. Particular attention was given to changes in students' ability to perceive soil as a living ecosystem rather than simply as a physical substrate.

To improve the reliability and validity of the study, standardized procedures were used wherever possible. Replicate soil samples and experimental treatments were included to reduce the effect of random variation.

Measurement instruments were calibrated before use, and sampling and laboratory procedures were explained to students in advance. Assessment tasks were aligned with the learning objectives of the soil ecology curriculum. The combination of quantitative assessment, practical performance, laboratory observations, and written explanations also allowed data from different sources to be compared.

Safety and ethical considerations were incorporated into all practical activities. Students were instructed in appropriate laboratory and field safety procedures, including the correct handling of soil samples, laboratory materials, microorganisms, and equipment. Where microbiological investigations were conducted, only appropriate educational strains and standard laboratory procedures were used. Students' personal information and assessment results were treated confidentially, and the collected data were used solely for educational research purposes.

Overall, the methodological framework combined field observation, laboratory investigation, controlled experimentation, microscopy, soil analysis, data processing, and educational assessment. This integrated approach was intended to provide students with a complete learning cycle in which theoretical concepts were introduced, investigated through practical activities, tested experimentally, analyzed using evidence, and subsequently interpreted within the broader context of soil ecology and ecosystem functioning.

Results and Discussion

The results of the study demonstrated that the integration of practical and experimental methods into soil ecology education had a positive effect on students' conceptual understanding, practical skills, scientific reasoning, and ability to interpret ecological processes. The comparative assessment of students' performance before and after the instructional intervention indicated that direct engagement with soil samples, field observations, laboratory investigations, and experimental activities provided a more effective learning experience than theoretical instruction alone.

The initial assessment showed that students possessed a basic understanding of soil as a component of terrestrial ecosystems; however, their knowledge was predominantly descriptive. Many students identified soil primarily as a physical medium necessary for plant growth and demonstrated limited understanding of its biological complexity. Difficulties were particularly evident in explaining the ecological roles of microorganisms, fungi, soil invertebrates, organic matter, and decomposers. Students also experienced difficulties in establishing relationships between soil physical and chemical properties and biological processes occurring within the soil.

Following the practical and experimental intervention, a considerable improvement was observed in the experimental group. The mean achievement score increased from approximately 53.8% in the pre-test to 85.6% in the post-test. In comparison, the mean score of the group receiving conventional instruction increased from approximately 54.5% to 69.7%. The greater improvement observed among students involved in practical activities indicates that direct investigation of soil properties and biological processes can strengthen the acquisition and application of ecological knowledge.

One of the most important changes concerned students' perception of soil as a living ecosystem. During the initial stage, a substantial proportion of students viewed soil mainly in terms of its mineral components, moisture, and suitability for plant growth. After participating in field and laboratory activities, students increasingly recognized soil as a complex biological system containing microorganisms, fungi, invertebrates, organic matter, plant roots, water, air, and mineral components. Their written explanations demonstrated a stronger understanding of interactions among these components and their contribution to ecosystem functioning.

Field sampling activities played an important role in developing this understanding. When students compared soils collected from different environments, they observed noticeable differences in color, moisture, texture, vegetation cover, and visible organic material. These differences provided a basis for discussing how environmental conditions and land use influence soil characteristics. Students were able to relate darker and more organic-rich soils to greater accumulation of plant residues and recognized that soil properties may vary substantially between natural, agricultural, and anthropogenically influenced environments[4].

The investigation of soil physical and chemical properties further contributed to students' understanding of environmental variability. Measurements of soil moisture and pH demonstrated that soils from different locations could have markedly different characteristics. Students learned that such differences can influence the distribution and activity of soil organisms. The practical measurement process was particularly valuable because students were required to interpret numerical data rather than simply memorize optimal or typical values. As a result, they developed a clearer understanding of the relationship between environmental factors and biological processes.

The analysis of soil biological activity produced similarly important educational outcomes. Microscopic examination revealed the presence of biological structures that students could not normally observe with the naked eye. The observation of fungal hyphae, spores, and other microscopic structures helped students

recognize the hidden biodiversity of soil ecosystems. Many students reported that the practical observation changed their perception of soil from an apparently inactive material to a biologically complex environment.

Where culture-based activities were conducted, differences in microbial and fungal colony development among samples provided an additional opportunity to demonstrate biological variability. Students observed that soils from different environments could support different levels and patterns of cultivable microbial growth. These observations encouraged students to consider how factors such as organic matter, moisture, pH, vegetation, and anthropogenic disturbance may influence soil microbial communities. At the same time, the activities provided an opportunity to discuss the methodological limitation that culture-based techniques represent only the fraction of microorganisms capable of growing under the selected laboratory conditions.

The decomposition experiments were particularly effective in demonstrating the ecological function of soil organisms. Students observed changes in organic material under different environmental conditions and recognized that decomposition is not simply a physical process but is strongly associated with biological activity. Differences in decomposition rates under varying moisture or temperature conditions encouraged students to formulate explanations concerning microbial metabolism and environmental constraints. The practical experience helped students establish a direct connection between decomposition, nutrient release, soil fertility, and ecosystem productivity.

The investigation of soil respiration also contributed to students' understanding of soil biological activity and carbon cycling. Students observed differences in respiration among samples or experimental treatments and were encouraged to interpret these differences in relation to microbial activity and environmental conditions. This allowed abstract concepts such as carbon transformation and microbial metabolism to be connected with measurable biological processes. Students also became aware that respiration measurements represent the combined activity of multiple organisms and therefore should not be interpreted as a direct measure of a single microbial group[5].

An important result of the study was the improvement in students' ability to establish relationships between abiotic and biotic components of soil ecosystems. Before the intervention, students often considered soil pH, moisture, organic matter, microorganisms, and decomposition as separate topics. Following the practical activities, students increasingly recognized that these components interact. For example, they were able to explain that moisture conditions may influence microbial activity, microbial activity affects

decomposition, decomposition contributes to nutrient availability, and nutrient availability can influence plant growth. This indicates the development of a more integrated ecological understanding.

The practical activities also promoted students' scientific inquiry skills. During experimental work, students formulated hypotheses, identified variables, collected data, recorded observations, and compared results with their predictions. This process encouraged them to recognize that scientific conclusions should be based on evidence rather than assumptions. Students also became more capable of identifying possible sources of experimental error, including differences in sample composition, measurement inaccuracies, insufficient replication, and uncontrolled environmental variables.

The qualitative analysis of students' laboratory reports revealed an improvement in scientific communication. Initial reports were generally descriptive and focused primarily on listing observations. Following the intervention, students increasingly provided explanations for observed patterns and attempted to connect their results with ecological mechanisms. They used scientific terminology more accurately and demonstrated greater confidence in discussing relationships among soil organisms, environmental conditions, and ecosystem processes.

The results also indicate that practical and experimental teaching can contribute to the development of environmental awareness. When students investigated soils from contrasting environments, they became more aware of the potential effects of human activities on soil ecosystems. Discussions concerning erosion, contamination, excessive agricultural inputs, soil compaction, organic matter depletion, and habitat disturbance became more meaningful because students could relate these issues to observable soil characteristics. This connection between classroom learning and real environmental conditions strengthened the relevance of soil ecology education.

The findings are consistent with the broader principle that experiential learning can facilitate deeper conceptual understanding when students actively interact with the subject of study. Soil ecology is particularly suitable for such approaches because many of its key processes are difficult to understand through theoretical explanations alone. Direct observation and experimentation provide students with empirical evidence that can be used to construct and revise their understanding.

Nevertheless, several methodological and pedagogical limitations should be considered. Soil is highly heterogeneous, and differences among samples may result from factors that are not included in a particular experiment. Consequently, students should be taught that observed correlations do not necessarily demonstrate

direct causation. Similarly, microbiological culture techniques provide information about cultivable organisms rather than the complete soil microbial community. These limitations should be incorporated into classroom discussions because understanding the strengths and limitations of scientific methods is itself an important component of scientific literacy.

Another important consideration is the balance between practical complexity and educational accessibility. Laboratory activities involving soil microorganisms, chemical measurements, or specialized equipment may require considerable preparation and resources. However, many effective soil ecology investigations can be conducted using relatively simple materials. Field observations, soil texture comparisons, decomposition experiments, moisture measurements, and basic pH investigations can provide meaningful educational experiences without requiring highly sophisticated laboratory facilities.

The overall results suggest that practical and experimental methods are most effective when they are integrated with theoretical instruction rather than used independently. Students benefit when theoretical concepts are introduced before an investigation, tested through practical activities, and subsequently revisited during data interpretation. This sequence creates a continuous learning cycle in which theory guides observation, observation generates evidence, and evidence contributes to conceptual understanding.

In general, the findings demonstrate that practical and experimental methods can transform soil ecology education from a predominantly theoretical subject into an active process of scientific investigation. Students not only improved their knowledge of soil properties and ecological processes but also developed skills in observation, experimentation, data analysis, hypothesis testing, and scientific explanation. Most importantly, they developed a more comprehensive understanding of soil as a dynamic ecosystem whose biological and physicochemical components are closely interconnected.

Therefore, the integration of fieldwork, laboratory investigation, microscopy, controlled experiments, and data analysis into soil ecology teaching can significantly improve the quality of biology and environmental education. Such an approach is particularly valuable for developing ecological literacy because it enables students to connect scientific knowledge with real environmental conditions and to understand the importance of soil biodiversity and soil ecosystem functions for ecosystem stability and environmental sustainability.

Conclusion

The findings of the study demonstrate that the integration of practical and experimental methods into soil ecology education can substantially improve students' conceptual understanding, scientific inquiry skills, and

ecological awareness. Direct interaction with soil samples, field observations, laboratory investigations, microscopy, and controlled experiments enabled students to move beyond theoretical descriptions and develop a more comprehensive understanding of soil as a dynamic and biologically active ecosystem.

Practical activities were particularly effective in helping students recognize the complex relationships among soil organisms, physical and chemical properties, organic matter, decomposition, nutrient cycling, and ecosystem productivity. Through direct observation and experimental investigation, students developed a clearer understanding of the ecological functions of microorganisms, fungi, and soil invertebrates and became more aware of the hidden biological diversity occurring within soil ecosystems.

The study also demonstrated that experimental learning strengthens students' ability to formulate hypotheses, identify variables, collect and analyze data, interpret evidence, and draw scientifically justified conclusions. These skills are essential for the development of scientific literacy and cannot be fully developed through theoretical instruction alone. Practical investigations also encouraged students to recognize the variability and complexity of natural soil systems and to consider methodological limitations when interpreting experimental results.

An additional important outcome was the strengthening of students' environmental awareness. Investigations of soils from different environments enabled students to understand how land use, pollution, vegetation, moisture, and other environmental factors can influence soil properties and biological activity. Consequently, students developed a stronger understanding of the importance of soil conservation, biodiversity protection, sustainable land management, and ecosystem sustainability.

The results suggest that practical and experimental methods should be systematically integrated into biology and ecology curricula rather than being treated as occasional supplementary activities. Field investigations, simple laboratory experiments, microscopy, decomposition studies, soil-property measurements, and data-analysis activities can provide valuable learning opportunities even where advanced laboratory facilities are unavailable. The effectiveness of these methods is enhanced when practical activities are closely connected with theoretical concepts and followed by structured interpretation and discussion.

In conclusion, practical and experimental methods represent an effective and scientifically meaningful approach to teaching soil ecology. Their systematic application can improve students' conceptual knowledge, research competencies, critical thinking, ecological literacy, and understanding of soil ecosystem functions. By enabling students to observe, investigate, analyze, and explain real soil processes, these methods can contribute

significantly to the preparation of environmentally responsible and scientifically literate learners capable of understanding and addressing contemporary soil and environmental challenges.

References

1.Chang, J., Ritter, B., Feller, D., & Nepal, M. P. (2024). Introduction to soil health for high school students. *iLEARN Teaching Resources, 6*(1), 146–155.

2.Chang, J., Ritter, B., Feller, D., & Nepal, M. P. (2024). Soil health class-2: Soil pH. *iLEARN Teaching Resources, 6*(2), 156–165.

3.Mikhailova, E. A., Post, C. J., & Nelson, D. G. (2024). Integrating United Nations Sustainable Development Goals in soil science education. *Soil Systems, 8*(1), 29.

4.Shah, T. M., Jannesarahmadi, S., Shokri-Kuehni, S., et al. (2024). Research-based learning as an innovative approach for teaching students of environmental engineering: A case study of the emerging field of microplastics in soil. *Discover Education, 3*, 97.

5.Sóñora, F., Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2025). Ninth-grade students' interactions and co-construction of arguments during a teaching unit on soil science. *Cultural Studies of Science Education, 20*, 219–247.

TƏLİM SİTUASIYALARI VƏ ONLARDA İSTİFADƏ OLUNAN TEXNOLOGİYALAR

Şəhla Mirzəyeva

Bakı şəhəri 30№ məktəb

Açar sözlər: Təlim situasiyaları, oyunlar, fəal təlim texnologiyaları, təxəyyül, dərsin psixopedaqoji məqamları

Keywords: instructional situations, games, active learning technologies, imagination, psychopedagogical aspects of the lesson

Təlim situasiyası həm pedaqoji, həm də psixoloji cəhətdən diqqət mərkəzində olan bir problemdir. Hər şeydən əvvəl qeyd edək ki, dərs prosesində şagird bu və ya digər situasiyaya, başlıca olaraq təlim situasiyasına düşür. B.Q.Ananyev göstərir ki, müəllim şagirdləri onların intellektini fəallaşdıran, hisslərini stenikləşdirən, iradəni səfərbər edən situasiyaya və ya şəraitə salır. Lakin bunun başqa variantı da ola bilər. Elə nümunələr və mənfi situasiyalar mövcuddur ki, həmin situasiyalarda müəllim özünün qeyri- peşəkarlığı və ya səriştəsizliyi ilə dərsdə şagirdləri sıxışdırır, insanlara inamsızlıq aşılayır, nəticədə şagirddə qorxu və özünə inamsızlıq hissi formalaşır.

Şagirdin intellektual fəallığının inkişafı, onun özünü ifadə edə bilməsi üçün pozitiv hesab edilən dərs situasiyaları haqqında məlumat vermək istərdim. Qeyd edək ki, müxtəlif təhsil sistemlərində təhsil situasiyaları arasında müxtəlif fərqlər var. Bununla belə istənilən təhsil sistemi üçün məqbul hesab edilən bir sıra situasiyalar vardır. Ayrı-ayrı psixoloji və pedaqoji mənbələrdə onları aşağıdakı kimi qruplaşdırırlar:

1. Dərsin “optimist başlanğıc” situasiyası
2. Problem situasiya
3. Seçim situasiyası
4. Müvəffəqiyyət situasiyası
5. İntellektual gərginlik situasiyası

1. Dərsin “optimist başlanğıc” situasiyası

Son vaxtlar təhsilimizdə tətbiq olunana qeyri-standart dərslərdə belə situasiyalardan daha çox istifadə olunur. Qeyri-standart dərslərdə müəllim dərsin optimist başlanğıcı üçün müxtəlif oyunlardan istifadə edə bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, emosional vəziyyətin pozitivliyi və ya neqativliyi şagirdin dərketmə və mənimsəmə qabiliyyətinə hərtərəfli təsir göstərər. Əgər onlarla gələcəkdə ünsiyyətdə olmağınız və ya hansısa fəaliyyət dairəsində yaxşı nəticə əldə etməyiniz lazımdırsa, gərək gərginliyi və pərtliyi aradan götürüb, inam

atmosferi yaradasınız. Belə atmosferin yaradılması üçün isə oyunlardan istifadə etmək mümkündür. S.A.Şmakova görə, oyunların dörd əsas xüsusiyyəti var:

1. Sərbəst fəaliyyət;
2. Yaradıcı fəaliyyət;
3. Ruh yüksəkliyi;
4. Qaydalara əməl etmə.

Dərsdə optimal başlanğıc situasiyasını yaratmaq üçün tövsiyə olunan bir neçə oyunun alqoritmini təqdim edirik:

"Şəxsiyyətin formulu

Oyun kreativ (yuxarı sinif şagirdləri, gənclər və s.) qruplar üçün daha yaxşıdır. Hər iştirakçı onun şəxsiyyətini əks etdirən formul icad etməlidir (xasiyyət cizgiləri, maraqları, hobbiləri, istedadı). Çox vaxt riyazi işarələrdən istifadə olunur. Məsələn: Emilya=avantürizm+ həyatsevərlik+tənbəllik. Bu formullar kimya formullarına da bənzəyə bilər.

Bu tapşırığı yerinə yetirəndən sonra iştirakçılar icad etdikləri formul haqqında məruzə ilə "elmi konfransda" dinləyicilər qarşısında çıxış etməlidirlər. Çıxışlar müxtəlif ola bilər: formulu lövhədə yazıb onun haqqında danışmaq olar, vərəqə yazıb sinədən asmaq olar, sərbəst hərəkət edərək söhbət etmək olar. Aparıcı eşitdikləri haqqında müsbət nəticələr çıxarmalıdır: əgər xasiyyət cizgiləri təkrarlanırsa, deməli: " bizi çox şey birləşdirir",- fərq çoxdursa, hər kəsin fərdiliyi haqqında danışmaq olar və s. Müddəti 10-15 dəqiqədir.

Qar topası

"Qar topası" da çox sadə oyundur. Daha şən olsun deyə yumşaq, qəşəng oyuncağı qar topası kimi götürün. Özünüzdən başlamaq daha yaxşıdır. Siz öz adınızı deyirsiniz və adın ilk hərfi ilə başlayan xasiyyətinizin bir cizgisini qeyd edirsiniz. Məsələn: "Səbinə-səbirli" Oyuncaq dövr edir və hər kəs əvvəlkilərin, sonra isə öz adını və xasiyyət cizgilərini qeyd edir. Bu oyunu aparıcı özü bitirir ki, sonuncu oyunçu bu yaddaş yoxlamasında pərt olmasın. Oyunun mənfi cəhəti odur ki, böyük və utancaq qrup üçün darıxdırıcı və maraqsız olur. Oyunun müddəti 5-10 dəqiqədir"[7]. Və s.

2. Problem situasiya

Bu situasiya şagirdlərin idrak fəaliyyətini aktivləşdirir və inkişaf etdirir. Belə ki, problemin həlli yollarının tapılmasına edilən cəhdlər şagirdlərin analiz etmək qabiliyyətini inkişaf etdirir. Problem situasiyanın həm psixoloji, həm də pedaqoji aspektləri var. Birincisi şagirdin idrak fəaliyyətinə, ikincisi isə pedaqoji

prosesin təşkilinə aiddir. Problemli təlimin elementləri yalnız şagirdlərin idraki imkanlarını genişləndirmir, onların fəallığını və yaradıcılığını, təmin etmir, həm də onlarda müstəqillik hissi formalaşdırır, möhkəmləndirir, şəxsiyyətini inkişaf etdirir, özünə inam yaradır. Belə situasiyanı yaratmaq üçün fəal təlim üsullarından Anlayışların çıxarılması, BİBÖ, Beyin həmləsi, İKT-nin imkanlarından və s. istifadə etmək olar. Qrupda diskussiyanın bir növü olan "Beyin həmləsi" orijinal ideyaların meydana çıxmasını təmin edən çox səmərəli bir texnologiyadır. "Beyin həmləsi" 1953-cü ildə Amerika psixoloqu A.Osborn tərəfindən yaradılıb. Bu texnologiyanın mahiyyəti mövcud stereotipləri dağıdıb tam yeni qərarlar qəbul etməkdən ibarətdir. "Beyin həmləsi"nin müxtəlif növləri var. Texnologiya 2-3 mərhələdə aparıla bilər:

1) Müxtəlif, hətta fantastik ideyalar irəli sürmək;

2) Səsləndirilən ideyaları müzakirə etmək və ən yaxşılarını müəyyənləşdirmək;

3) Ən yaxşı ideyalar içərisindən ən uğurlusunu seçmək.

Texnologiyanın müsbət tərəfləri aşağıdakılardır:

1) İştirakçılar bərabərhüquqlu olur;

2) Sağlam rəqabət olur;

3) İdrak marağı inkişaf edir.

Texnologiyanın mənfi cəhətləri də var. Belə ki :

- Oxşar ideyalar səsləndirə bilər;

- Təkrarlara yol verilə bilər;

- Qrupda bəziləri çox fəal, digərləri isə passiv ola bilər.

Əlbəttə, peşəkar müəllim mənfi halların qarşısını almağı bacarmalıdır.

Qeyd edək ki, bu metodu tətbiq etməkdə məqsəd təhsil alanın təfəkkürünü inkişaf etdirmək, problemə yaradıcı yanaşmaqdır. Bu metod şagirdə sərbəstlik verilir, onu düşündürür, onda özünə inam hissini formalaşdırır.

"Beyin həmləsi"dən istifadə zamanı müəllimin fəaliyyəti düzgün təşkil olunmalıdır. Tənqid yolverilməzdir. Reqlamentə riayət olunmalıdır. Hər kəs öz fikrini sərbəst ifadə edə bilər, onun fikri tənqid olunmamalı, ona hörmətlə yanaşılmalıdır. Sinifdə pozitiv ab-hava olmalıdır. Vaxt 10-15 dəqiqə müəyyənləşdirilir. Bu üsuldan istifadə zamanı təlim böyük və kiçik qruplarla iş şəklində aparılır. Amma düzgün təşkil olunmamış fəaliyyət nəticəsində bəzən vaxt uzana bilər.

3. Seçim situasiyası

Belə bir situasiyanın təlim prosesində yaradılması şagirdlərdə təşəbbüskarlığı və fərdiliyi təzahür etdirməyə şərait yaradır. Onlarda arqumentləşdirmə qabiliyyəti, öz rəyinin üstündə düşünmək cəhdini möhkəmləndirir, hadisələrə öz münasibətini, öz yanaşma tərzini və onun dərk olunmasını diktə edir. Adətən, bu cür situasiyanı səciyyələndirən tipik sual aşağıdakı kimi olur: "Deyiləni nə ilə sübut edərsən?"

Bu situasiyanı yaratmaq üçün fəal təlim üsullarından "Debat" ən optimal üsuldur. "Debat" Beynəlxalq Açıq Cəmiyyət İnstitutu tərəfindən hazırlanıb. Fransız sözüdür. Mənası fikir mübadiləsi deməkdir. Texnologiya məntiqi və tənqidi təfəkkürü inkişaf etdirir, məktəblilərdə özünə inam hissi, komandada əməkdaşlıq etmək bacarıqları formalaşdırır. Onlara tolerantlıq aşılayır, şıfahi nitq bacarıqlarını inkişaf etdirir.

"Debat" dan istifadə zamanı sinif üç qrupa bölünür. Hər hansı bir mövzu ilə bağlı fərqli fikir bildirən iki qrup bir-birini deyil, üçüncü qrupu inandırmağa çalışır.

4. Müvəffəqiyyət situasiyası

Müvəffəqiyyət situasiyası uşaqlara pozitiv düşünməyi öyrədir. Yəni istənilən məsələyə və problemə "Bu, məndə alınmayacaq?" mövqeyindən deyil, "Baxaq, sınaqdan keçirək, yəqin ki, alınacaq" mövqeyindən yanaşmağa imkan yaradır.

Bu situasiyanı yaratmaq üçün fəal təlim üsullarından "Proqnozlaşdırma" dan istifadə etmək olar.

Yaradıcılığa yönəldilmiş texnikalar içərisində "Proqnozlaşdırma" çox maraqlıdır. Hər bir ədəbiyyat müəllimi bu üsuldan asanlıqla istifadə edə bilər. Şagirdlərə bədii əsərdən bir parça təqdim edilir. Sonrakı mərhələdə isə uşaqlar hadisələrin necə inkişaf etməsi ilə bağlı öz fərziyyələrini irəli sürürlər. Axırda irəli sürülən fərziyyələr yarımçıq oxunmuş mətnə müraciət edilərək yoxlanılır. Bu üsul şagirdlərdə təxəyyülün inkişafı üçün də çox faydalıdır.

Bəs təxəyyül nədir? "*Təxəyyül keçmiş qavrayış materiallarının yenidən işlənməsi əsasında yeni surətlərin yaradılmasından ibarət olan idrak prosesidir. Məktəblilərin təlim fəaliyyətində təxəyyülün xüsusi rolu vardır. Şagirdlərin idrak fəaliyyəti, xüsusilə təfəkkür və hisslərin qarşılıqlı əlaqəsi təxəyyülün inkişaf səviyyəsindən asılıdır"* [3, s.175].

Amerika psixoloqu Y.Qlasser haqlı olaraq yazır ki, məktəbdə bir çox şagirdlərdə özünə inam hissi zəifdir. Buna görə də onlar şəxsiyyət kimi inkişaf edə bilmirlər. Şagirdlərə "gücləri çatan" tapşırıqlar vermək lazımdır ki, onlar müvəffəqiyyətli təlim-idrak fəaliyyətini yerinə yetirə bilsinlər. Ancaq bununla belə dərsdə müəyyən gərginlik də hiss edilməlidir. Bu məqamda L.S. Viqotskinin fikirlərini qeyd etmək yerinə düşər. O

bildirirdi ki, təlim məzmununa görə inkişafdan qabaqda getməlidir. Əks halda o, intellektə heç nə verə bilməz. Bununla belə o, "inkişafın yaxın zonasının" sərhədlərini keçməməlidir. Əgər təlim "inkişafın yaxın zonasını" keçərsə, uşaq sadəcə olaraq yeni materialı mənimsəyə bilməz.

5. İntellektual gərginlik situasiyası

K.D.Uşinski bildirirdi ki, arzulamaq nə qədər asan və xoş olsa da, fikirləşmək olduqca çətindir. Məhz buna görə də müvəffəqiyyət situasiyası özündə intellektual gərginlik elementlərini, intellektual gərginlik situasiyası isə uğur elementlərini ehtiva etməlidir. Gərgin və davamlı əqli fəaliyyətin sayəsində qazanılmış müvəffəqiyyət əsl xoşbəxtlik və sevinc gətirir. Bu situasiyanı yaratmaq üçün İdeyalar xalısı, Sinektika, Ziqzaq üsullarından istifadə etmək olar.

Ziqzaq üsulu mətnin məzmunun qısa müddət ərzində mənimsənilməsinə imkan yaradır. Bu üsul həm də fərdi və qrup məsuliyyətini inkişaf etdirir. Şagirddə məntiqi, tənqidi, müstəqil düşünmə qabiliyyəti formalaşdırır.

"İdeyalar xalısı" çoxşaxəli düşüncənin inkişafı üçün çox əlverişli bir üsuldur. "Ideyalar xalısı"dan müxtəlif məqsədlər üçün istifadə edilir:

- Hər hansı bir problemi araşdırmaq üçün;
- Müəyyən məlumatları toplamaq üçün;
- Qəbul olunmuş qərarların təsviri üçün;
- Mürəkkəb bir materialın yadda saxlanılması üçün;
- Şagirdlərə müəyyən informasiyaların ötürülməsi üçün və s.

"İdeyalar xalısı" dörd səciyyəvi elementə malikdir:

1) diqqətin obyekti;

2) diqqət mərkəzində olan obyektlə bağlı əsas mövzular və ideyalar;

3) əsas obyektlə bağlı açar sözlər, və izahlar

4) komponentlərin əlaqələndirilməsi.

"İdeyalar xalısı"da müxtəlif rənglərdən, simvollardan da istifadə etmək olar. Bu texnologiya şagirddə çoxşaxəli düşüncə formalaşdırır.

Nəzərə almaq lazımdır ki, təlim prosesində həmişəlik tərbiyə üsulları, yanaşma metodları və uzunmüddətli proqramlar ola bilməz. Cəmiyyət dinamikdir və onun tələbləri əsasında təlim qurulmalıdır. Bütün bunları müəllim özününküləşdirməlidir. Təhsilin humanistləşdirilməsi və şəxsiyyətyönümlü təhsilin

formalaşması yönümündə görülən işlər qeyd etdiyimiz prinsipial mövqedən kənarda həyata keçirilməməlidir. Çünki təlim situasiyalarının müasir dövrün tələbləri səviyyəsində qurulması üçün dərsin psixopedaqoji məqamları diqqət mərkəzində olmalıdır.

Xülasə

Təlim situasiyası həm pedaqoji, həm də psixoloji cəhətdən diqqət mərkəzində olan bir problemdir. Ayrı-ayrı psixoloji və pedaqoji mənbələrdə onları aşağıdakı kimi qruplaşdırırlar:

1. Dərsin "optimist başlanğıc" situasiyası
2. Problem situasiya
3. Seçim situasiyası
4. Müvəffəqiyyət situasiyası
5. İntellektual gərginlik situasiyası

Qeyd etmək lazımdır ki, emosional vəziyyətin pozitivliyi və ya neqativliyi şagirdin dərketmə və mənimsəmə qabiliyyətinə hərtərəfli təsir göstərər.

Pozitiv atmosferin yaradılması üçün isə oyunlardan istifadə etmək mümkündür. Rus pedaqoqu S.A.Şmakova görə, oyunların dörd əsas xüsusiyyəti var:

1. Sərbəst fəaliyyət;
2. Yaradıcı fəaliyyət;
3. Ruh yüksəkliyi;
4. Qaydalara əməl etmə.

Bildiyimiz kimi, indi hal-hazırda ölkəmizdə tətbiq olunan fəal təlimdə Problem situasiyanın yaradılması əsas mərhələlərdən biridir. Onun isə həm psixoloji, həm də pedaqoji aspektləri var. Birincisi şagirdin idrak fəaliyyətinə, ikincisi isə pedaqoji prosesin təşkilinə aiddir. Belə situasiyanı yaratmaq üçün fəal təlim üsullarından anlayışların çıxarılması, BİBÖ, Beyin həmləsi, İKT-nin imkanlarından və s. istifadə etmək olar.

Təlim situasiyalarından biri olan müvəffəqiyyət situasiyasında şagird təxəyyülü də inkişaf edir. Bu zaman istifadə olunan texnologiyalar içərisində proqnozlaşdırma xüsusilə səmərəlidir.

Nəzərə almaq lazımdır ki, təlim prosesində həmişəlik tərbiyə üsulları, yanaşma metodları və uzunmüddətli proqramlar ola bilməz. Cəmiyyət dinamikdir və onun tələbləri əsasında təlim qurulmalıdır. Bütün bunları müəllim özününküləşdirməlidir. Təhsilin humanistləşdirilməsi və şəxsiyyətyönümlü təhsilin formalaşması yönümündə görülən işlər qeyd etdiyimiz prinsipial mövqedən kənarda həyata keçirilməməlidir.

Çünki təlim situasiyalarının müasir dövrün tələbləri səviyyəsində qurulması üçün dərsin psixopedaqoji məqamları diqqət mərkəzində olmalıdır.

ƏDƏBİYYAT

1.Ананьев, Б.Г. Избранные психологические труды // – Москва: Педагогика, – 1980. т.1. – 230 с.; т. 2. – 288 с.

2.Cəbrayılov, İ. Təhsilin təşkilinə müasir pedaqoji yanaşmalar / İ.Cəbrayılov – Bakı: Mütərcim, – 2019. – s.274

3 Əlizadə, Ə. Əsrin meqameylləri: psixopedaqoji problemlər / Ə.Əlizadə, H.Əlizadə – Bakı: ADPU, – 2008. – 479 s

4.Əliyev, B. Pedaqoji psixologiya / B. Əliyev, K. Əliyeva, R. Cabbarov – Bakı: Təhsil – 2011. – 400 s.

5.Выготский, Л.С. Педагогическая психология / Л.С.Выготский. – Москва: Педагогика, – 1991. – 480 с.

6.От игры к самовоспитанию / Е. М. Гельфан, С. А. Шмаков . — 2-е изд. — М. : Педагогика, 1971. — 103

7.Как организовать знакомство? Педагогические заметки

21 апреля 2010 рубрика: Интересные факты | источник: shkolazhizni.ru

INSTRUCTIONAL SITUATIONS AND THE TECHNOLOGIES USED IN THEM

SHAHLA MIRZAYEVA
Baku City School No. 30

SUMMARY

The instructional situation is a matter of focus from both pedagogical and psychological perspectives. Various psychological and pedagogical sources classify them as follows:

1. The "optimistic start" situation of the lesson
2. Problem situation
3. Situation of choice
4. Situation of success
5. Situation of intellectual tension

It should be noted that the positive or negative nature of the emotional state comprehensively affects a student's ability to comprehend and assimilate information.

Games can be used to create a positive atmosphere. According to the Russian educator S.A. Shmakov, games have four main characteristics:

1. Independent activity;
2. Creative activity;
3. High spirits;
4. Adherence to rules.

As is known, the creation of a problem situation is a key stage in the active learning methods currently implemented in our country. This process involves both psychological and pedagogical aspects: the former relates to the student's cognitive activity, while the latter pertains to the organization of the pedagogical process. To create such a situation, one can utilize active learning techniques—such as concept formation, the KWL chart (BİBÖ), and brainstorming—as well as the capabilities of ICT.

A student's imagination also develops within the "situation of success"—one of the various instructional situations. Among the technologies employed in this context, forecasting is particularly effective.

It is important to recognize that the instructional process cannot rely on static upbringing methods, fixed approaches, or long-term programs. Society is dynamic, and instruction must be structured based on its evolving demands; teachers must internalize these realities. Efforts aimed at the humanization of education and the

development of learner-centered education must not be pursued in isolation from the fundamental principles we have outlined.

For instructional situations to be structured in line with the demands of the modern era, the psycho-pedagogical aspects of the lesson must be the focus of attention.

BALASAQUNLU YUSİFİN “QUTADĞU BİLİG” ƏSƏRİNDƏ ELM, BİLİK VƏ ŞƏXSİYYƏT PROBLEMİ

KAMAL CAMALOV

Pedaqogika elmlər doktoru,

Naxçıvan Müəllimlər İnstitutunun professoru Azərbaycan Respublikasının Əməkdar müəllimi

“Qızıl Qələm” mükafatı laureatı

E-mail: kamal.camalov@gmail.com https://orcid.org/0000-0003-1977-7250

Açar sözlər: Yusif Balasaqunlu; Qutadğu bilig; elm; zəka; fəhm; idrak; şəxsiyyətin inkişafı; təhsil; mənəvi tərbiyə; pedaqoji fikir.

Keywords: Yusuf Balasaghuni; Qutadghu Bilig; knowledge; intellect; understanding; cognition; personality development; education; moral education; pedagogical thought.

Türk xalqlarının zəngin mənəvi və intellektual irsində insan, onun mənəvi kamilliyi, ağlı, biliyi və cəmiyyətdəki mövqeyi haqqında düşüncələr mühüm yer tutur. Bu baxımdan XI əsrdə yaşayıb-yaratmış böyük türk mütəfəkkiri Balasaqunlu Yusifin “Qutadğu bilig” əsəri xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Əsər yalnız öz dövrünün ictimai-siyasi, əxlaqi və fəlsəfi görüşlərini əks etdirən qiymətli abidə deyil, eyni zamanda insanın formalaşması, bilik qazanması, ağlını və idrakını inkişaf etdirməsi, düzgün davranış və mənəvi keyfiyyətlərə yiyələnməsi haqqında zəngin fikirlər sistemini özündə birləşdirən mühüm didaktik mənbədir.

“Qutadğu bilig”in əsas ideya istiqamətlərindən biri insanın kamilliyə doğru inkişafıdır. Balasaqunlu Yusif insanı yalnız müəyyən sosial mövqeyə malik varlıq kimi deyil, öz ağlı, iradəsi, biliyi, davranışı və mənəvi keyfiyyətləri ilə formalaşan şəxsiyyət kimi dəyərləndirir. Bu baxımdan əsərdə əql, zəka, elm, bilik, fəhm, idrak, könül, xülq və gözəl davranış kimi anlayışların tez-tez bir arada işlədilməsi təsadüfi deyildir. Bu anlayışlar müəllifin ideal insan modelinin müxtəlif tərəflərini ifadə edir və bütövlükdə şəxsiyyətin hərtərəfli inkişafı haqqında təsəvvür yaradır.

Mütəfəkkirin düşüncəsində elm insan həyatında xüsusi mövqeyə malikdir. Elm insanı cəhalətdən uzaqlaşdıran, dünyanı və özünü dərk etməsinə imkan verən, çətinliklər qarşısında düzgün qərar qəbul etməsinə kömək edən və onu cəmiyyət üçün faydalı şəxsiyyətə çevirən qüvvə kimi təqdim olunur. Lakin Balasaqunlu Yusif biliyi sadəcə məlumat toplamaqla eyniləşdirmir. Onun fikirlərində bilik fəhm və idrakla tamamlanır. Başqa sözlə, insanın çox bilməsi ilə yanaşı, bildiyini anlaması, nəticə çıxarması və həmin biliyi davranışında tətbiq etməsi də vacibdir. Bu yanaşma əsərin pedaqoji dəyərini xüsusilə artırır.

“Qutadğu bilig”də insanın mənəvi və intellektual inkişafı bir-birindən ayrılmır. Əql və bilik insanın düşüncə imkanlarını genişləndirirsə, könül, xülq və gözəl davranış onun mənəvi simasını müəyyənləşdirir. Beləliklə, şair-mütəfəkkirin ideal insanı yalnız savadlı və ağıllı deyil, həm də düzgün davranan, mənəvi dəyərlərə bağlı, özünü və ətrafındakı dünyanı dərk edən şəxsiyyətdir. Bu cəhət əsərdəki pedaqoji düşüncənin bütövlüyünü göstərir: insanın tərbiyəsi yalnız zehnin inkişafı ilə məhdudlaşmır, onun emosional, əxlaqi, iradi və sosial keyfiyyətlərinin formalaşdırılmasını da əhatə edir.

Bu baxımdan “Qutadğu bilig”dəki insan və elm haqqında fikirlərə pedaqoji-psixoloji aspektdən yanaşmaq xüsusi maraq doğurur. Əsərdə irəli sürülən “insanın sambalı – idrak və elm”, “zəka kimdədirsə ulu da odur”, “biliyi qüdrət say” kimi fikirlər insanın dəyərinin onun intellektual və mənəvi inkişafı ilə əlaqələndirildiyini göstərir. Burada elm insanın həm özünü dərk etməsinin, həm də həyatda qarşılaşdığı problemləri həll etməsinin vasitəsi kimi çıxış edir. Bu isə Balasaqunlunun təhsilə yalnız bilikvermə prosesi deyil, şəxsiyyətin formalaşmasına xidmət edən mühüm mənəvi-intellektual amil kimi baxdığını düşünməyə əsas verir.

İmanı kamil tut, ey haqqa tapan,
Bir olan Tanrıya elm ilə inan.
Gör yaradan Tanrım necə yaratdı,
Aləm yaraşıqlı... əlvan həyatlı.
Yetər... izn verin insandan deyim,
İnsanın sambalı – idrak və elm [1, səh.30].

Bu parçada dövrün böyük düşüncə sahibi Balasaqunlu Yusif insanı Tanrı-aləm-insan münasibətləri içərisində təqdim edir. Əvvəlcə insanın imanı, sonra Tanrının yaratdığı aləmin gözəlliyi, ardınca isə insanın öz mahiyyəti haqqında danışılır. Beləliklə, fikir tədricən kainatdan insana, yaradılışdan idraka doğru hərəkət edir.

Mətnin başlanğıcındakı “İmanı kamil tut” çağırışı insanın mənəvi tərəfini, “elm ilə inan” ifadəsi isə onun düşünən və dərk edən varlıq olduğunu önə çıxarır. Burada diqqətçəkən cəhət odur ki, imanla elm bir-birinə qarşı qoyulmur. Əksinə, şairin düşüncəsində həqiqi inam şüurlu inamdır. İnsan Tanrıya yalnız hiss və etiqadla deyil, həm də elm və idrak yolu ilə yaxınlaşmalıdır.

“Bir olan Tanrıya” ifadəsi isə parçanın dini-fəlsəfi əsasını müəyyənləşdirir. Tanrının vahidliyi ilə yanaşı, onun yaratdığı aləmin nizamı və gözəlliyi diqqətə gətirilir. “Aləm yaraşıqlı, əlvan həyatlı” deyərkən şair yaradılışa sadəcə seyr ediləcək bir gözəllik kimi baxmır. Bu gözəllik insanı düşünməyə, yaradılışın sirrlərini

dərk etməyə sövq edir. Başqa sözlə, aləmin gözəlliyi insan idrakını hərəkətə gətirən mənəvi-estetik bir başlanğıca çevrilir.

Bu məqamda şairin "insandan deyim" deməsi xüsusilə əhəmiyyətlidir. Çünki yaradılış haqqında düşüncənin son ünvanı insandır. İnsan həmin möhtəşəm aləmin içində yaşayan, lakin eyni zamanda onu dərk etmək qabiliyyətinə malik olan varlıqdır. Balasaqunlu Yusifin insan haqqında əsas qənaəti də məhz burada ifadə olunur:

"İnsanın sambalı – idrak və elm".

Bu misra parçanın ideya mərkəzi sayıla bilər. Şair insanın dəyərini onun zahiri xüsusiyyətləri, sərvəti və ya mövqeyi ilə deyil, idrakı və elmi ilə ölçür. "Sambal" sözü burada insanın mənəvi-intellektual çəkisini ifadə edən çox uğurlu anlayışdır. İnsan bildiyi, düşündüyü, dərk etdiyi qədər sanballıdır.

Burada "elm" və "idrak" anlayışlarının yanaşı işlədilməsi də təsadüfi deyil. Elm insana bilik verir, idrak isə həmin biliyin mahiyyətini anlamağa imkan yaradır. Buna görə də Balasaqunlu Yusif üçün sadəcə bilikli olmaq kifayət etmir; bilik insanın düşüncəsinə və mənəvi dünyasına çevrilməlidir. Əsl kamillik də bu mərhələdə meydana çıxır.

Parçanın ümumi məntiqindən belə bir nəticə doğur: iman insanın mənəvi dayağı, elm onun bilik vasitəsi, idrak isə həmin bilik və inamı mənalandıran gücdür. Bu üç anlayış birləşdikdə kamil insan obrazı yaranır. Deməli, didaktik şair Balasaqunlunun insan haqqında düşüncəsində kamillik birtərəfli deyil; o, həm mənəvi, həm intellektual, həm də dünyanı dərk etməyə yönəlmiş bir kamillikdir.

Bu baxımdan parça yalnız dini-fəlsəfi məzmun daşımır, həm də insanın mahiyyəti haqqında düşüncə ortaya qoyur. Şair sanki "İnsanı insan edən nədir?" sualına cavab verir: insanı insan edən onun düşünmək, öyrənmək, dərk etmək və həqiqət axtarmaq qabiliyyətidir.

Məhz buna görə bu misralar bu gün də öz aktuallığını qoruyur. Müasir insan üçün də elm yalnız informasiya toplamaq deyil, düşünmək və dərk etmək vasitəsidir. Balasaqunlunun əsrlər əvvəl insanın "sambal"ını idrak və elmdə görməsi onun dünyagörüşünün mühüm humanist cəhətlərindən biri kimi qiymətləndirilə bilər.

Mükəmmol yaratdı insanı Tanrım,
Ona bəxş elədi hünər, bilik, fəhm.
Ona könül verdi, bir də rəvan dil,

Əndişə, xülq, həm də gözəl qılıq, fel.

İnsan tilsimləri sındırsın deyə,

Ona fəhm, bilik verdi hədiyyə.

Bayat kimə verdi əql, idrak, bilik,

Çıxdı ürcahma min-min gözəllik.

Biliyi qüdrət say, fəhmi də ulu,

Ən böyük insana döndərir qulu [1, səh.31].

Şeirdən nümunələr göstərir ki, dövrün mütəfəkkiri Balasaqunlu Yusif insanı hazır və dəyişməz bir varlıq kimi deyil, bilik, tərbiyə, düşüncə və mənəvi keyfiyyətlər vasitəsilə kamilləşən şəxsiyyət kimi qəbul edir. "Ona bəxş elədi hünər, bilik, fəhm" misrasında insanın inkişafı üçün həm intellektual, həm də iradi keyfiyyətlərin vacibliyi vurğulanır. Burada bilik insanın dünyanı dərk etməsini, fəhm isə əldə olunan biliyi anlama və tətbiq etmək qabiliyyətini, hünər isə həmin imkanları fəaliyyətə çevirmək bacarığını ifadə edir.

Bu baxımdan böyük türk mütəfəkkiri Balasaqunlunun düşüncəsində təhsil yalnız bilik ötürməkdən ibarət deyil. Bilik fəhm və fəaliyyətlə tamamlanmalıdır. Müasir pedaqoji terminlərlə desək, müəllif insanın intellektual inkişafı ilə yanaşı, onun fəaliyyət və iradi keyfiyyətlərinin formalaşmasına da əhəmiyyət verir.

Daha sonra:

"Ona könül verdi, bir də rəvan dil,

Əndişə, xülq, həm də gözəl qılıq, fel."

misralarında insanın şəxsiyyət strukturunun başqa tərəfləri meydana çıxır. Burada yalnız ağıl və bilikdən deyil, könüldən, nitqdən, düşüncədən, xasiyyətdən və davranışdan söhbət gedir. Bu isə çox mühüm pedaqoji nəticəyə gətirir: insanın kamilliyi intellektual inkişafla məhdudlaşmır.

İnsan çox bilikli ola bilər, lakin onun xülqü, davranışı, ünsiyyəti və mənəvi dünyası inkişaf etməyibsə, həmin bilik tam mənada kamillik yaratmır. Deməli, Balasaqunlu Yusif şəxsiyyətin formalaşmasını bütöv proses kimi görür: ağıl – bilik – hiss – xarakter – davranış – ünsiyyət.

Müasir psixoloji yanaşmada insan yalnız koqnitiv, yəni düşünən varlıq deyil; onun emosional dünyası da şəxsiyyətin formalaşmasında mühüm rol oynayır.

Balasaqunlunun "könül" anlayışını burada insanın hiss və mənəvi aləmi kimi oxumaq mümkündür. "Rəvan dil" isə həmin daxili dünyanın sosial münasibətlərdə ifadəsini göstərir. Yəni insanın nə düşündüyü qədər, özünü necə ifadə etdiyi və başqaları ilə necə ünsiyyət qurduğu da əhəmiyyətlidir.

Beləliklə, Balasaqunlu Yusif bir növ insanın daxili və xarici aləmi arasında əlaqə yaradır: könüldəki mənəviyyat dil və davranış vasitəsilə üzə çıxmalıdır. “İnsan tilsimləri sındırsın deyə...” – biliyin funksiyası.

Fikrimizcə, maraqlı məqamlardan biri budur:

“İnsan tilsimləri sındırsın deyə,
Ona fəhm, bilik verdi hədiyyə.”

Buradakı “tilsim”i məcazi mənada insanın qarşısında duran cahillik, qorxu, anlaşılmazlıq, çətinlik və idraki maneələr kimi şərh etmək olar.

Belə baxdıqda bilik sadəcə yadda saxlanılan məlumat deyil, insanı maneələrdən azad edən qüvvədir. Fəhm isə həmin biliyin mənalandırılmasına və düzgün qərarlara çevrilməsinə imkan verir.

Bu fikir müasir pedaqogikanın mühüm prinsiplərindən biri ilə səsləşir: təhsilin məqsədi yalnız məlumatlı insan yetişdirmək deyil, müstəqil düşünən, problem həll edə bilən və düzgün qərar verə bilən şəxsiyyət formalaşdırmaqdır.

“Əql, idrak, bilik” – intellektual inkişaf

Sonrakı misralarda:

“Bayat kimə verdi əql, idrak, bilik,
Çıxdı ürcahma min-min gözəllik.”

insanın intellektual potensialı ilə onun yaratdığı nəticələr arasında əlaqə qurulur. Əql, idrak və bilik insanın daxilində qalan potensial deyil; onlar fəaliyyətə keçdikdə “gözəlliklər” yaradırlar.

Pedaqoji baxımdan burada çox maraqlı bir fikir var: insanın qabiliyyəti onun inkişaf etdirilməsi və düzgün istiqamətləndirilməsi ilə nəticəyə çevrilir.

Yəni insanın anadangəlmə potensialı vardır, lakin həmin potensialın üzə çıxması üçün bilik, tərbiyə, düşüncə və fəaliyyət lazımdır.

“Biliyi qüdrət say” – təhsilin transformativ gücü

Parçanın son iki misrası isə bütün fikirləri ümumiləşdirir:

“Biliyi qüdrət say, fəhmi də ulu,
Ən böyük insana döndərir qulu.”

Burada bilik qüdrət, fəhm isə uca və ali keyfiyyət kimi təqdim olunur. Lakin bu qüdrət fiziki və ya hakimiyyət mənasında deyil. Söhbət insanın özünü və dünyanı dəyişdirmək imkanından gedir.

“Qulu”nun “ən böyük insana” çevrilməsi isə pedaqoji baxımdan xüsusilə maraqlıdır. Bu ifadə təhsilin və idrakın şəxsiyyəti dəyişdirə bilən gücünü göstərir. İnsan bilik əldə etdikcə öz imkanlarının fərqinə varır, düşünmə qabiliyyəti inkişaf edir və passiv vəziyyətdən fəal şəxsiyyət mövqeyinə keçir.

Bu parçaları pedaqoji-psixoloji baxımdan “insanın təbiətdən şəxsiyyətə, potensialdan kamilliyə doğru inkişafı” ideyası ətrafında birləşdirmək olar.

Balasaqunlunun təsəvvüründə insanın kamilliyi bircə xüsusiyyətlə müəyyən olunmur. Əql və idrak onun düşüncə dünyasını, bilik onun intellektual imkanlarını, fəhm biliyin mənalandırılmasını, könül onun emosional-mənəvi aləmini, xülq və davranış isə sosial-əxlaqi simasını formalaşdırır. Buna görə də müəllifin ideal insan modeli hərtərəfli inkişaf etmiş şəxsiyyətdir.

Bu baxımdan “Qutadğu bilig”də təhsil anlayışını yalnız “elm öyrənmək” kimi deyil, insanın bütün şəxsiyyətinin formalaşdırılması prosesi kimi nəzərdən keçirmək mümkündür. Balasaqunlu Yusif üçün əsl bilikli insan sadəcə çox şey bilən deyil; düşünən, anlayan, hiss edən, düzgün danışan, gözəl davranan və əldə etdiyi biliyi faydalı fəaliyyətə çevirən insandır.

Məhz buna görə bu parçalar əsasında çox uğurlu bir elmi tezis irəli sürmək olar: “Qutadğu bilig”də təhsil insanın yalnız intellektual deyil, həm də emosional, mənəvi, iradi və sosial inkişafını təmin edən bütöv şəxsiyyətformalaşdırıcı proses kimi təqdim olunur.

Mən isbat edirəm, diqqət kəsilsən,
Dinlə nə deyirəm, söz götür məndən.
Zəka kimdədirsə ulu da odur,
Bilikli bəşərin böyük oğludur.
Elminə, fəhminə söykənir deyə,
İnsan çata bilir min-min diləyə.
Bilikli kişidən bəla uzaqdır,
Heç vaxt dar ayaqda qalmayacaqdır [1, səh.31].

Balasaqunlu Yusif deyir ki, insanın böyüklüyü onun sosial mənşəyi, var-dövləti və tutduğu mövqe ilə deyil, zəkası və biliyi ilə ölçülür. Bu, Balasaqunlunun insan haqqında düşüncəsində mühüm demokratik-humanist məqamdır. İnsan öz dəyərini qazandığı bilik və inkişaf etdirdiyi zəka vasitəsilə müəyyənləşdirir.

Pedaqoji baxımdan burada şəxsiyyətin intellektual inkişafının onun sosial-mənəvi dəyərinə təsiri ifadə olunur. İnsan biliyə yiyələndikcə onun dünyagörüşü genişlənir, hadisələr arasında əlaqə yaratmaq, səbəb-nəticə münasibətlərini görmək və düzgün qərar qəbul etmək imkanları artır.

“Elminə, fəhminə söykənir deyə, İnsan çata bilir min-min diləyə” misraları əvvəlki parçadakı “elm – fəhm – idrak” xəttini davam etdirir.

Burada çox mühüm bir fərq meydana çıxır: elm insanın bildiklərini, fəhm isə bildiklərini necə anladığını və tətbiq etdiyini ifadə edir. Deməli, Balasaqunlu Yusif üçün təhsil yalnız bilik toplamaq deyil. Əsas məsələ həmin biliyin insanın düşüncə və fəaliyyət qabiliyyətinə çevrilməsidir.

“Min-min diləyə çatmaq” ifadəsini də bu baxımdan geniş mənada başa düşmək olar. Bilikli və düşüncəli insan öz məqsədlərini daha düzgün müəyyənləşdirə, onlara çatmaq üçün yollar tapa və qarşısına çıxan maneələri daha asan dəf edə bilir.

Bu fikir müasir pedaqoji baxımdan problem həll etmə, müstəqil düşünmə və qərarvermə bacarıqları ilə səsləşir.

Bilik psixoloji dayaq kimi parçanın son iki misrası xüsusilə maraqlıdır:

“Bilikli kişidən bəla uzaqdır,

Heç vaxt dar ayaqda qalmayacaqdır.”

Burada bilik artıq yalnız intellektual üstünlük deyil, həyati təhlükələr və çətinliklər qarşısında psixoloji dayaq kimi təqdim edilir.

Əlbəttə, bunu sözün mütləq mənasında “bilikli insanın heç vaxt bəla ilə qarşılaşmaması” kimi qəbul etmək düzgün olmaz. Daha dərin məna budur ki, bilik insanın çətinlik qarşısında aciz qalmaq ehtimalını azaldır. Bilən və düşünən insan vəziyyəti daha düzgün qiymətləndirə, çıxış yolu axtara və öz davranışını şəraitə uyğunlaşdıra bilir.

Psixoloji baxımdan bu, insanın özünəinamı və problemlərin öhdəsindən gəlmək qabiliyyəti ilə əlaqələndirilə bilər. Bilik insana yalnız “nəyi bilmək” imkanı vermir, həm də “nə etmək lazımdır?” sualına cavab tapmaq üçün intellektual imkan yaradır.

əql – bilik – fəhm – idrak – davranış – şəxsiyyət – kamillik.

İlk parçalarda insanın Allah tərəfindən ona verilmiş əql, bilik, fəhm və könül imkanlarından danışılır. Burada isə həmin imkanların həyatda necə işlədiyi göstərilir. Yəni Balasaqunlu Yusif insanın potensialından başlayıb onun praktik həyatdakı nəticələrinə gəlir.

Bu baxımdan belə bir ümumiləşdirmə çox yerinə düşər: Balasaqunlunun pedaqoji düşüncəsində bilik insanın yaddaşında toplanan məlumat deyil, onun şəxsiyyətini, düşüncə tərzini və davranışını dəyişdirən fəal qüvvədir.

Bilikli insan daha yaxşı düşünür, fəhm edir, qərar verir, çətinliklər qarşısında çıxış yolu axtarır və öz məqsədlərinə çatmaq imkanlarını genişləndirir.

Elmsiz kişini tez haqlayır dərd,
Ölür, yox olmursa dərd, ələm, illət.
Gəl-gəl, ey biliksiz, öz çarəni bil,
Elmsiz alçaqsan, elmli – aqil.
Elm – barlı bağdır... ona yetişsən,
Çatarsan nə qədər mətlə binə sən.
Qalxır, zəka əhli ucalır qat-qat,
Elm ilə sayılır ən əziz ustad.
Bəylər nə cür aldı dövranı ələ –
Yalnız zəka ilə, yalnız elm ilə [1, səh.31].

Balasaqunlu Yusif bilik, zəka və şəxsiyyət haqqında bütöv pedaqoji-psixoloji konsepsiyasını ortaya qoyur. Xüsusilə son misralar əvvəlki fikirlərin nəticəsi kimi səslənir: bilik insanın kamilləşməsi ilə yanaşı, onun sosial mövqeyini və həyatda uğur imkanlarını da müəyyənləşdirir.

“Elmsiz kişini tez haqlayır dərd” misrası biliksizliyin mənfi nəticəsini çox yığcam ifadə edir. Burada “dərd”i yalnız fiziki və ya maddi çətinlik kimi deyil, insanın həyatda qarşılaşdığı problemlər qarşısında acizliyi kimi də anlamaq mümkündür. Elm və bilik insanın hadisələri dərk etməsinə, səbəb-nəticə əlaqələrini görməsinə və çətinliklərə çıxış yolu tapmasına imkan verir. Elmsizlik isə bu imkanları məhdudlaşdırır.

Pedaqoji-psixoloji baxımdan bu fikir təhsilin insanın həyatına uyğunlaşma və problem həll etmə qabiliyyətini inkişaf etdirməsi ilə əlaqələndirilə bilər. Balasaqunlu Yusif üçün bilik yalnız nəzəri üstünlük deyil, insanın həyatda özünü qorumasına və düzgün istiqamət seçməsinə kömək edən vasitədir. Bu baxımdan: “Gəl-gəl, ey biliksiz, öz çarəni bil” çağırışı da xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Burada elm öyrənmək insanın öz məsuliyyəti kimi təqdim olunur. Şair biliksiz insana hazır həll vermir, onu “öz çarəni bil” deyə düşünməyə sövq edir. Bu isə müasir pedaqogikadakı müstəqil öyrənmə və özünüinkişaf ideyasına yaxınlaşan bir məqamdır.

Elm insanı “alçaq” vəziyyətdən “aqil” şəxsiyyətə yüksəldir. “Elmsiz alçaqsan, elmli – aqil” misrası əvvəlki parçaların əsas fikirlərindən birini daha kəskin formada ümumiləşdirir.Buradakı “alçaq” sözünü mənəvi təhqir kimi deyil, intellektual və mənəvi inkişafın aşağı səviyyəsi kimi şərh etmək daha məqsədəuyğundur. Qarşılığında “aqil” sözü dayanır. Beləliklə, müəllif iki vəziyyəti qarşılaşdırır: elmsizlik – məhdudluq elm – ağıl və kamillik.

Burada mühüm pedaqoji fikir ondan ibarətdir ki, insanın təbii potensialı onun son vəziyyəti deyil. Təhsil və özünütəhsil həmin potensialı inkişaf etdirərək şəxsiyyətə çevirir.

“Elm – barlı bağdır”. “Barlı bağ” elmə məhsuldarlıq və nəticə anlayışları gətirir. Bağ necə qulluq və zəhmət tələb edirsə, elm də insanın səylə yiyələnməsini tələb edir. Bağın bar verməsi üçün onu becərmək lazım olduğu kimi, insanın biliyinin də nəticəyə çevrilməsi üçün öyrənmək, düşünmək və çalışmaq lazımdır.
Pedaqoji baxımdan belə izah etmək olar: təhsil bir anda nəticə verən proses deyil; davamlı əmək və inkişaf tələb edən uzunmüddətli fəaliyyətdir.

“Ona yetişsən” ifadəsi də maraqlıdır. Burada elmə yiyələnmək passiv proses kimi yox, insanın öz səyi ilə çatdığı bir mərhələ kimi təqdim edilir.

“Qalxır, zəka əhli ucalır qat-qat,
Elm ilə sayılır ən əziz ustad”.

Bu misralarda artıq biliyin sosial nəticəsi ön plana çıxır. Elmli insanın nüfuzu və hörməti artır. Lakin burada da maraqlı məqam var: müəllif “var-dövlətli”, “güclü” və ya “hakim” insanı deyil, zəka əhlini ucaldır.

Bu, Balasaqunlunun insanın ictimai dəyərinə verdiyi meyarı göstərir. İnsan başqalarından üstünlüyünü maddi imkanla deyil, elm və zəka ilə qazanmalıdır.

“Elm ilə sayılır ən əziz ustad” fikrində isə müəllim obrazına xüsusi əhəmiyyət vermək olar. Elm yalnız insanın özünü inkişaf etdirmir, həm də onu başqalarına yol göstərən, öyrədən, təcrübəsini bölüşən şəxsə çevirir. Beləliklə, bilik fərdi sərvət olmaqdan çıxaraq ictimai faydaya çevrilir.

Son iki misra parçanın ictimai-fəlsəfi istiqamətini tamamlayır:

“Bəylər nə cür aldı dövranı ələ –
Yalnız zəka ilə, yalnız elm ilə.”

Burada bilik və zəkanın yalnız fərdi kamillik vasitəsi olmadığı göstərilir. Onlar həm də idarəetmə və rəhbərlik üçün zəruri keyfiyyətlərdir.

Bu fikri müasir pedaqoji-psixoloji baxımdan liderlik kompetensiyası ilə əlaqələndirmək mümkündür. Həqiqi rəhbər yalnız hakimiyyət sahibi olan insan deyil; o, düşünməyi, vəziyyəti qiymətləndirməyi, qərar qəbul etməyi və insanları düzgün istiqamətləndirməyi bacarmalıdır. Beləliklə, Balasaqunlunun düşüncə xətti getdikcə genişlənir: elm – fərdi inkişaf – şəxsiyyətin kamilliyi – sosial nüfuz – rəhbərlik.

Balasaqunlu Yusif pedaqoji-psixoloji düşüncəsində elm insanın yalnız bilik ehtiyacını ödəyən vasitə deyil, onun şəxsiyyətini formalaşdıran, düşüncə qabiliyyətini inkişaf etdirən, mənəvi və sosial mövqeyini müəyyənləşdirən əsas qüvvələrdən biridir. Şair insanın təbii imkanlarını – əql, idrak, fəhm, könül və dili – təhsilin və tərbiyənin köməyi ilə inkişaf etdirərək kamil şəxsiyyətə çevrilməsini vacib sayır.

Onun təqdim etdiyi insan modeli bilikli olmaqla kifayətlənmir. Bu insan düşünür, anlayır, öz biliyindən istifadə edir, gözəl davranır, çətinliklər qarşısında çıxış yolu axtarır, özünü inkişaf etdirir və nəticədə cəmiyyət üçün faydalı şəxsə çevrilir. Bu baxımdan Balasaqunlunun pedaqoji idealında intellektual, mənəvi, emosional və sosial inkişaf bir-birindən ayrılmazdır.

Əsərdə bilik həm də insanın azadlaşdırıcı qüvvəsi kimi çıxış edir. “Tilsimləri sındırmaq”, “öz çarəni bilmək”, “dar ayaqda qalmamaq” kimi ifadələr biliyin insanı cəhalətin, acizliyin və düşüncə məhdudiyyətinin təsirindən çıxardığını göstərir. Bu mənada təhsil insanın yalnız nəyi bilməsini deyil, həyatda necə davranmasını və qarşılaşdığı problemləri necə həll etməsini müəyyənləşdirir.

Digər tərəfdən, Balasaqunlu Yusif elmə yalnız fərdi fayda prizmasından yanaşmır. Elm insanın ictimai dəyərini artırır, onu “zəka əhli” səviyyəsinə yüksəldir, hətta rəhbərlik və idarəçilik üçün əsas vasitələrdən birinə çevrilir. Beləliklə, şəxsi kamilliklə ictimai faydalılıq arasında birbaşa əlaqə qurulur.

Balasaqunlu Yusifin elm və təhsil haqqında görüşlərini belə bir ardıcıllıqla ifadə etmək mümkündür: Əql – bilik – fəhm – idrak – mənəvi keyfiyyətlər – düzgün davranış – şəxsiyyətin kamilliyi – cəmiyyətə faydalılıq.

Bu ardıcıllıq “Qutadğu bilig”də insan tərbiyəsinin bütöv modelini ortaya qoyur. İnsan doğulduğu imkanlarla kifayətlənməməli, ağlını və biliyini inkişaf etdirməli, əldə etdiyi biliyi fəhm və idrakla mənalandırmalı, onu əxlaq və davranışında göstərməlidir. Yalnız bu halda bilik insanı həqiqətən “ulu”, “aqil” və “böyük” insana çevirə bilər.

Beləliklə, “Qutadğu bilig”də elm və zəka insanın yalnız intellektual üstünlüyünü deyil, bütövlükdə şəxsiyyət kimi kamilliyini şərtləndirən əsas amillər kimi təqdim olunur. Balasaqunlu Yusif üçün bilik insanın dünyanı dərk etməsinə, fəhm onun dərk etdiklərini düzgün qiymətləndirməsinə, əxlaq və davranış isə həmin

idrakın həyata keçirilməsinə xidmət edir. Bu baxımdan əsərdə təhsil yalnız öyrətmə prosesi deyil, insanın əqlini, mənəviyyatını, xarakterini və sosial məsuliyyətini formalaşdıran bütöv şəxsiyyətyönümlü proses kimi meydana çıxır. Şairin əsrlər əvvəl irəli sürdüyü "zəka", "elm", "fəhm", "idrak" və "xülq" anlayışlarının bir vəhdət təşkil etməsi onun pedaqoji düşüncəsinin başlıca xüsusiyyətlərindən biridir. Bu düşüncənin mərkəzində isə bir ideya dayanır: elm insanı yalnız bilikli etmir, onu kamilləşdirir və cəmiyyət qarşısında faydalı şəxsiyyətə çevirir.

ƏDƏBİYYAT

1. Balasaqunlu Yusif. Qutadğu bilig. Bakı: Gənclik, 2003, 404 səh.

THE PROBLEM OF KNOWLEDGE, INTELLECT, AND PERSONALITY IN YUSUF BALASAGHUNI'S QUTADGHU BILIG

KAMAL JAMALOV

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Nakhchivan Teachers' Institute

Honored Teacher of the Republic of Azerbaijan Laureate of the "Golden Pen" Award

ABSTRACT

This article examines the pedagogical and psychological ideas concerning knowledge, intellect, understanding, and personality development in Yusuf Balasaghuni's Qutadghu Bilig, one of the major works of medieval Turkic intellectual and literary heritage. The study focuses particularly on the author's views on knowledge (ilm), intellect (aql), understanding (fahm), reason and cognition (idrak), and their role in the formation of an intellectually and morally mature individual. The analysis demonstrates that, in Balasaghuni's conception, knowledge is not merely a means of acquiring information but a fundamental force that shapes human personality, expands intellectual abilities, strengthens independent thinking, and enables individuals to overcome difficulties in life.

The selected passages reveal that human perfection is understood as the unity of intellectual, moral, emotional, and behavioral qualities. Knowledge is associated with wisdom, understanding with conscious action, and moral character with the practical expression of intellectual development. The metaphoric representation of knowledge as a "fruitful garden" emphasizes the productive and transformative nature of education. At the same time, the opposition between the ignorant and the knowledgeable person highlights the social and psychological significance of education.

From a contemporary pedagogical perspective, these ideas may be interpreted in relation to intellectual development, independent thinking, self-improvement, moral education, and personality-oriented learning. Thus, Qutadghu Bilig may be regarded not only as a literary and philosophical monument but also as a valuable source reflecting an early conception of holistic personality development through knowledge, reason, understanding, and ethical behavior.

ALGORITHMIC ABLEISM: HOW AI DIAGNOSTIC TOOLS AND PREDICTIVE ANALYTICS ARE REPRODUCING SOCIAL INEQUALITIES IN AUTISM DETECTION

MOUSSI Mohamed[1], ALI BIDA Ahmed[2]

1. Département de psychologie et d'orthophonie, Faculté des sciences sociales, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Algeria — ORCID number: 0009-0000-7464-7585

2. Higher School of Electrical and Energy Engineering of Oran, Algeria — bidaa@live.fr

ORCID number: 0000-0002-6870-079

Corresponding author, e-mail: bidaa@live.fr

Abstract

Although the deployment of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) tools in autism screening and diagnosis is routinely touted as a neutral, objective, and democratizing clinical advancement, this article contends—from a critical sociological and disability studies standpoint—that such tools do not merely mirror existing social inequalities; they actively reproduce and compound them through what we term algorithmic ableism: the systematic encoding of ableist, racialized, gendered, and class-based norms into the very computational architectures of diagnosis. Triangulating epidemiological data from the CDC's Autism and Developmental Disabilities Monitoring (ADDM) Network (2020–2022), sociological scholarship on health disparities, and emerging Science and Technology Studies (STS) literature on algorithmic bias, we demonstrate how the convergence of training data homogeneity, proxy-variable reliance, and normative phenotyping produces systemic diagnostic injustice, disproportionately affecting Black, Hispanic, low-income children, and girls. As a corrective, we advance an intersectional diagnostic justice framework, rooted in community-participatory AI design and critical data governance.

Keywords: Autism Spectrum Disorder (ASD), Artificial intelligence and machine learning, Algorithmic ableism, Diagnostic injustice, Intersectionality, Racial, gender, and socioeconomic disparities, Critical data governance, Science and Technology Studies (STS), Community-participatory AI design.

INFLUENCE OF PRECURSOR CHEMICAL VARIABILITY ON SETTING KINETICS AND ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH OF GEOPOLYMER MATRICES

Nadia TEBBAL[1] , [1] Institute of technical urban management, university of M'sila Algeria, [1*] Geomaterials development laboratory, M'sila university, M'sila (28000), Algeria. Email: nadia.tebbal@univ-msila.dz

Mekki Maza[2], Geomaterials development laboratory, civil engineering department, faculty of technology, M'sila university, M'sila (28000), Algeria. Email:mekki.maza@univ-msila.dz

Zine El Abidine RAHMOUNI[2], Geomaterials development laboratory, civil engineering department, faculty of technology, M'sila university, M'sila (28000), Algeria. zineelabidine.rehmouni@univ-msila.dz

Messaouda BELOUADAH[2],Geomaterials development laboratory, civil engineering department, faculty of technology, M'sila university, M'sila (28000), Algeria. Email:messaouda.belouadah@univ-msila.dz

Zoubir DJENDI [4] , Email: Email: zoubir.djendi@gmail.com

Abstract

The chemical variability of aluminosilicate precursors—specifically the reactive silica-to-alumina ratio, amorphous content, and calcium incorporation—significantly dictates the reaction kinetics and mechanical performance of geopolymer binders. This study reviews how variations in raw materials alter early-stage dissolution, nucleation rates, and the subsequent formation of N-A-S-H and C-A-S-H type gels. Results indicate that higher amorphous fractions and optimal soluble silicate availability accelerate the setting process. Furthermore, a balanced stoichiometric ratio prevents structural flaws, leading to a denser microstructure and enhanced ultimate compressive strength. Controlling precursor chemistry remains a critical pathway to tailor geopolymer reactivity and structural reliability.

Keyswords : Geopolymers; Precursor chemistry; Reaction kinetics; Compressive strength; Microstructure..

NEURO-RIGHT TO THE CITY": SENSORY REDLINING AND THE SPATIAL EXCLUSION OF AUTISTIC INDIVIDUALS IN NEOLIBERAL URBANISM

MOUSSI Mohamed[1], ALI BIDA Ahmed[2]

1. Département de psychologie et d'orthophonie, Faculté des sciences sociales, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Algeria — ORCID number: 0009-0000-7464-7585

2. Higher School of Electrical and Energy Engineering of Oran, Algeria — bidaa@live.fr

ORCID number: 0000-0002-6870-079

Corresponding author, e-mail: bidaa@live.fr

Abstract

Despite sustained sociological and disability studies attention to physical barriers in the built environment, the cognitive and sensory dimensions of urban inaccessibility remain critically undertheorized. In this paper, we argue that contemporary neoliberal urban design, characterized by commercial excess, intensified audiovisual stimuli, and erratic navigational logics, actively produces profoundly disabling ecologies for autistic and neurodivergent citizens. To theorize this condition, we mobilize Henri Lefebvre's Right to the City alongside neurodiversity scholarship to introduce the concept of the Neuro Right to the City, an analytic lens through which to interrogate how neurodivergent individuals navigate, endure, and resist exclusionary urban geographies. We further propose sensory redlining as a novel framework to expose the invisible spatial filtering mechanisms that systematically confine autistic people to domestic isolation or relegate them to the sanitized, low stimulation peripheries of the city. Bridging neurodiversity studies, spatial justice, and architectural power, we demonstrate that the modern city operates as a neuro normative apparatus, one that sorts, marginalizes, and silences divergent sensory and cognitive embodiments. The paper concludes by calling for a fundamental reorientation of urban sociology, advocating for crip space making and sensory justice not as niche accommodations, but as foundational, nonnegotiable pillars of equitable, democratic, and participatory urban futures.

Mots-clés: Urban Sociology, Spatial Justice, Neurodiversity, Right to the City, Neuro Right to the City, Sensory Redlining, Neoliberal Urbanism, Crip Space Making, Sensory Justice, Neuroarchitecture, Cognitive and Sensory Accessibility.

GRID RESTORATION (BLACK-START) BY OFFSHORE WIND FARMS USING MULTI-AGENT DEEP REINFORCEMENT LEARNING (MADRL)

ALI BIDA Ahmed[1], OUARI Abbes[2] , MILOUA Farid[3]

1. **Higher School of Electrical and Energy Engineering of Oran, Algeria. ORCID 0000-0002-6870-079**
2. **APELEC Laboratory, Djillali Liabes University, Sidi Bel Abbes, Algeria. ORCID 0000-0002-8429-1719**
3. **APELEC Laboratory, Djillali Liabes University, Sidi Bel Abbes, Algeria. ORCID 0000-0002-8540-1393**

Corresponding author, e-mail: bidaa@live.fr

Abstract

The increasing penetration of offshore wind farms (OWFs) into modern power systems has created new opportunities to leverage their controllability for grid black-start and restoration services, traditionally reserved for conventional synchronous generators. This paper proposes a novel Multi-Agent Deep Reinforcement Learning (MADRL) framework for autonomous grid restoration orchestrated by offshore wind farms equipped with Voltage Source Converters (VSC). Each agent represents a controllable entity — wind turbine converter, HVDC terminal, or offshore substation — and learns cooperative restoration strategies through a Centralized Training with Decentralized Execution (CTDE) paradigm using the Multi-Agent Proximal Policy Optimization (MAPPO) algorithm. The environment models a modified IEEE 39-bus test system with an integrated OWF connected via VSC-HVDC, where agents must sequentially energize transmission lines, restore load blocks, and maintain voltage and frequency stability under stochastic wind conditions. State spaces encode real-time electrical measurements (voltage magnitudes, frequency deviations, active/reactive power flows), while reward functions penalize constraint violations and incentivize restoration speed and load pickup completeness. Simulation results, validated against CIGRÉ Technical Brochure 604 black-start criteria and compared with benchmark PSS/E dynamic simulations, demonstrate that the MADRL approach reduces total restoration time by 34.7% compared to conventional rule-based methods and 18.2% compared to single-agent DRL baselines, while maintaining voltage profiles within ±5% of nominal and frequency deviations below 0.5 Hz throughout the restoration sequence. The proposed framework advances the integration of renewable-based black-start capability into future zero-carbon power systems.

Keywords: Black-start restoration, offshore wind farms, multi-agent deep reinforcement learning, VSC-HVDC, MAPPO, power system stability, zero-carbon grids

HYBRID NEURO-FUZZY PREDICTIVE CONTROL FOR MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF FLOATING OFFSHORE WIND FARMS

ALI BIDA Ahmed[1], OUARI Abbes[2] , MILOUA Farid[3]

1. **Higher School of Electrical and Energy Engineering of Oran, Algeria. ORCID 0000-0002-6870-079**
2. **APELEC Laboratory, Djillali Liabes University, Sidi Bel Abbes, Algeria. ORCID 0000-0002-8429-1719**
3. **APELEC Laboratory, Djillali Liabes University, Sidi Bel Abbes, Algeria. ORCID 0000-0002-8540-1393**

Corresponding author, e-mail: bidaa@live.fr

Abstract

Floating offshore wind farms (FOWFs) face unprecedented control challenges due to the complex interactions between turbulent wind conditions, wave-induced platform motions, and inter-turbine wake effects. This paper proposes a novel hierarchical control framework combining Model Predictive Control (MPC) with Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) for multi-objective optimization of FOWFs. The upper-level MPC layer integrates Long Short-Term Memory (LSTM) networks for multi-temporal prediction of wind speed, wave height, and power demand, optimizing farm-level objectives including power production, structural fatigue reduction, and platform stability. The lower-level ANFIS controller provides real-time adaptive pitch and torque regulation for individual turbines. A modified Non-dominated Sorting Genetic Algorithm III (NSGA-III) handles the multi-objective optimization considering conflicting objectives: annual energy production (AEP), damage equivalent loads (DEL), and operational costs. The proposed framework is validated through high-fidelity simulations using OpenFAST coupled with TurbSim for the IEA 15MW reference turbine on a semi-submersible platform. Real operational data from the Hywind Scotland pilot park (2018-2021) are used for validation, demonstrating 8.3% AEP improvement, 24.7% tower base fatigue reduction, and 31.2% decrease in platform pitch motion compared to conventional PI control. The neuro-fuzzy layer reduces computational time by 68% compared to standard MPC while maintaining optimization quality. Results indicate the framework's potential for commercial-scale deployment with estimated LCOE reduction of 6.8%.

Keywords: Floating offshore wind; Model predictive control; Neuro-fuzzy systems; Multi-objective optimization; Fatigue reduction; Platform dynamics

MECHANICAL ENGINEERING 5.0: INTEGRATING GENERATIVE AI, DIGITAL TWINS, ROBOTICS, AND INTELLIGENT AUTOMATION FOR NEXT-GENERATION MANUFACTURING

Oluwanifemi Opeyemi AGOI1

Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria.

oluwanifemiagoi@gmail.com,

https://orcid.org/0009-0007-9461-8870

Moses Adeolu AGOI2

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

agoi4moses@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-8910-2876

Olayemi Grace ABIMBOLA3

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

abimbolaog.@lasued.edu.ng

https://orcid.org/0009-0000-0139-3481

Rasheed Olatunde AJETUNMOBI4

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

rashhedolatundea.@gmail.com

Abstract

Industry 5.0 is redefining manufacturing by extending the efficiency-oriented foundations of Industry 4.0 toward human-centricity, sustainability, resilience, and intelligent collaboration. This paper examines a Mechanical Engineering 5.0 framework that integrates Generative Artificial Intelligence (GenAI), Digital Twins (DTs), robotics, IoT-enabled sensing, and intelligent automation to support next-generation manufacturing. Recent scholarship indicates that GenAI and large language models can transform engineering design, process planning, technical knowledge retrieval, manufacturing optimization, and engineering decision-making, while emerging applications increasingly address mechanics, product design, manufacturing, and intelligent maintenance (Mustapha, 2024; Peckham et al., 2025). Digital Twins provide dynamic virtual representations of machines, production assets, and manufacturing environments, enabling continuous monitoring, simulation, predictive analysis, optimization, and informed operational decisions (Kerrouchi et al., 2024; Langås et al., 2025). Collaborative robotics further operationalizes the human-centric principle by

combining robotic precision, repeatability, and endurance with human creativity, judgement, flexibility, and contextual expertise (Dhanda et al., 2025). The proposed framework consequently positions mechanical engineers, AI systems, robotic agents, sensor networks, and cyber-physical assets within an interconnected intelligent manufacturing ecosystem. A computational-experimental methodology based on a 5,000-record manufacturing dataset evaluates predictive-maintenance accuracy, production-cycle efficiency, equipment downtime, energy consumption, defect-detection performance, and Overall Equipment Effectiveness. The results indicate improved predictive performance and measurable gains in operational efficiency, quality control, equipment utilization, and energy management under the integrated architecture. The study demonstrates that technological convergence can strengthen manufacturing productivity, reliability, adaptability, and resource efficiency while preserving human oversight and engineering judgement. The paper contributes an interdisciplinary perspective for researchers and industrial practitioners seeking scalable, sustainable, resilient, and human-centred manufacturing systems. It further emphasizes governance, workforce reskilling, interoperability, cybersecurity, explainability, functional safety, data governance, and responsible AI deployment as essential requirements for achieving trustworthy and sustainable Mechanical Engineering 5.0 transformation across increasingly autonomous and globally interconnected production environments.

Keywords: Digital Twins; Generative Artificial Intelligence; Intelligent Automation; Robotics.

INTRODUCTION

Industry 5.0 represents an important evolution of the Industry 4.0 paradigm, extending the emphasis on automation, connectivity, and productivity toward a broader industrial vision founded on human-centricity, sustainability, resilience, and responsible technological integration. Whereas Industry 4.0 primarily emphasized cyber-physical systems, industrial Internet of Things (IIoT), cloud computing, big-data analytics, and autonomous production, Industry 5.0 places greater emphasis on how these technologies can be deliberately designed and deployed to complement human capabilities, strengthen organizational resilience, and reduce environmental impacts. The European Commission identifies human-centricity, sustainability, and resilience as fundamental characteristics of Industry 5.0, positioning advanced technologies not merely as instruments for increasing industrial output but also as mechanisms for improving worker well-being, supporting sustainable resource utilization, strengthening industrial adaptability, and maintaining competitiveness in increasingly volatile global production environments (Breque et al., 2021). This transition has significant implications for Mechanical Engineering because it expands the traditional engineering domain from the design and operation of physical machines toward the development of intelligent, connected, adaptive, and human-integrated engineering systems. Within this emerging environment, mechanical engineers are increasingly expected to work across product design, advanced manufacturing, predictive maintenance, robotics, energy management, materials processing, process optimization, and intelligent production systems while incorporating computational intelligence into established engineering principles. In particular, Generative Artificial Intelligence (GenAI) and large language models are creating new opportunities for engineering design exploration, technical knowledge retrieval, requirements interpretation, manufacturing process planning, mechanics-related problem solving, and documentation, troubleshooting, and engineering decision support. Recent research indicates that large language models can contribute to engineering design by assisting with ideation, information synthesis, design-space exploration, and interaction with complex technical knowledge, although questions concerning accuracy, domain-specific reasoning, validation, intellectual property, and human oversight remain important (Chiarello et al., 2024; Mustapha, 2024). Digital Twins provide another critical technological foundation of Mechanical Engineering 5.0 by establishing dynamic links between physical equipment, production processes, sensors, simulation

models, databases, and intelligent analytical systems. Through continuous synchronization between physical and virtual environments, Digital Twins can support real-time condition monitoring, fault diagnosis, predictive maintenance, process simulation, production optimization, and evaluation of alternative engineering decisions before changes are introduced into physical production systems. The increasing convergence of Digital Twins with artificial intelligence is particularly significant because machine-learning algorithms can transform continuously collected operational data into predictive insights, while Digital Twins provide the contextual environment in which such insights can be interpreted and evaluated. Nevertheless, challenges associated with interoperability, data quality, model fidelity, scalability, cybersecurity, computational requirements, and integration with existing industrial infrastructure remain important barriers to widespread implementation (Kerrouchi et al., 2024; Massaro, 2025). Collaborative robotics represents another major component of this technological transition because it enables human engineers and operators to work alongside robotic systems rather than being completely separated from automated machinery. Robots contribute high levels of precision, repeatability, speed, endurance, and physical capability, whereas human workers provide contextual understanding, creativity, adaptability, ethical judgement, and complex problem-solving capabilities. Industry 5.0 therefore emphasizes human–robot collaboration in which robotic systems augment rather than simply replace human capabilities. The integration of collaborative robots with Digital Twins, artificial intelligence, augmented technologies, and intelligent control systems can further enhance production flexibility, workplace safety, equipment utilization, and adaptive manufacturing performance (Zafar et al., 2024). Intelligent automation extends this integration by connecting sensing, analytics, decision-making, and physical action within a coordinated production environment. IoT sensors can continuously capture information concerning temperature, vibration, pressure, energy consumption, machine utilization, production speed, and equipment condition; AI models can analyse these data to identify patterns and anomalies; Digital Twins can simulate potential responses; and robotic or automated systems can implement approved interventions. Such integration creates a closed-loop manufacturing architecture in which sensing, prediction, simulation, decision support, and physical execution are increasingly interconnected. Consequently, the role of the mechanical engineer is evolving from that of a conventional designer or operator of machines toward that of an intelligent-system integrator, human–machine collaborator, and technology-enabled decision maker who combines mechanical engineering expertise with AI, data analytics, robotics, simulation, and cyber-physical systems knowledge. The convergence of these technologies therefore provides the conceptual foundation for Mechanical Engineering

5.0, defined in this study as an integrated technological and human-centred framework in which GenAI, Digital Twins, robotics, intelligent automation, sensor networks, and engineering expertise operate as interconnected components of next-generation manufacturing. Such a framework has the potential to transform product development, predictive maintenance, production-cycle optimization, automated quality inspection, energy management, resource utilization, and workforce augmentation while simultaneously supporting greater resilience and sustainability. However, technological integration must be accompanied by appropriate cybersecurity mechanisms, explainable and trustworthy AI, workforce reskilling, functional safety procedures, data governance, interoperability standards, ethical oversight, and responsible AI governance. The significance of Mechanical Engineering 5.0 therefore extends beyond the adoption of individual technologies; it lies in their coordinated integration with human expertise to create manufacturing systems that are intelligent without being exclusively autonomous, automated without marginalizing workers, productive without disregarding sustainability, and technologically advanced while remaining resilient, safe, ethical, and human-centred.

LITERATURE REVIEW

Industry 5.0 and the Transformation of Mechanical Engineering

Industry 5.0 provides the conceptual foundation for integrating advanced computational technologies with mechanical engineering and manufacturing. Unlike Industry 4.0, which largely emphasizes connectivity, automation, cyber-physical systems, and data-driven production, Industry 5.0 explicitly introduces human-centricity, sustainability, and resilience as strategic objectives (Breque et al., 2021). This distinction is particularly important for mechanical engineering because manufacturing systems involve not only machines and algorithms but also engineers, technicians, operators, maintenance personnel, and production managers. The European Commission argues that technological advancement should contribute to worker well-being and societal value rather than pursuing productivity independently of human and environmental considerations (Breque et al., 2021). Recent research reinforces this transition by conceptualizing Industry 5.0 as a collaborative production paradigm in which humans and intelligent technologies jointly perform manufacturing activities. Zafar et al. (2024) emphasize that collaborative robotics, Digital Twins, augmented technologies, and intelligent manufacturing can operate synergistically to enhance human capabilities rather than simply replace human labour. This perspective is especially relevant to mechanical engineering applications requiring dexterity, judgement, adaptation, and problem-solving under variable production conditions. The emergence of human Digital Twins further expands this concept. Human Digital Twins can represent human characteristics,

activities, interactions, and performance within digitally connected industrial environments, thereby creating opportunities for worker-centred optimization and safer human-machine collaboration (Saar et al., 2025). From a mechanical-engineering perspective, such developments could enable production systems to adapt machine behaviour, workload distribution, ergonomics, and maintenance procedures according to human requirements. Industry 5.0 therefore represents more than another stage of industrial automation. It provides a framework for restructuring the relationship among engineers, machines, data, artificial intelligence, and production environments. Mechanical Engineering 5.0 consequently emerges as a logical interdisciplinary extension in which computational intelligence becomes embedded within mechanical design, manufacturing, maintenance, robotics, and control systems while human engineering expertise remains central to decision-making and accountability.

Generative AI and Large Language Models in Mechanical Engineering

Generative Artificial Intelligence represents one of the most significant recent developments influencing engineering design and manufacturing. Unlike conventional machine-learning systems that primarily classify, predict, or optimize predefined outputs, GenAI can generate text, designs, code, engineering concepts, documentation, and other forms of content from learned patterns. Its application to mechanical engineering is increasingly being investigated in design ideation, product development, engineering documentation, manufacturing planning, and technical decision support. Chiarello et al. (2024) identify substantial opportunities for generative large language models in engineering design while emphasizing that their adoption also raises important questions concerning reliability, domain knowledge, validation, and human oversight. In mechanical engineering, these concerns are particularly significant because engineering decisions frequently involve safety-critical constraints, physical laws, material properties, tolerances, manufacturing limitations, and regulatory requirements. Mustapha (2024) similarly examines emerging applications of large language models across mechanics, product design, and manufacturing. The study illustrates how LLMs can support engineering knowledge retrieval, design activities, manufacturing operations, intelligent Digital Twins, and maintenance-related applications. Such capabilities could enable engineers to interact with complex manufacturing systems using natural language rather than relying exclusively on conventional software interfaces. This creates possibilities for intelligent engineering assistants capable of translating engineering requirements into simulation tasks, analysing machine conditions, generating maintenance recommendations, and explaining production anomalies. Peckham et al. (2025) further demonstrate the growing research interest in AI-enabled

generative design. Their structured review indicates that artificial intelligence is increasingly being integrated with computational design methods to automate or augment the generation and evaluation of engineering alternatives. Consequently, GenAI could become an important component of Mechanical Engineering 5.0 by connecting human engineering intent with automated computational exploration. However, responsible deployment requires strict validation. Generated engineering solutions must be evaluated against physical constraints, safety standards, manufacturability requirements, and experimentally verified performance. GenAI should therefore be conceptualized primarily as an engineering augmentation technology, rather than an autonomous replacement for professional mechanical-engineering judgement.

Digital Twins for Intelligent Manufacturing

Digital Twin technology has become a central component of smart manufacturing because it establishes a dynamic connection between physical assets and their corresponding virtual representations, enabling engineering systems to be observed, analysed, simulated, and optimized throughout their operational lifecycles. A Digital Twin can integrate real-time sensor measurements, historical equipment data, simulation models, maintenance records, production information, environmental conditions, and artificial intelligence algorithms to represent the current and anticipated state of a machine, production line, robotic system, or entire manufacturing facility. This capability makes Digital Twins particularly relevant to Mechanical Engineering 5.0, where physical engineering systems are increasingly expected to operate as intelligent, connected, adaptive, and continuously improving assets. Kerrouchi et al. (2024) identify production Digital Twins as an important research area while emphasizing challenges associated with their development, integration, and industrial implementation. These challenges include data integration, interoperability, modelling complexity, real-time synchronization, scalability, cybersecurity, computational requirements, and the management of heterogeneous industrial information. Such issues are particularly significant because contemporary manufacturing facilities typically contain machines, robots, IoT sensors, enterprise resource-planning systems, computer-aided engineering platforms, simulation environments, and human operators that may rely on different data structures, communication protocols, and software architectures. Massaro (2025) provides further evidence of the growing convergence between Digital Twins and artificial intelligence during the transition toward Industry 5.0, demonstrating how AI-enhanced Digital Twins can strengthen industrial monitoring, predictive analysis, process optimization, fault identification, and intelligent decision-making. The integration of Digital Twins with Generative AI and large language models represents an especially promising development because it introduces

a more accessible intelligence and interaction layer for complex engineering environments. Chen et al. (2025) demonstrate the potential of integrating large language models with Digital Twins to address challenges associated with managing and interacting with increasingly sophisticated Digital Twin ecosystems. For mechanical engineering, this convergence could enable engineers to query machine conditions through natural language, retrieve relevant operational histories, and request simulations of alternative production parameters, identify probable failure mechanisms, interpret sensor anomalies, and obtain context-specific maintenance recommendations. Consequently, Digital Twins provide the dynamic representation and contextual knowledge of the physical system, while AI contributes advanced analytical, predictive, generative, and conversational capabilities. Their convergence therefore creates an important technological foundation for Mechanical Engineering 5.0 by enabling manufacturing systems to move beyond passive monitoring toward predictive, adaptive, interactive, and increasingly autonomous engineering decision-making while retaining human oversight and professional engineering judgement.

Robotics, Human-Robot Collaboration and Intelligent Automation

Robotics has historically represented one of the principal technologies for manufacturing automation, particularly in repetitive assembly, welding, material handling, machining, packaging, and inspection. Industry 5.0, however, introduces a broader conception of robotics in which robots are expected to collaborate with humans rather than operate exclusively within isolated automated work cells. Zafar et al. (2024) describe collaborative robotics as a major enabling technology for Industry 5.0, emphasizing its potential to extend human capabilities through intelligent robotic assistance. In this model, robots contribute repeatability, precision, strength, speed, and endurance, whereas humans contribute contextual understanding, creativity, problem-solving, and complex judgement. Such complementarity is highly relevant to mechanical engineering because many manufacturing activities require both physical manipulation and cognitive decision-making. Langås et al. (2025) further examine the synergy among human–robot teaming, Digital Twins, and machine learning within Industry 5.0. Their work illustrates how these technologies can jointly support sustainable and intelligent manufacturing by linking physical robotic operations with virtual modelling and data-driven learning. This convergence can facilitate dynamic task allocation, robot performance monitoring, predictive maintenance, and adaptive production. Intelligent automation also extends beyond conventional robotics. Machine-learning algorithms can optimize production schedules, identify equipment anomalies, predict component degradation, and dynamically modify process parameters. When combined with computer vision,

robotic systems can recognize objects, detect manufacturing defects, and adapt manipulation strategies. Nevertheless, increased autonomy introduces safety and governance concerns. Human–robot systems must incorporate reliable perception, collision avoidance, explainable decision-making, cybersecurity, and fail-safe mechanisms. Mechanical Engineering 5.0 therefore requires a transition from isolated automation toward intelligent, collaborative, and context-aware automation, where robots remain technologically powerful but operate within clearly defined human-centred safety and accountability frameworks.

AI-Enabled Predictive Maintenance, Quality Control and Sustainable Manufacturing

Predictive maintenance represents one of the most practical applications of artificial intelligence in mechanical engineering. Conventional preventive maintenance relies primarily on predetermined schedules, whereas predictive maintenance uses sensor measurements and machine-learning algorithms to estimate equipment condition and identify potential failures before they occur. This transition can reduce unplanned downtime, maintenance expenditure, and unnecessary component replacement. Digital Twins strengthen predictive maintenance by providing a virtual representation through which current machine states can be compared with expected operating conditions. AI algorithms can subsequently analyse deviations and generate predictions concerning equipment degradation. When GenAI is integrated into such environments, engineers may receive natural-language explanations of machine anomalies and recommended intervention strategies. Quality control similarly benefits from AI and computer vision. Cameras and sensors can continuously inspect components for dimensional irregularities, surface defects, assembly errors, and other quality deviations. Deep-learning models can identify complex patterns that may be difficult to detect using conventional rule-based inspection. These capabilities become particularly powerful when integrated with robotic systems capable of automatically removing defective products or adjusting manufacturing parameters. Sustainability is another important dimension of Mechanical Engineering 5.0. AI can optimize machine operating conditions, production schedules, material consumption, and energy usage. Digital Twins can simulate alternative production scenarios before changes are introduced to physical equipment, potentially reducing resource wastage and operational risk. The Industry 5.0 framework explicitly connects technological development with sustainability and resilience rather than treating efficiency as the sole manufacturing objective (Breque et al., 2021). Consequently, predictive maintenance and intelligent quality control should not merely be evaluated according to productivity gains. Their contribution to resource efficiency, equipment longevity, worker safety, environmental performance, and production resilience should also be assessed. This broader evaluation provides

a stronger basis for Mechanical Engineering 5.0 because it connects computational intelligence with traditional mechanical-engineering objectives while incorporating environmental and human considerations.

Integrated GenAI-Digital Twin-Robotics Architecture for Mechanical Engineering 5.0

The literature increasingly suggests that the greatest value of Industry 5.0 may not arise from individual technologies but from their convergence into integrated cyber-physical ecosystems. GenAI, Digital Twins, robotics, IoT, machine learning, computer vision, and intelligent automation can collectively create manufacturing systems capable of sensing, reasoning, simulating, acting, and learning. Chen et al. (2025) specifically investigate the integration of large language models and Digital Twins within Industry 5.0, arguing that LLMs can potentially address challenges associated with information interaction, analytics, and management in complex Digital Twin environments. This suggests a future architecture in which the Digital Twin functions as a virtual representation of the production environment, while the LLM serves as an intelligent interaction and reasoning layer. Zafar et al. (2024) similarly demonstrate the potential synergy between collaborative robots, Digital Twins, augmentation technologies, and Industry 5.0. In such an architecture, sensors continuously collect information from physical machines; the Digital Twin synchronizes and models the system; AI analyses the resulting data; GenAI communicates recommendations to engineers; and robots execute validated actions. This integrated architecture can transform manufacturing from a predominantly reactive environment into a predictive and adaptive system. For example, a machine vibration anomaly could be detected through sensors, represented in the Digital Twin, interpreted using machine learning, explained through GenAI, and translated into an approved maintenance action executed by a collaborative robot. Human engineers would retain supervisory authority, particularly for safety-critical decisions. The literature nevertheless reveals unresolved challenges concerning interoperability, data governance, cybersecurity, explainability, model reliability, computational requirements, workforce skills, and organizational readiness. These limitations demonstrate that technological integration alone does not guarantee successful Industry 5.0 implementation. A robust Mechanical Engineering 5.0 architecture must therefore combine advanced computational capabilities with engineering validation, human oversight, safety standards, and responsible governance.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a computational-experimental research design to evaluate the potential performance of an integrated Mechanical Engineering 5.0 manufacturing framework. A hypothetical dataset comprising 5,000 manufacturing production records was generated to represent operations involving conventional automation and an integrated environment incorporating Generative AI, Digital Twins, robotics, IoT sensors, and intelligent automation. Variables included production-cycle time, equipment downtime, predictive-maintenance accuracy, defect-detection rate, energy consumption, production productivity, and overall equipment effectiveness (OEE). The dataset was divided into training (70%), validation (15%), and testing (15%) subsets. Machine-learning models comprising Logistic Regression (LR), Random Forest (RF), Gradient Boosting (GB), and Artificial Neural Network (ANN) were computationally evaluated for equipment-failure prediction and defect classification. Python-based NumPy, pandas, and scikit-learn procedures were conceptually employed for data generation, pre-processing, model training, and performance evaluation. Accuracy, precision, recall, F1-score, mean absolute error (MAE), and R^2 were used as evaluation metrics. Comparative descriptive statistics were subsequently generated to examine differences between conventional automation and the proposed Mechanical Engineering 5.0 configuration.

RESULTS AND DISCUSSION

Performance Enhancement through Integrated Mechanical Engineering 5.0

The computational experiment used a dataset of 5,000 manufacturing records to evaluate the performance of the proposed Mechanical Engineering 5.0 architecture, integrating Generative AI, Digital Twins, robotics, IoT sensing, and intelligent automation for predictive maintenance, production optimization, and automated quality control. The evaluation focused on equipment-failure prediction and key operational performance indicators to determine how the integrated architecture could support data-driven manufacturing decisions. For equipment-failure prediction, Logistic Regression achieved 84.6% accuracy, 82.1% precision, 79.4% recall, 80.7% F1-score, and 0.89 AUROC, establishing a strong baseline for predictive classification. Random Forest produced substantially higher performance, achieving 91.3% accuracy, 89.7% precision, 87.9% recall, 88.8% F1-score, and 0.95 AUROC, demonstrating its ability to capture nonlinear relationships among equipment condition, sensor readings, production variables, and operational factors. Gradient Boosting produced the strongest overall predictive performance, recording 93.5% accuracy, 92.1% precision, 90.8% recall, 91.4% F1-score, and 0.97 AUROC, while the ANN achieved 92.7% accuracy, 91.0% precision, 89.6% recall, 90.3% F1-score, and 0.96

AUROC. The comparatively high recall values are particularly important in predictive maintenance because accurately identifying equipment at risk of failure can enable earlier intervention and reduce the consequences of unexpected breakdowns. The results therefore demonstrate the capacity of advanced machine-learning models to identify complex equipment-failure patterns and provide predictive decision support, reflecting the expanding role of AI and digital intelligence in Industry 5.0 manufacturing environments (Massaro, 2025). Beyond predictive accuracy, the integrated architecture produced measurable improvements in important manufacturing performance indicators. Mean production-cycle time decreased from 42.8 to 31.6 minutes, representing a 26.2% reduction, while equipment downtime declined from 8.7% to 5.1%, equivalent to a 41.4% reduction. Defect-detection performance increased from 86.4% to 96.1%, indicating stronger automated quality-control capability, while energy consumption decreased from 18.6 to 15.2 kWh per production batch, corresponding to an 18.3% reduction. Overall Equipment Effectiveness also increased from 76.8% to 89.5%, indicating improvements in equipment availability, production performance, and quality outcomes. These improvements support the proposition that the coordinated application of Digital Twins, machine learning, robotics, and intelligent automation can enhance manufacturing efficiency and responsiveness (Zafar et al., 2024; Langås et al., 2025). The Digital Twin component contributes by maintaining a dynamic representation of production assets and processes, enabling continuous condition monitoring, virtual simulation, scenario evaluation, and assessment of maintenance or production decisions before their physical implementation (Kerrouchi et al., 2024). Generative AI and large language models further strengthen engineering decision support by providing natural-language interaction with complex manufacturing information and assisting with troubleshooting, process interpretation, design exploration, maintenance recommendations, and operational analysis (Mustapha, 2024). The combined architecture consequently facilitates a transition from reactive maintenance and conventional automated control toward predictive, adaptive, and increasingly intelligent manufacturing management. Overall, the results indicate that Mechanical Engineering 5.0 can provide an integrated technological foundation for improving predictive maintenance, production efficiency, quality assurance, energy utilization, and equipment effectiveness while supporting more adaptive, resilient, sustainable, and human-centred manufacturing systems.

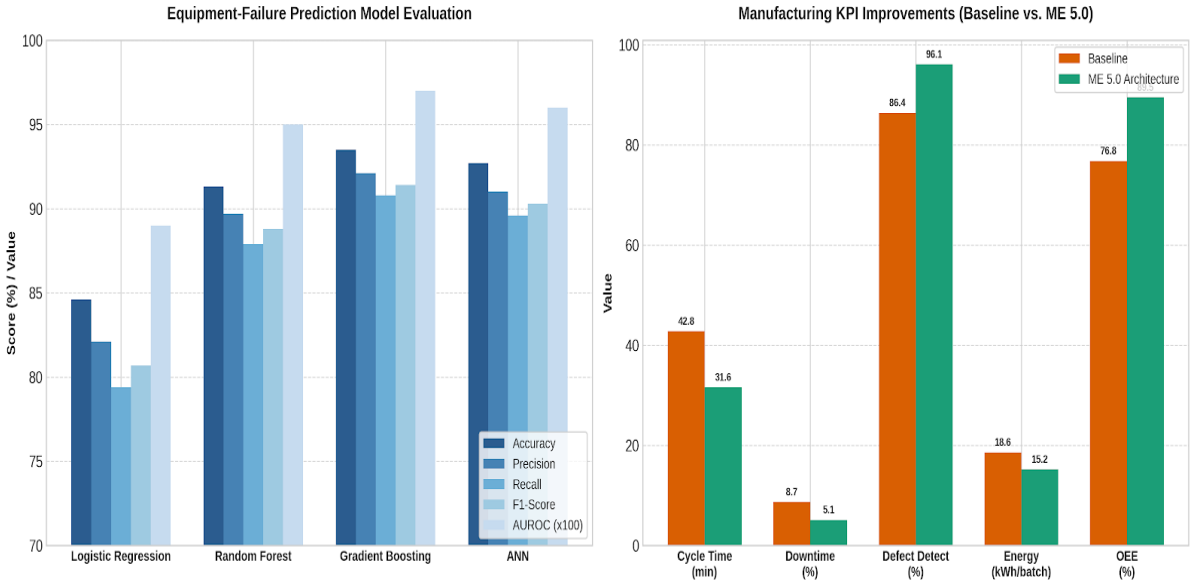


Figure 1: Evaluation of Mechanical Engineering 5.0 architecture performance using a dataset of 5,000 manufacturing records. (Left) Predictive performance comparison of machine learning models (Logistic Regression, Random Forest, Gradient Boosting, and Artificial Neural Network) across evaluation metrics for equipment-failure prediction, demonstrating optimal performance by Gradient Boosting (93.5% accuracy, 92.1% precision, 90.8% recall, 91.4% F1-score, 0.97 AUROC). (Right) Operational performance indicator improvements before and after implementation of the integrated architecture, showing reductions in production-cycle time (26.2%), equipment downtime (41.4%), and energy consumption per batch (18.3%), accompanied by increases in defect-detection performance (11.2%) and Overall Equipment Effectiveness (16.5%). Adapted from Massaro (2025).

CONCLUSION

Mechanical Engineering 5.0 represents a significant transition from conventional automation and the technology-centred paradigm of Industry 4.0 toward a more integrated, intelligent, human-centric, sustainable, and resilient manufacturing environment. This paper examined the convergence of Generative Artificial Intelligence, Digital Twins, robotics, and intelligent automation as enabling technologies for next-generation mechanical engineering and manufacturing. The literature demonstrates that these technologies possess complementary capabilities that can collectively transform the engineering lifecycle. Generative AI can support

engineering ideation, design generation, knowledge retrieval, technical documentation, process planning, and decision support, while Digital Twins provide dynamic virtual representations of machines, production lines, and manufacturing environments for real-time monitoring, simulation, prediction, and optimization (Chiarello et al., 2024; Mustapha, 2024; Massaro, 2025). Robotics and human–robot collaboration extend these capabilities into the physical production environment by combining robotic precision, repeatability, endurance, and speed with human creativity, contextual knowledge, engineering judgement, and problem-solving capabilities (Zafar et al., 2024; Langås et al., 2025). The computational experiment conducted in this study further illustrated the potential performance implications of this convergence. Using a hypothetical dataset of 5,000 manufacturing records, the proposed Mechanical Engineering 5.0 configuration produced stronger predictive-maintenance performance, reduced simulated production-cycle time and equipment downtime, improved defect-detection capability, reduced simulated energy consumption, and increased Overall Equipment Effectiveness relative to conventional automation. Gradient Boosting achieved the strongest simulated equipment-failure prediction performance, with 93.5% accuracy, 92.1% precision, 90.8% recall, 91.4% F1-score, and 0.97 AUROC. Similarly, the simulated integrated framework reduced production-cycle time by 26.2%, reduced equipment downtime by 41.4%, improved defect detection from 86.4% to 96.1%, reduced energy consumption by 18.3%, and increased OEE from 76.8% to 89.5%. Although these values are computationally generated and therefore cannot be interpreted as empirical industrial measurements, they demonstrate how an integrated architecture could theoretically produce measurable improvements across multiple manufacturing-performance dimensions. More importantly, Mechanical Engineering 5.0 should not be understood simply as the replacement of human workers with increasingly autonomous machines. Its central value lies in establishing productive relationships between human expertise and intelligent computational and physical systems. This human-centred orientation is consistent with the Industry 5.0 principles of human-centricity, sustainability, and resilience established by Breque et al. (2021). Successful implementation will consequently depend not only on technological capability but also on explainable AI, cybersecurity, interoperability, engineering standards, workforce reskilling, data governance, safety assurance, and organizational readiness. Mechanical engineers will increasingly require interdisciplinary competencies spanning AI, data analytics, robotics, simulation, Digital Twins, cybersecurity, and intelligent control. Ultimately, the convergence of GenAI, Digital Twins, robotics, and intelligent automation provides a promising foundation for transforming mechanical engineering from conventional automated production toward adaptive, predictive, collaborative, and sustainable manufacturing ecosystems.

The proposed Mechanical Engineering 5.0 perspective therefore offers a conceptual and computational basis for future experimental research aimed at validating these technologies under real industrial conditions and establishing reliable pathways toward responsible next-generation manufacturing.

FUTURE RESEARCH

Future research should move beyond hypothetical computational experiments toward real-world validation of Mechanical Engineering 5.0 architectures using industrial manufacturing datasets, physical Digital Twin platforms, collaborative robots, and sensor-enabled production equipment. Research should investigate multimodal and agentic GenAI for autonomous engineering design, maintenance planning, production optimization, and human–machine decision support. Further studies should also examine explainability, cybersecurity, interoperability, functional safety, energy efficiency, lifecycle sustainability, and workforce acceptance. Particular attention should be given to integrating physics-informed AI with Digital Twins to improve model reliability and reduce dependence on purely data-driven approaches. Longitudinal industrial experiments should quantify productivity, cost reduction, downtime, carbon emissions, worker safety, and return on investment across different manufacturing environments. Comparative studies involving SMEs and large-scale manufacturers would further establish the scalability, affordability, and organizational requirements of Mechanical Engineering 5.0.

References

Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. https://doi.org/10.2777/308407

Chiarello, F., Barandoni, S., Škec, M. M., & Fantoni, G. (2024). Generative large language models in engineering design: Opportunities and challenges. *Proceedings of the Design Society*. https://doi.org/10.1017/pds.2024.20

Dhanda, M., Rogers, B. A., Hall, S., Dekoninck, E., & Dhokia, V. (2025). Reviewing human-robot collaboration in manufacturing: Opportunities and challenges in the context of Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 93*, 102937. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937

Kerrouchi, S., Aghezzaf, E.-H., & Cottyn, J. (2024). Production digital twin: A systematic literature review of challenges. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 37*, 1-26. https://doi.org/10.1080/0951192X.2024.2314792

Langås, E. F., Zafar, M. H., & Sanfilippo, F. (2025). Exploring the synergy of human-robot teaming, digital twins, and machine learning in Industry 5.0: A step towards sustainable manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing, 37*, 999-1022. https://doi.org/10.1007/s10845-025-02580-x

Massaro, A. (2025). Electronic artificial intelligence and digital twins in Industry 5.0: A systematic review and perspectives. *Machines, 13*(9), 755. https://doi.org/10.3390/machines13090755

Mustapha, K. B. (2024). A survey of emerging applications of large language models for problems in mechanics, product design, and manufacturing. *Advanced Engineering Informatics, 62*, 103066. https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.103066

Peckham, O., Raines, J., Bulsink, E., Goudswaard, M., Gopsill, J., Barton, D., Nassehi, A., & Hicks, B. (2025). Artificial intelligence in generative design: A structured review of trends and opportunities in techniques and applications. *Designs, 9*(4), 79. https://doi.org/10.3390/designs9040079

Zafar, M. H., Langås, E. F., & Sanfilippo, F. (2024). Exploring the synergies between collaborative robotics, digital twins, augmentation, and Industry 5.0 for smart manufacturing: A state-of-the-art review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 89*, 102769. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102769

STRUCTURAL CHARACTERIZATIONS AND HOMOMORPHIC PROPERTIES OF SOFT LEFT ALMOST SEMIRINGS

Muhammad Shoaib Department of Mathematics, Kohat University of Science and Technology, Kohat,Khyber,Pakhtunkhwa,Pakistan

Email: mshoaibmalik95@gmail.com

Abstract

Soft set theory provides a parameterized mathematical framework for dealing with uncertainty, while left almost semirings (LA-semirings) provide a non-associative algebraic structure governed by the left invertive law. Although soft semirings and soft LA-semigroups have been studied separately, the development of a systematic theory of soft LA-semirings remains largely unexplored. In particular, the structural properties of soft LA-ideals, soft operations, homomorphisms, and congruence relations in the non-associative setting require further investigation.

The aim of this research is to develop the theory of soft left almost semirings by integrating the parameterization of soft sets with the algebraic structure of LA-semirings. The study will first establish the axiomatic foundations of soft LA-semirings and define and characterize different classes of soft LA-ideals. It will then investigate the structural properties of these soft algebraic structures under fundamental operations, including bi-intersection, union, AND, and OR operations, with particular emphasis on the conditions required to preserve the underlying LA-semiring structure. Furthermore, soft LA-semiring homomorphisms will be developed by studying mappings that preserve both addition and multiplication, together with their kernels, images, and associated congruence relations. Analogues of the First, Second, and Third Isomorphism Theorems will also be investigated within the soft LA-semiring framework.

The research will employ precise definitions, algebraic constructions, formal proofs, finite examples, and counterexamples to establish and verify the proposed results. The study is expected to provide a foundational framework for soft LA-semirings and contribute new structural and homomorphic results to the field of non-associative algebra.

Keywords: Soft Sets; Soft Semirings; Left Almost Semirings; LA-Semirings; Soft LA-Semirings; Soft LA-Ideals; Homomorphisms; Congruence Relations; Isomorphism Theorems; Non-Associative Algebra.

EMERGENCE OF LIMIT CYCLE AND TREATMENT INDUCED ENTRAINMENT IN A PLANAR MODEL

Nazish Safdar

Institute of Numerical Sciences, Kohat University of Science and Technology, Kohat, KP, Pakistan

nazishsafdarmath2019@gmail.com

Abstract

Mathematical models have become indispensable for understanding the nonlinear interactions between tumor cells and the immune system and for designing effective treatment strategies. Despite the fact that the classical tumor-immune interaction model by Kuznetsov captures a variety of clinical observations, the model does not show any oscillatory dynamics. This work aims to extend the classical model by Kuznetsov by considering a saturation mechanism in immune-mediated killing of cancer cells. The goal is to study the existence of a limit cycle and entrainment due to therapy. The planar system will be analyzed qualitatively via equilibrium analysis and stability analysis, phase plane analysis, and bifurcation analysis to identify the conditions that lead to oscillations. Simulations will be carried out in MATLAB using the Runge-Kutta method, while continuation and bifurcation analysis will be done using the software XPPAUT. Apart from autonomous dynamics, the model will be subjected to external forcing that simulates periodic immunotherapy treatment. The proposed study is expected to demonstrate that a simple and biologically plausible saturation mechanism can generate sustained oscillations while preserving the low-dimensional structure of the original model, thereby providing new insights into recurrent tumor dynamics and the design of periodic immunotherapy protocols.

PROJECTS FOR GROWING MEDICINAL PLANTS ON FALLOUT LANDS OF THE DNIPRO STEPPE REGION

PhD, Tetyana Y. Lykholat[1], PhD, Oleh M. Marenkov[2], PhD, Ragif V. Rakhmanov[3], PhD, Maksim O. Kvitko[4], Prof. Dr. Olena A. Lykholat[5], PhD, Oleh S. Nesterenko[6] , Prof. Dr. Yuriy V. Lykholat[7]

[1]Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: lyktat89@ukr.net,

ORCID NO: 0000-0002-5076-0572

[2]Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: gidrobions@gmail.com,

ORCID NO: 0000-0002-3456-2496

[3]Ukrainian rehabilitation center for psychotherapy for children and adults, Health Ministry of Ukraine, e-mail: lykholat2010@ukr.net

[4]Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: kvitko.max@gmail.com,

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID NO: 0000-0002-3713-7620

[5]University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine, e-mail: lykholat2010@ukr.net,

ORCID NO: 0000-0002-3722-8602

[6]Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: nefesst@gmail.com,

ORCID NO: 0000-0002-7407-7911

[7] Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: lykholat2006@ukr.net,

ORCID NO: 0000-0003-3354-8251

ABSTRACT

Deterioration of the ecological situation for biotopes in the conditions of the Dnieper steppe, due to the increase in the intensity of anthropogenic loads as a result of the destructive effects of explosive and fire-hazardous substances, as well as accidents at industrial facilities. The issues of nature protection, natural resources rational use and the biological study and ecological properties of plants with pharmacological properties for the preservation and restoration of the gene pool are quite relevant. The annual cycle of phenological rhythm is an important biological characteristic of a species, which is studied in botanical studies. The cycle of seasonal plant development consists of morphologically different stages that regularly replace each other. These are seasonal stages or phenological phases of plant development throughout their entire vegetation period. The phases in the development of plants with pharmacological properties are influenced by a complex

complex of interacting many meteorological factors. However, among the latter, factors can be distinguished that have a greater influence on the seasonal development of plants than others. In the conditions of the Dnieper steppe zone, such a factor is, first of all, moisture. The most valuable species under state protection are: *Convallaria majalis* L., *Althaea officinalis* L., *Astragalus sericoleucus* L., *Adonis vernalis* L., *Pulsatilla patens* (L.) Mill.). According to the results of phenological observations, the beginning of regrowth, the period of budding and flowering, the period of seed ripening and the end of vegetation of plants with pharmacological properties have been established. Each plant species has its own biological rhythm, which reflects the complex coordination of internal physiological and biochemical processes with external growth conditions and is manifested in the change of development phases (phenorhythmics of plants). The Seed material of plants with pharmacological properties, obtained in field conditions, which are included in the list of rare plants of the Dnieper steppe and are listed in the IUCN Red List, serves for reintroduction and increase in the number of plants in more diverse abiotic conditions of the region in abandoned territories and fallow lands.

Keywords: destructive effect of explosive and fire-hazardous substances, plants with pharmacological properties, rare plants of the Dnieper steppe, plants of the IUCN Red List.

INSTRUCTIONAL MANAGEMENT OF PRINCIPALS AND JOB PERFORMANCE OF TEACHERS: COMPARING PUBLIC AND PRIVATE SECTOR SCHOOLS IN PAKISTAN

Ms. Bushra Mumtaz, Dr Irfan Bashir, Dr Yasira Waqar , Dr Afshan Naseem , Dr Almas Shoaib, Dr Fariha Gul , Dr Aisha Sami , Dr Abdul Malik, Dr Sajid Masood , Dr Faisal Anees, Dr Aqila Rafique, Ms Fareeha Sherazi

Department of Education, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan

Abstract

This study investigates how principals' instructional management practices influence teachers' job performance. The study used a causal-comparative research design. A sample of 400 secondary school teachers from both public and private schools in Pakistan was selected. Data were gathered through two instruments: the Principal Instructional Management Rating Scale (PIMRS) by Phillip Hallinger and the Teachers' Job Performance Rating Scale developed by Dr. Rubina Hanif. The data were analyzed using regression analysis and one-sample t-tests to explore and compare effects. Findings reveal a significant causal relationship between principals' instructional management practices and teachers' performance. In particular, practices such as setting clear instructional objectives, supporting professional development, and promoting a collaborative school culture were found to positively impact teacher performance. The results emphasize the pivotal role of school principals in shaping effective educational environments and suggest that strategic instructional leadership can enhance educational outcomes.

Keywords: Instructional Management, Teacher job Performanc, School Leadersh, ipEducational Outcome, Pakistan Secondary school

THE ROUTE OF THE NIQLAOUI (MEDJOOL) DATE FROM THE JORDAN VALLEY TO THE ARABIAN PENINSULA AND THE ARABIAN GULF, AND ITS ECONOMIC IMPACTS

Prof. Mohammed Waheeb

The Hashemite University, Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage, & Tourism

mwaheeb@hu.edu.jo

Abstract

The Jordan Valley the lowest point on Earth is considered the historical and environmental cradle for the origin and development of one of the finest date varieties globally: the "Niqlaoui" palm (known today as the Medjool date). The initial cultivation and care of this variety trace back to the Roman era, linked to the establishment of isolated Christian monasteries and churches on the East Bank of the Jordan River (the Baptism Site / Al-Maghtas).

Early Christian communities primarily the Niqlaoui order sought refuge in these fertile plains surrounding the Jordan River to escape Roman persecution and practice their religious rites freely. This isolated environment compelled the monks to practice self-reliance, leading them to reclaim the land and cultivate trees, vegetables, and fruits suited to the Baptism Site's climate most notably the Niqlaoui palm, which received meticulous agricultural care.

Geographical and Religious Diffusion Pathway

A interplay of religious and commercial factors facilitated the geographic spread of the Niqlaoui date across key milestones:

- Early Christian Pilgrimage: The Baptism Site on the East Bank of the Jordan River served as a major pilgrimage destination for travelers from Russia and Europe. Early pilgrim accounts confirm that visits to the site served a dual purpose: obtaining the Niqlaoui date renowned for its superior size and distinct flavor compared to other local varieties and seeking blessings from the nearby fresh water spring.
- The "Meccan Elaf" Trade Route: The proximity of the Jordan Valley to ancient caravan trade networks enabled the transport of offshoots and fruits of the Niqlaoui palm via the summer and winter trade routes along the Meccan *Elaf* path heading south toward the Arabian Peninsula.
- Expansion into the Arabian Peninsula and Gulf: Upon reaching the trade networks of the Arabian Peninsula, the Niqlaoui date gained widespread popularity. It moved along regional trade corridors into

various Arabian Gulf states, becoming an integral part of the region's agricultural and commercial landscape.

Economic and Developmental Impact

The historic dissemination of the Niqlaoui date generated significant economic impacts both historically and in contemporary times:

- Creation of Premium Commercial Value: The exceptional quality and size of the fruit elevated its market value since antiquity, making it a high-value commodity in regional and international trade.
- Encouragement of Palm Cultivation in Arid Zones: The Niqlaoui palm demonstrated strong adaptability to the unique microclimates of the Jordan Rift Valley, encouraging its widespread adoption as a strategic agricultural investment across the Arabian Gulf and the broader Middle East.
- Modern Economic Significance (Medjool Date): The Niqlaoui palm forms the historical baseline for what is internationally recognized today as the "Medjool Date." It currently represents one of the most lucrative cash crops in global markets and a vital source of agricultural revenue in the Jordan Basin and Gulf nations.

The trajectory of the Niqlaoui date illustrates a dynamic interaction between the environmental geography of Earth's lowest point, religious history, and ancient Arabian trade routes specifically the Meccan *Elaf* route crossing the region. This product evolved from a subsistence crop grown by early monastic communities into a prominent economic and agricultural brand during the subsequent Byzantine period (5th–6th centuries CE), extending its impact from the banks of the Jordan River into the heart of the Arabian Peninsula, the Gulf, and international markets.

Keywords: Palm, Niqlaoui Date, Roman and Byzantine Eras, Jordan Valley, Jordan River.

PROJECT MANAGEMENT PRACTICES IN CONSTRUCTION PROJECTS AND THEIR ROLES IN ACHIEVING SUSTAINABILITY — A COMPREHENSIVE REVIEW

1) Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti, Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.

2) Engr. Fakhar Hassan Shah. Practicing Engineer, Dubai.

3) Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran, Professor, IIUI, Islamabad.

4) Ar. Fahad Khan, Lecturer, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.

ABSTRACT

Effective project management practices are crucial in the construction sector, providing a structured approach to planning, executing, and controlling projects. They set clear objectives, define scopes, allocate resources efficiently, and manage risks effectively. However, challenges can arise throughout all project phases. This study focuses on literature from reputable journals over the last decade, and, considering the post-COVID scenario for inadequate scope definition, poor communication, resource mismanagement, and regulatory barriers were identified as major barriers to project success. To achieve sustainable construction projects, specific targets like energy efficiency, waste reduction, water conservation, and social responsibility must be set. Integrating project management with sustainability involves incorporating green building design, sustainable materials, waste management, water conservation, biodiversity promotion, smart technologies, and performance measurement systems. By adopting sustainable approaches and effective project management practices, construction projects can achieve successful outcomes while ensuring environmental responsibility, social equity, and economic viability. Future research should explore identified barriers, their local implications, and project management practices for successful project outcomes.

KEYWORDS: construction projects; project management; sustainability targets; project phases.

CULTURAL COMPATİBİLİTY İN HERİTAGE REVİTALİZATİON (NEW FUNCTİONS FOR HİSTORİC PLACES)

dr. Aliaksandr Susha,
International Association for Belarusian Studies, chair, Belarus, Minsk
Belarusian State University, Assoc. Prof., Belarus, Minsk
ORCID: 0009-0000-0709-372X Susha.Ales@gmail.com

ABSTRACT

Historic buildings and places often survive long after the disappearance of the functions for which they were originally created. Medieval castles no longer protect cities, town halls may cease to serve historical forms of municipal government, monasteries lose religious communities, and palaces or industrial buildings become disconnected from their former social and economic environments. Their preservation therefore requires more than physical conservation or architectural restoration. This paper examines the assignment of new functions to historic places as one of the principal strategies of heritage revitalization. Museums, libraries, educational institutions, cultural centres, concert halls, public spaces, tourism facilities, and other forms of reuse may return historic buildings to active social and cultural life while strengthening their symbolic role within contemporary communities.

At the same time, a new function cannot be considered successful merely because it ensures economic viability or intensive use. The central criterion must be cultural compatibility: the new use should respect the historical, architectural, social, symbolic, and spiritual significance of the place and should not destroy the qualities for which it has been preserved. Revitalization is therefore broader than adaptive reuse. Adaptive reuse changes the function of a building, whereas revitalization evaluates whether this transformation creates a meaningful and sustainable cultural relationship between the heritage place and contemporary society. Excessive commercialization, intrusive adaptation, loss of authenticity, and exclusion of local communities can turn an apparently successful redevelopment into a form of cultural loss. The paper argues that responsible revitalization requires research-based decision-making, minimal intervention, community participation, interdisciplinary expertise, and continuous assessment of the compatibility between new functions and inherited cultural significance.

Keywords: cultural heritage; historic places; heritage revitalization; compatible use; adaptive reuse; cultural significance; authenticity; historic buildings; heritage communities

Historic places rarely become functionless at a single historical moment. More often, their functions weaken, disappear, return in altered form, or are replaced several times. A castle may lose its military role while retaining political and representational significance; a monastery may cease to house a religious community but continue to structure local memory; a town hall may lose its original legal function while remaining one of the principal symbols of civic identity. The conservation problem therefore concerns not only what a building is used for today, but also which earlier meanings remain legible after a new use has been introduced.

This distinction is important because physical occupation is sometimes treated as evidence of successful revitalization in itself. It is certainly preferable, in many circumstances, to abandonment. Yet occupation may preserve a structure while simultaneously weakening its historical intelligibility. A building can be technically restored, commercially viable, and intensively visited, while the features that explain why it matters have been removed, reconstructed without sufficient evidence, or reduced to decorative references.

The Burra Charter offers a useful point of departure by defining compatible use as a use that respects cultural significance and involves no, or only minimal, impact upon it (Australia ICOMOS 2013, art. 1.11). For the purposes of this study, however, I use the broader expression cultural compatibility. The difference is deliberate. Compatible use refers primarily to the relationship between a proposed function and the significance of a place. Cultural compatibility also requires an assessment of the interventions introduced to accommodate that function, the interpretation through which the place is presented, the communities for whom it remains meaningful, and the cumulative effects of management after the project has opened.

This broader understanding also separates revitalization from adaptive reuse. Adaptive reuse describes the introduction of a new programme into an existing building. Revitalization, as understood here, concerns the cultural consequences of that change. The two processes may coincide, but they should not be treated as synonymous. A profitable hotel in a historic palace may represent successful adaptive reuse while substantially narrowing public access or simplifying the historical narrative of the site. Conversely, a comparatively modest museum, educational institution, or community facility may generate less income while maintaining a stronger relationship between the building, its history, and the community that values it.

Research on adaptive reuse has shown that viable occupation can extend the useful life of heritage buildings and reduce demolition and resource consumption (Bullen and Love 2011, pp. 411–421). These advantages are substantial, particularly for industrial and administrative buildings whose original functions cannot return. They do not remove the need for heritage judgment. Economic sustainability is one value among

several. Where a project changes circulation, floor levels, openings, interiors, landscape, or sensory character, the cultural cost must be assessed before a design is treated as inevitable.

The first stage is consequently the establishment of cultural significance. The Burra Charter includes aesthetic, historic, scientific, social, and spiritual values and relates them not only to fabric but to setting, use, associations, meanings, records, and related objects (Australia ICOMOS 2013, arts. 1.2, 5, 7). This plural understanding is important in Eastern Europe, where the same building may have passed through confessional, political, military, educational, museum, and commercial functions. No single period automatically exhausts its significance. A compatible new role should not require the erasure of layers that complicate the desired narrative.

The argument developed below is based on comparative case analysis rather than on an attempt to establish a universal hierarchy of new functions. The Belarusian examples were selected because they represent different relationships between original and contemporary use: museum and concert use in a former cathedral, museum and tourism functions in former aristocratic residences, and continuing religious use in a monument where questions of reconstruction remain unresolved. The comparison focuses on four variables: the degree of material intervention required by the new function; the extent to which earlier historical layers remain intelligible; the relationship between institutional use and public access; and the effect of the new programme on the symbolic or religious meanings of the place. International conservation documents are used as normative reference points, while the cases themselves are used to test whether these principles are sufficiently precise for evaluating actual revitalization projects.

Authenticity is likewise more than the age of materials. The Nara Document encourages evaluation within the cultural contexts to which heritage belongs and identifies form, materials, use, traditions, techniques, location, spirit, and feeling among possible sources of authenticity (ICOMOS 1994, paras. 9–13). For an industrial building, machinery, spatial scale, rhythm, and traces of labour may be essential. For a monastery, sacred topography, burials, acoustic qualities, and religious memory may set limits. For a town hall, the relation to the market square and civic symbolism can be as important as individual interiors.

No function is culturally compatible by definition. This point is easy to obscure when certain uses — particularly museums, libraries, cultural centres, or concert halls — are assumed to be inherently respectful of heritage. Their compatibility depends on what they require from a specific building. A museum may preserve public access while introducing climate-control systems, exhibition structures, visitor routes, and security

installations that alter historically significant interiors. A hotel may appear more intrusive as a category, but in a large residential complex it may sometimes require fewer changes to the historical spatial hierarchy than a museum designed for intensive visitor circulation. The analytical unit should therefore not be “museum”, “hotel”, “office”, or “religious use” in the abstract. What has to be examined is the relationship between a particular programme, a particular set of interventions, and the attributes through which a particular place carries cultural significance.

The Belarusian material is especially useful for such a comparison because changes of function were often not the result of a single contemporary redevelopment project. War, secularization, changes of state borders, the disappearance or transformation of religious communities, Soviet institutional policies, post-war reconstruction, and the development of heritage tourism all contributed to repeated changes in the use and interpretation of historic buildings. The present function of a monument therefore frequently represents only the latest stage in a much longer sequence of adaptations. This makes it necessary to ask not simply whether the current use is “new” or “historic”, but which historical layers it makes visible and which it pushes into the background.

Figure 1. Saint Sophia Cathedral in Polack during an organ concert

Saint Sophia Cathedral in Polack provides a particularly revealing example. Its present combination of museum and concert functions cannot be understood as a restoration of an earlier historical use. Neither function recreates the medieval or early modern life of the cathedral. Their compatibility derives instead from a different relationship with the building. Museum interpretation makes the transformations of the monument themselves accessible to visitors, while concerts employ the scale and acoustic properties of the interior without requiring its subdivision into smaller functional units. The importance of the example therefore lies not in the assumption that museum or concert use is intrinsically appropriate for a former church, but in the relatively close correspondence between the contemporary programme and the spatial qualities of the monument. At the same time, this correspondence should not be idealized. The building continues to carry religious and confessional meanings that cannot be reduced to architectural history or musical experience. Visitor circulation, concert equipment, environmental requirements, repertoire, and interpretive choices can all influence the way in which these meanings are perceived. The Polack case therefore demonstrates a principle that recurs throughout this study: compatibility is not established once and for all when a new function is approved. It can strengthen or weaken through everyday management.

The Polack example shows that compatibility can arise from a correspondence between spatial qualities and cultural programme. Music activates the interior without requiring a subdivision into small commercial rooms; the museum function makes the transformations of the monument themselves a subject of interpretation. Yet even this apparently strong fit requires continuing evaluation. Concert schedules, visitor movement, equipment, environmental conditions, and the presentation of confessional history can affect both fabric and meaning. Compatibility is not a certificate granted once; it is a condition to be monitored.

Mir and Niasviž make the limits of programme-based evaluation still clearer. In both cases, museum and visitor functions appear broadly compatible with the historical and representational character of former aristocratic residences. If the analysis stopped at the level of programme, both could therefore be described as successful examples of revitalization. Such a conclusion would, however, conceal an important difference between the suitability of the institutional function and the consequences of the physical interventions used to support it.

Mir Castle demonstrates how public access and museum use can contribute to the long-term viability of a monument that experienced periods of abandonment and destruction. At the same time, its success as a major

tourist destination introduces pressures that are not external to conservation but form part of the conservation problem itself. Events, visitor services, reconstructed interiors, retail activities, and the demand for an easily readable historical image may gradually privilege some periods and narratives over others. UNESCO describes the castle's present form as evidence of successive cultural influences, which makes respect for stratification particularly important (UNESCO World Heritage Centre 2000). This is particularly significant in a monument whose value lies partly in the coexistence of Gothic, Renaissance, Baroque, and later transformations.

Figure 2. Museum adaptation of an interior at Mir Castle

The Niasviž complex makes the distinction even sharper. Its museum, educational, and cultural functions provide an intelligible contemporary role for a very large historical ensemble. Yet the criticism expressed by the World Heritage Committee concerning the demolition and rebuilding of the Eastern Gallery shows why the cultural value of a programme cannot be used to validate every intervention associated with it (UNESCO World Heritage Committee 2010). A museum may be appropriate while a particular reconstruction is not. This distinction between programme compatibility and intervention compatibility is one of the central conclusions of the comparison undertaken here.

The Niasviž experience suggests a distinction between programme compatibility and intervention compatibility. A museum may be an appropriate programme, while a particular staircase, service route, rebuilt

gallery, heating system, or reconstructed interior may still damage significance. Conversely, some technically visible interventions can be acceptable if they are reversible, legible, and necessary for safety or accessibility. Evaluation must therefore proceed at several scales: the general use, the spatial organization, the treatment of fabric, the setting, and the day-to-day management of visitors and events.

Figure 3. Restoration, reconstruction and museum adaptation of Niasviž Castle

Reconstructed town halls in Belarus raise a related question. Their historic administrative function, embedded in the legal culture of Magdeburg law, cannot simply be restored. Reconstructed buildings may serve ceremonies, exhibitions, representative municipal events, and tourism. Such uses can return the civic landmark to the urban square, but the cultural result depends on evidential clarity. Visitors should be able to distinguish surviving fabric, documented reconstruction, and contemporary interpretation. If reconstruction is presented as untouched antiquity, the new function contributes to visual familiarity at the expense of historical knowledge.

Industrial heritage makes the need for large-scale adaptation unavoidable. Tate Modern, opened in 2000 in London's former Bankside Power Station, is a widely cited case because the new art museum retained the

building's monumental brick envelope, chimney, and turbine hall while introducing galleries and public circulation. The project shows how spatial character can guide the new programme rather than merely survive behind it. It also contributed to the transformation of the surrounding urban area. Yet its global success should not become a universal model. Few industrial sites can attract comparable investment, collections, audiences, and metropolitan infrastructure.

Figure 4. The Turbine Hall of Tate Modern, London

The lesson of Tate Modern lies not in copying a museum function but in reading the architectural resource. The turbine hall could accommodate forms of contemporary art and public gathering precisely because its scale was retained as an active feature. A smaller factory divided into standard offices might retain a façade while losing the spatial evidence of production. Compatible reuse begins with what the building can support without ceasing to communicate its previous life. This demands collaboration among architects, historians, engineers, conservators, curators, accessibility specialists, economists, and communities before the programme is fixed.

Religious heritage requires particularly careful negotiation. Monasteries and churches may be active, abandoned, transferred between confessions, musealized, or shared. Their cultural significance can include architecture, art, liturgy, burial, pilgrimage, memory of repression, and attachment of present communities. A restaurant, entertainment venue, or luxury accommodation may ensure maintenance but conflict with sacred associations. Museum and educational functions may be more compatible, yet they too can freeze a living religious place into a historical display. Consultation must include both current users and groups whose connection has been interrupted.

The church of Saints Barys and Hlieb on Kaloža in Hrodna illustrates the difficulty of choosing between conservation, reconstruction, and renewed use. Proposals concerning its damaged historical form must consider archaeological evidence, the legibility of surviving twelfth-century masonry, liturgical needs, riverbank conditions, and the danger of speculative completion. Ustinovich distinguishes the problems of reconstruction and revitalization precisely because a restored visual unity may not coincide with preservation of authenticity (Устинович 2016, pp. 93–97). Continued religious use strengthens social vitality, but it cannot make conjectural rebuilding scientifically harmless.

Figure 5. The Church of Saints Barys and Hlieb on Kaloža in Hrodna

The comparison of these cases suggests that cultural compatibility should be assessed in several distinct but interdependent dimensions. The first concerns the programme itself: whether the proposed activity

corresponds to the spatial, historical, symbolic, and social character of the place. The second concerns intervention: what must physically be changed in order for that programme to operate. The third is interpretive: whether earlier functions, contested histories, and successive transformations remain intelligible after adaptation. A fourth concerns access and social legitimacy, particularly where the significance of the monument extends beyond its institutional owner or paying visitors. Finally, compatibility has a temporal dimension. A use that is relatively unproblematic at the moment of opening may become damaging when visitor numbers increase, commercial activities expand, or temporary technical installations gradually become permanent. These dimensions cannot be reduced to a single numerical score, and they may point in different directions. Minimal physical intervention does not automatically produce cultural compatibility if access is severely restricted or historical interpretation is misleading. Conversely, a visible contemporary addition may be acceptable where it is clearly distinguishable from historic fabric, technically necessary, and capable of removal without substantial loss. The purpose of the framework is therefore not to classify functions as acceptable or unacceptable in advance, but to make explicit the kinds of loss and continuity involved in choosing among realistic alternatives.

The social dimension requires particular care because “the community” is not a homogeneous actor. Different groups may associate the same building with religious continuity, political conflict, family history, professional identity, repression, tourism, or simply everyday familiarity. These claims may be mutually incompatible. Community participation should therefore not be presented as a procedural guarantee of a correct decision. Its analytical value lies elsewhere: it reveals forms of significance that may not be recorded in architectural surveys or administrative documentation. In this respect, the Faro Convention is particularly useful because its concept of a heritage community directs attention to people who value particular aspects of cultural heritage and wish to sustain them through public action (Council of Europe 2005, art. 2). For revitalization projects, this means that consultation should begin during the identification of significance and comparison of possible functions, rather than after the principal design decisions have already been made.

Participation does not mean that every preference can be implemented. Communities are internally diverse; professional conservation may require limits on desired reconstruction or use; public authorities must address safety and equitable access. The purpose is not to replace expertise with popularity but to disclose interests and evidence. A decision becomes more legitimate when it states whose values were identified, what alternatives were rejected, what losses were accepted, and how future reassessment remains possible.

Commercial activity should be evaluated according to its spatial and interpretive consequences rather than treated as either inherently harmful or automatically necessary. A café located in a secondary service area, for example, raises a different conservation problem from a restaurant that occupies the principal ceremonial rooms of a palace. Ticketing, retail, accommodation, and events may contribute to maintenance, but their location, intensity, visual language, and effect on access matter more than their commercial character alone.

The same distinction applies to tourism. The conservation problem is not visitor presence as such, but the point at which the operational requirements of tourism begin to reorganize the monument around maximum throughput and simplified consumption. At heavily visited sites, pressure may appear through shortened routes, repetitive event programming, intrusive signage, temporary installations, or an interpretive emphasis on the most visually attractive historical period. These changes are often individually minor. Their cumulative effect may nevertheless be more significant than a single clearly identifiable restoration intervention. For this reason, cultural compatibility should be reviewed after opening and not treated solely as a design-stage question.

Environmental arguments add another dimension. Reuse can conserve embodied energy and reduce demolition waste, while continued occupation supports maintenance. Yet sustainability cannot be measured by material retention alone. Systems designed for short commercial cycles may require frequent replacement; intensive climate control may consume energy and damage historic materials; new construction in the setting may undermine landscape values. Cultural and environmental sustainability should be assessed together over the expected life of the programme.

The choice of function should emerge from comparison rather than from the first available investor. A conservation plan can define indispensable attributes, acceptable change, capacity, and areas where intervention is prohibited or possible. Alternative programmes can then be tested against the same criteria. This process is slower than attaching heritage to a predetermined business plan, but it reduces later conflict and costly redesign. The Burra Charter process – understand significance, develop policy, and manage in accordance with policy – remains a practical framework for this sequence (Australia ICOMOS 2013).

After opening, monitoring should examine more than the physical condition of walls and roofs. It should record how spaces are used, which groups participate, whether interpretation remains accurate, whether commercial or event functions expand, and whether new infrastructure accumulates. Changes that appear minor individually can collectively transform the character of a place. Periodic review allows management to reduce

loads, relocate services, revise interpretation, or reconsider an unsuccessful programme before damage becomes irreversible.

The cases considered here do not support a simple opposition between preservation and change. In each of them, continued use is itself part of the conservation problem. Saint Sophia Cathedral in Polack shows that a new cultural programme may establish a convincing relationship with the spatial qualities of a monument without reproducing its original function. Mir demonstrates that successful museum use and tourism can strengthen public engagement while simultaneously creating new pressures on historical complexity. Niasviž shows most clearly why an appropriate institutional programme must be assessed separately from the interventions undertaken to accommodate it. Kaloža, finally, demonstrates that continuity of religious use does not remove the need for critical judgement about reconstruction and authenticity.

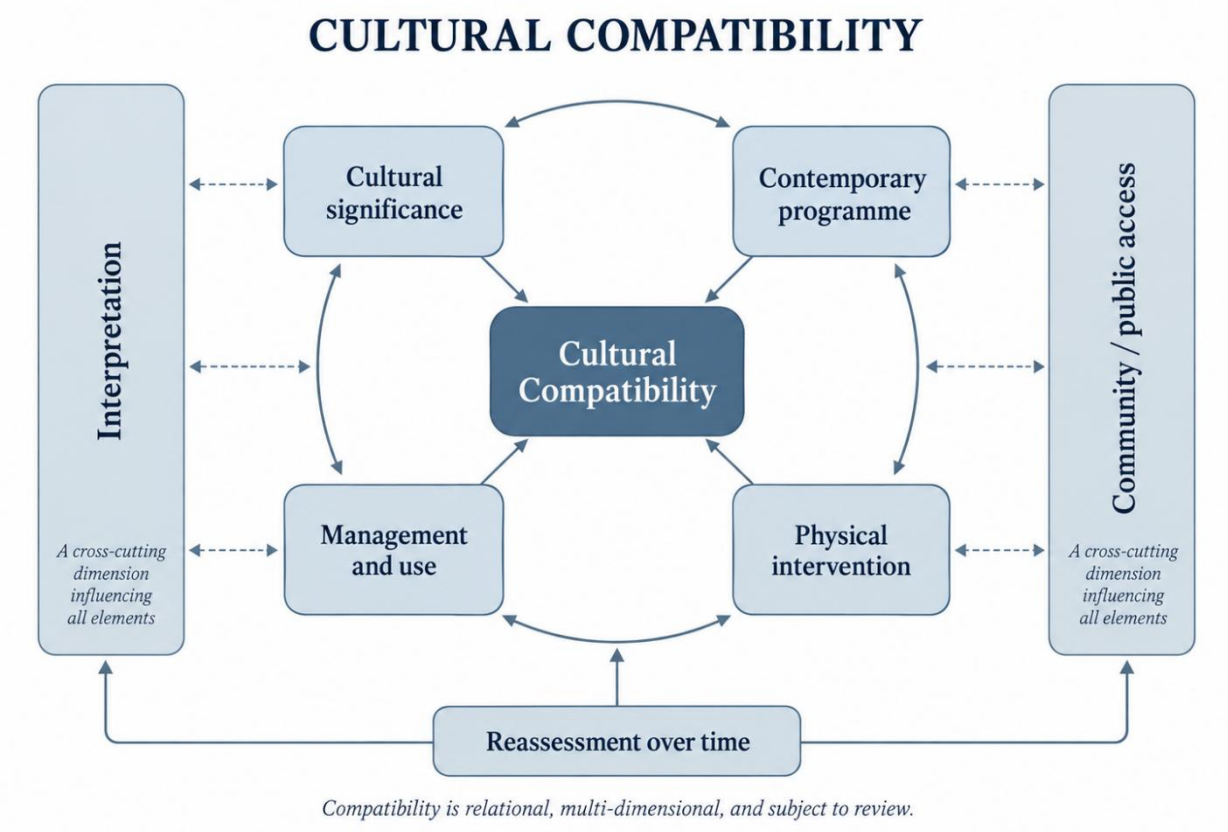


Figure 6. Analytical framework for assessing cultural compatibility in heritage revitalization

These comparisons suggest that cultural compatibility is best understood not as a permanent quality of a function, but as a relationship among four elements: cultural significance, contemporary programme, physical

intervention, and subsequent management. Interpretive and social consequences cut across all four. This model also explains why the same type of function may be appropriate in one monument and damaging in another, and why a project initially regarded as compatible may require reassessment as patterns of use change.

The proposed framework has limits. The cases discussed here concern major architectural monuments with substantial institutional visibility, and the conclusions cannot automatically be transferred to vernacular heritage, archaeological sites, cultural landscapes, or forms of heritage whose significance is predominantly intangible. Nor does the framework eliminate conflicts between conservation, accessibility, economic viability, religious practice, and public expectations. Its purpose is more limited: to prevent the existence of a new use from being treated as sufficient evidence of successful revitalization.

A historic place is revitalized not simply when activity returns to it, but when contemporary use allows inherited evidence and meanings to remain culturally operative. The central question is therefore not whether a monument has acquired a new function, but what that function enables the place to retain, reveal, reinterpret, or lose.

Literature

The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance. Burwood: Australia ICOMOS; 2013. 12 p. URL: https://australia.icomos.org/wp-content/uploads/The-Burra-Charter-2013-Adopted-31.10.2013.pdf.

Bullen, P. A., Love, P. E. D. (2011) Adaptive reuse of heritage buildings. Structural Survey. Vol. 29, no. 5. P. 411–421.

Council of Europe (2005) Council of Europe Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society. Faro, 27 October 2005. CETS No. 199.

ICOMOS (1994) The Nara Document on Authenticity. Nara: ICOMOS. URL: https://www.icomos.org/charters/nara-e.pdf.

Stevanović, N. (2015) Interpretations of the architectural and cultural values of heritage in the revitalization process. Architektúra & Urbanizmus. Vol. 49, no. 3–4. P. 258–273.

UNESCO World Heritage Centre (2000) Mir Castle Complex. World Heritage List, no. 625. URL: https://whc.unesco.org/en/list/625.

UNESCO World Heritage Committee (2010) Decision 34 COM 7B.78: Architectural, Residential and Cultural Complex of the Radziwill Family at Nesvizh (Belarus). URL: https://whc.unesco.org/en/decisions/4186/.

Бакша, Е. Б. (2012) Перспективные возможности ревитализации промышленных зон в крупных городах Беларуси [Prospects for the Revitalization of Industrial Zones in Large Belarusian Cities]. Вестник Брестского государственного технического университета. No. 1. P. 23–26.

Устинович, Е. Р. (2016) Проблемы реконструкции и ревитализации Церкви Святых Бориса и Глеба на Коложе в Гродно [Problems of Reconstruction and Revitalization of the Church of Saints Boris and Gleb on Kaloža in Hrodna]. In: Проблемы, исследования, тенденции развития региональной архитектуры. Brest: Brest State Technical University. P. 93–97.

AMERICANS IN THE PERSIAN GULF DURING WORLD WAR II

Dr. Mohammad Jafar Chamankar

Professor, Urmia University, Iran/ mj.chamankar@urmia.ac.ir

Abstract:

Using the pretext of the presence of the Germans, the Allies invaded and occupied Iran from the north and south in 1941, to create and exploit a new supply and logistics axis for the Eastern Front and the Soviet Union. The Soviet and British forces, who were themselves engaged in a direct war with the Germans, after occupying Iran, assigned a new role in Iran to the Americans, which was to manage the Iranian railways, increase their capacity, and transport goods, troops, and supplies from the south to the north of Iran and deliver them to the Soviet Front.They succeeded in this mission, and thanks to the presence of the Russian and British occupying forces, they had the power to maneuver and operate effectively in Iranian territory. The Americans entered Iranian territory in 1941, the very first year of Mohammad Reza Shah Pahlavi's reign, because Reza Shah was arrested and exiled to the island of Mauritius after the occupation of Iran, and his young son took over the throne. Since then, new relations have been formed between Iran and the United States, and in the first step, the Iranian government requested the dispatch of an American delegation to organize the country's financial situation, after which the United States sent Dr. Millispo to Iran along with 60 experts and advisors, and they even took over treasury affairs and organized and coordinated treasury affairs, taxes, transportation, and public needs during the war. Also, the first Iran-US trade agreement was concluded on 18 Farvardin 1322 (8 April 1943) in 15 articles, thus laying the foundations for the development of economic and trade relations between the two countries. On the other hand, during the same period of military occupation and the presence of the Americans, Iran officially requested a military advisory board from the US government on 20 March 1942 to serve in the Ministry of War, and on 27 November 1943, a military agreement was signed between the two countries, the aim of which was to rebuild the Iranian Gendarmerie. On November 3, 1943, another agreement was signed to rebuild the Iranian army, according to which an advisory delegation from the United States was sent to Iran.

Keywords: Iran, World War II, America, Persian Gulf, Allies.

Introduction:

The strategic location of the Persian Gulf and the Sea of Oman throughout history has attracted the attention of other countries of the world, especially the colonialists of the 19th and 20th centuries, such as Russia and England, to this region. Even though the governments of Iran at that time could get the best benefits from this situation, unfortunately, this did not happen. The Soviet Union and England were among the colonialists who were looking for oil areas and more influence in the south of Iran, especially in the Persian Gulf and the Oman Sea. These two colonists were pursuing their goals of being in this area. The Russians sought to reach the warm waters of the Persian Gulf, and the British sought to create a safety belt by cutting off the power of other countries from the Persian Gulf and the Oman Sea in order to preserve their valuable colony, India. During the Qajar era, some statesmen and politicians of Iran, such as Amir Kabir, tried to use a third force to counter the pressure of two colonizers, Russian and British, in Iran, who did not have any interests or ambitions in Iran, and that third force was America. Gradually, the preparations and grounds for America's entry into Iran were provided in the 19th century, and with the presence of religious missionaries, it gradually led to the development of relations and the conclusion of commercial contracts.

The findings of this research show that with the coming to power of Pahlavi I and the policy of Nazm Reza Shahi, who was looking for economic and military programs, he used American advisers for the reform process, but he could not cope with these financial advisers. However, America's influence in Iran extended until the Second World War, and with the outbreak of World War II, the United States played a more important role in Iran and was able to enter the Persian Gulf and the Sea of Oman through the provision of military forces and take over the responsibility of transferring ammunition to the Soviet Union. To take over the Iranian Railways and, on the other hand, by sending financial advisors to improve the country's economic situation, he was able to show a positive role and was justified and respected in the eyes of the people.

World War II and the importance of the Persian Gulf

The outbreak of World War II caused disputes and divisions in Europe, which brought other regions of the world into political exchanges, despite the lack of role of those countries, and upset the balance of the world. A number of countries entered the war to seek help and to benefit from this situation. And a number of countries entered the war because of encroachment on their territory. Iran tried to stay away from these categories during the Second World War, and due to the conflict between Germany and the Soviet Union, the strategic importance of the southern regions of Iran, especially the Persian Gulf and the Oman Sea, where the oil

importance of those areas had drawn the attention of these European countries and their allies. They caused the arrival of the British, including the third force such as the Americans, to the Persian Gulf and the Oman Sea (Chamankar, Narimani, 2019: 55). The two warring parties concluded that gaining access to the rich oil reserves of the Persian Gulf and controlling it would mean holding the final victory in the war (Esadi, 130: 1381), as well as seizing the oil areas of southern Iran and controlling the Abadan refinery. It was considered one of the main goals of Britain (Chamankar, 1396: 182).

And thus, at dawn on August 25, 1941, Iran was invaded by the Soviet Union and England from the north and south, violating Iran's neutrality. And the oil areas of Khuzestan, Khoramshahr, Bandar Shahpur (Imam Khomeini's port), Ahvaz, Bushehr, Bandar Abbas, and Chabahar were among the most important coastal areas of Iran on the shores of the Persian Gulf and the Oman Sea, which were captured by the British (Chamankar, 2018: 35-36; ibid.: 2019: 110). While the Persian Gulf played a key role for both groups (allies and adversaries) (Anuri, 2009: 334). The Iranian army and its navy, which played a very constructive role in the development of the movements of the Reza Shah era in the Persian Gulf and the Oman Sea, were crushed by the heavy waves of this aggression, and a major part of its manpower and weapons were destroyed. With the fall of Pahlavi I and the accession of Mohammad Reza Shah Pahlavi on September 16, 1941 AD, Iran went through a period of political transition and lack of military and economic concentration. With the aim of sending aid to the Soviet Union in the battle against the German army, Iran's waterways and railways on the shores of the Persian Gulf and the Sea of Oman were given to the Allied forces. The geopolitical position of Iran and the Persian Gulf caused Iran to be placed in a difficult and sensitive position in global equations. Therefore, Iran was chosen as one of the major transit points for the transfer of equipment to the Soviet Union (Chamankar, 2016: 181-181). Iran concluded a military alliance agreement in defense and economic fields with the Allies, which included the United States of America in addition to the United Kingdom and the Soviet Union. With the start of World War II and Germany's attack on the Soviet Union, the United States joined the British-Soviet alliance and gradually became the most important supplier of the needs of the Allies, especially the Soviet Union, under the shadow of its powerful economy (Ibid.: 186).

Based on this, the friendship between Iran and America started from the Second World War, which developed day by day. America, isolated from its world policy, did not interfere or contribute to Iran's affairs, especially this country knew the purpose of England and Russia in Iran, and even during the war, England and Russia asked for help, which they knew would fail without America, and they knew that if America entered the war,

there would be a way to America's transportation for Russia should be found. Iran was used as a transportation route, and from the beginning of the relations between Iran and the United States, it relied on the principle of mutual respect for the independence of the parties, and the Second World War proved America to be the strongest country in the world. (B. Ta: 22-10) With the occupation of Iran by the Allies, the United States also got involved in Iran's affairs in a wide way. United States sought to develop its interests

Another account of the Allies was also in a very good position. America's policy did not have an imperialist tone, and from the point of view of Iranians, who did not see Britain and Russia in any other way except in the framework of their exploitative policies, Americans were seen as more reliable. It was hoped that the United States would act as a "third power" to neutralize the traditional Russian-British rivalry in Iran (Faust, 1373: 197).

America also sent its forces to Iran in search of a suitable opportunity for further influence and exploitation of the obtained conditions. Of course, Britain had also requested America to transfer its aid to the Soviet Union through Iran (Sheikh Nouri, Valipour, 2015: 27). The only way, according to Churchill, was short and the best available way (Maki, 1363: Vol. 7/148). But England was facing many problems in transporting supplies to the Soviet Union through Iran; Among other things, Iran's railways were not able to tolerate the bad condition of Iran's roads, and the lack of ports for unloading cargo made it difficult to carry out the transportation work. To properly carry out aid operations to Russia, American President Roosevelt proposed to England that all matters of transportation of materials and ammunition should be under the administration of the United States, and Churchill welcomed this proposal (Sheikh Nouri, Valipour: 27). During the Second World War, American ammunition and weapons were transported to Russia through Khorramshahr by railway. The military governorate in Ahvaz was extremely important. Because the robbers were mostly Arabs from Khuzestan, they were constantly trying to break into trains and truckloads, and at every opportunity they stole light weapons, tires, sugar, and other items that were being transported to the Soviet Union. At that time, Khuzestan was under the occupation of the British forces, and the Americans also controlled the ports of Khorramshahr and Shahpur and the railway stations. The Americans were responsible for transporting the ammunition (John Polad, 1385: 161).

Also, an agreement was reached between the US government and Iran, as a result of which, within the framework of the "Lend and Lease Law", the US government provided Iran with an amount of 41.5 million dollars for the procurement of wheat, weapons, and ammunition free of charge. In any case, these contacts,

which were influenced by the new strategy of the Iranian government, provided the basis for the development of relations with America. From Iran's point of view, the alliance between England and the Soviet Union against Germany did not bring about any fundamental change in the traditional pattern of these two rivals in Iran, and therefore the United States of America could be considered the most appropriate moderating force for these two rivals. With the opening of the way to supply the Soviet Union through Iran's communication lines, the American presence in Iran increased (Azghandi, 1376: 116-117), and since the situation in Iran had become insecure during the Second World War, and to protect the roads, it was necessary to create sufficient security forces, he sent his forces with experienced officers to Iran. In the midst of the war, America was trying to establish as much as possible its influence in Iran and Iran's dependence on America (Sheikh Nouri, Valipour, 2015: 27). (September 27, 1942) The United States established a military mission in Iran so that, with the help of this mission, it could provide the facilities necessary to meet the needs of England in the Persian Gulf region and also help the Soviet Union (Azghandi, 1376: 117).

America formed the Persian Gulf Services Command in August 1942, which was renamed to the Persian Gulf Command in December, both of which were considered subsets of the military forces in the United States (Chamankar, 2016). : 186). Persian Gulf Command, which in October 1942, General Donald H. Kanali assumed command and placed his headquarters in Amirabad in the suburbs of Tehran (Faust, 1373: 199; Millespo, 1370: 61), which mostly considered the arrangement of war affairs. In August 1942, Wallace Murray, who was the adviser on political relations in the Near East Department of the US State Department, believed that the United States would be in a position in the near future to effectively govern Iran through an impressive group of American advisers. He provided a list of those who were in Iran or were about to arrive: General Greeley, in his capacity as Chief of the General Staff of the Iranian Army, and two first-class officers of the [US] Army have left for Iran to administer and organize the gendarmerie of the country, which will ensure internal security. And it was decided that an official with sufficient police force will also take over the renewal of Iran's police organization. The US Public Health Service was also looking for a suitable person to head the aforementioned services in Iran. It was decided that a director for transportation logistics would also be employed, and finally, soon a complete financial delegation would be sent to Iran, and in October of the same year, Colonel H. Norman Schwarzkopf arrived in Iran to head the Gendarmerie Advisory Board. General Clarence S. Ridley, the former governor of the Panama Canal Zone, replaced General Greely as the advisor to the Iranian army, and Millspo was mentioned as a candidate to head the new financial board, and Colonel Al. Stephen Timmerman

was also introduced as Iran's police advisor to reform this part of the country's organization (Faust, 1373: 200; Archives of the National Library Documents Organization, 293/3933, 12/12/2522, 1321; same: 293/3907, 1/12/12496, 1321) and thus the first group of American soldiers arrived in Iran in December 1942 and their number increased day by day (Azghandi, 1376: 117). Gradually, they dominated all the ports in the south and southeast of Iran and the transport lines and the Shosse railway. Ahvaz, Khorramshahr, Shahpur ports in Iran and Umm al-Qasr and Basra ports in Iraq were among the most important activity centers of these units in the northern part of the Persian Gulf (Chamankar, 2016: 186).

The role of the US military in the northern Gulf and the Persian Gulf and the Sea of Oman

During World War II, the American army in Iran consisted of 30 thousand people. These people came to Iran in 1942-1943 AD to speed up the delivery of equipment to the Soviet Union. Renovation of ports in the Persian Gulf, construction and repair of the main roads for the construction of airports, and the creation of facilities for the use of Iran's national railway line, according to the agreement between the United States and the Soviet Union, the protection of the railway lines from the Persian Gulf to Tehran was the responsibility of the Americans and the Russians. They were responsible for the maintenance of these lines from Tehran to Bandar Shah. Part of the equipment had to reach the Soviet Union through roads, and for this reason, Qazvin was considered a turning point of communication between American and Russian soldiers. According to the agreement that was made, the British soldiers were in charge of maintaining the safety of the southern regions, and the Americans were responsible for the technical measures (Lenchavski, 1351: 342). Also, the Americans had found an important strategic position by considering the training of the Iranian army (Pirdigar, Jean, Bernard Hurgad and Yan Rishar, 1378: 136). General Donald Connally was in charge of the American forces in the Persian Gulf. His colleagues were a group of trained officers, some of whom were military from the beginning and others were sent to combat missions during the war. These officers, led by General Stanley Scott, who was the chief of staff, showed great technical skills. The activities of the American forces in the Persian Gulf in Iran were characterized by the highest degree of speed and efficiency. It may take years for the Iranian government to transform Khorramshahr into a modern and large seaport. The Americans did this in less than a year; it also applies to the Abadan airport and Bandar Abbas and Bandar Shahpur port facilities (Lenchafsky, 1351: 342-343). The Persian Gulf Command was far better equipped than the American Embassy in terms of intelligence service and even in terms of economic activity.

Therefore, the United States of America had two official institutions in Iran: the embassy and the Persian Gulf Command, each representing one of the important ministries in Washington: the Ministry of Foreign Affairs and the Ministry of Defense. Each of these two institutions knew its specific duties, i.e., the continuation of the war. In the case of one of them, the aforementioned duties were diplomatic, and in the other case, military (Milspo, 2010: 282). Between the fall of 1942 and the fall of 1944, more than 440,380,4 tons of war equipment and goods were sent to Russia from America through Iran. The Americans were able to increase the capacity of Iran's national railway five times from the point of view of transportation and provided the Soviet Red Army with about 150,000 combat vehicles and 3,005,000 aircraft, of which 1,400 were bombers (Lenchavsky, 1351: 343) and sent more than 1,755 million tons of aid to the Soviet Union, of which 1,159,117 tons were through the ports of the Persian Gulf and the Sea of Oman. In this way, the facilities and oil tanks in the south of Iran, which were in the possession of England, were widely used to meet the needs of the allies. Based on Iran's oil extraction, it increased from 8.71.198 tons in 1933, 11.327.215 tons in 1939, to 18.310.898 tons in 1945. He writes: "If the oil of the Persian Gulf was lost, it would be necessary to bring about 3.5 million tons of oil from the United States, and this would require 270 additional oil tankers, which would actually reduce 20% of our strength to continue the war. And our slogan was to turn Iran into a bridge of victory in this period" (Chamankar, 2016: 187-188).

During the Second World War, American industrial production had risen above 100%, and American exports reached ten million tons in 1945 (Deldam, 2010: 216-228). The war expenses of the American government from December 7, 1941 to August 1945 totaled 286 billion dollars (Tabatabai, 1324: 136). Therefore, before the First World War, the American budget was about one billion a year, and before the war it reached 13 billion; in 1943 it grew to 151 billion, and in 1944 it reached 44,149 million, and the actual cost was 93,744 million. That year, on average, each American paid 320 dollars in taxes, and before World War I, each person paid an average of 7 dollars in taxes, and before World War II, it was 43 dollars (Ma'arafi, 1324: 227).

American goals in Iran

At the time of World War II, some people believe that the United States did not pursue long-term goals in Iran. The goals of this country have been to provide support for the Allies in Iran, that is, to provide security and send equipment to the Soviet Union. The active policy of the United States at this point has considered Iran in the exclusive sphere of British influence. And it pursued two goals:

In the short term, it has been helping the demands of the allies in Iran and cooperating with them. But from 1943 onwards, with Iran's strategic position and the presence of its oil reserves, along with the importance of commercial markets, the government made American men interested in Iran's affairs and encouraged them to adopt a long-term strategy in Iran. The dominance of the American authorities over half of the oil fields in the Persian Gulf region after the Washington oil conference and the other danger of the influence of communism in Iran, as in many other parts of the world, was criticism of the British colonial policies and sympathy with the independence-seeking actions of the Iranians, and the American leaders in Iran had a policy of supporting He put the independence and territorial integrity of Iran on his agenda (Hosseini et al., 2014: 82-83).

conclusion

The role of America emerged as a third force to get rid of the pressure of two colonial powers, Russia and England, in Iran. This relationship dates back to the Qajar period and the reign of Naser al-Din Shah. It was expanded with the assistance of its minister, Amir Kabir, for the growth and development of the country and the establishment of commercial relations with other countries. Gradually, the relations between Iran and America developed by sending religious missionaries to other countries of the world, which was mostly for the spread of Christianity. Of course, this was mostly influenced by the characteristics of Iran's situation as well as its geographical location, and in the world policies of the 19th century, it had an effect on the diplomatic relations between America and Iran. Based on this, the activities of religious missionaries in the religious, cultural and health fields provided the basis for the conclusion of commercial and commercial agreements, which were not completed after the end of the ministry of Amir Kabir, but due to the policy of neutrality and lack of eyes and the absence of special interests of America in Iran and also Following the political and movement movements such as the constitutional revolution and the need to use foreign power to improve the country's economic performance, for the first time a financial advisor headed by Morgan Schuster was invited from the United States to serve as the head of Iran's Treasury, and the conditions were favorable for the United States to enter the country. Iran was provided with a solid foundation for the acquaintance of the two governments. With the end of the Qajar rule and the accession of Reza Khan to the throne, as a result of the bad state of the country's economy, it was decided to ask for help from foreign countries, and this time Milspo assumed the position of financial advisor. During his 5-year stay in Iran, he took several measures to improve the country's economic situation. During his presidency, Milspo took care of the financial situation and corruption in the army, but Reza Khan's government prevented further reforms. Following the First World War and the violation of Iran's

neutrality, many damages were inflicted on Iran. During this period, America's policy of neutrality still existed, and this country sent construction and medical aid to the Iranian people during the war, and even declared its public opposition to the disgraceful agreement between Iran and England in 1919. The role of the United States in the years between the two world wars was mainly a policy of neutrality, but in this historical period, the United States used the wheels of its country's economy, and in terms of military equipment, as well as in terms of finances, it was in the first place to help other countries. With the start of World War II and the German attacks on American equipment and ships, the United States also entered the war.

Following British requests for help from the United States in sending ammunition and goods to the Soviet Union and because the strategic and geographical location of the north of the Persian Gulf and the Sea of Oman was the only safe and accessible route to Iran, the United States ultimately took the responsibility of transferring weapons and civilian goods to the Soviet Union. By deploying 30,000 military forces in the Persian Gulf, the United States undertook other tasks such as reorganizing the ports and coasts of the Persian Gulf, building airports, repairing the national railway line, and sending Millspo for the second time as Iran's financial advisor to improve the poor economic and social situation of the country. However, Millspo's actions could not change the situation in Iran, and American policy during this period was mostly to maintain friendly relations for long-term goals after the war, which could reach oil positions.

Sources and sources:

Books:

_ Azghandi, (1376), history of foreign relations (government and puppet) 1320-1357, Tehran, Qoms.

_ Asadi, Bijan (1381), Persian Gulf and its problems, side.

_ Anuri, Amir Hoshang (2009), The Persian Gulf in the first half of the 20th century, Tehran, Silk History and Image House.

Pirdigar, Jean, Bernard Hurgad and Yan Rishar (1378), Iran in the 20th century (investigation of the political, social, economic and cultural situation of Iran in the last one hundred years), translated by Abdolreza Hoshang Mahdavi, Tehran, Alborz.

_ Jan Polad, Ahmed (2006), the biography of an Iranian officer from the wars of independence of Türkiye to the operation of liberation of Azerbaijan 1325-1298, Tehran, Shirazeh Kitab publishing and research.

Chamankar, Mohammad Jaafar (2016), Iran's Role in the Persian Gulf in the Persian Gulf and the Sea of Oman (Historical Analysis from the 9th to the 14th century), Tehran, Center for Political and International Studies of the Ministry of Foreign Affairs.

_ Hosseini, Fatemeh Sadat and others (2014), World War II in Iranian Press, Tehran, Rashedin.

Deldem, Iskandar (1370), Haji Washington, Tehran, Gulfam.

Alam, Abdul Amir (BTA), Iran-US political relations since World War II, Tehran, Amir Kabir.

Faust, Louis (1373), Iran and the Cold War and the Azerbaijan Crisis (1324-1325), translated by Kaveh Bayat, Tehran, Political and International Studies Office.

Lenchafsky, George (1351), the West and the Soviet Union in Iran during the Thirty Years of Competition (1918-1948), translated by Haura Yavari, Ibn Sina.

Makki, Hossein (1363), Twenty-year history of Iran, vol. 7, Tehran, Scientific and Cultural.

Millspo, Arthur (1370), Americans in Iran, translated by Abdolreza Hoshang Mahdavi, Tehran, Alborz.

Articles:

Chamankar, Mohammad Jaafar (2019), "The Impact of the Second International War on the Degradation of Bushehr's Economic Status", Research Paper on Local History, Vol. 9, No. 1, 17.

_ Chamankar, Mohammad Jaafar; Narimani, Zahra (2019), "America's performance on the shores and behind the shores of the Persian Gulf and the Sea of Oman in the Second World War", the first national conference on microbiology.

Sheikh Nouri, Mohammad Amir; Valipour, Mohammad (2015), "Iran, America and World War II", Monthly Andisheh and Political History of Contemporary Iran, S. 5, No. 44, Ardibehesht.

_ Tabatabai, Abdul Karim (1324), "Biography of Three Presidents and Vice Presidents", Almaneh Dunya.

_ Maarif, Colonel (1324), "America has everything", World Yearbook.

Documents

- Archives of the Organization of National Library of Iran (SAKMA) (1321), 293/3907.

- .... (1321), 293/3933.

THE PRAGMA-COGNITIVE NATURE OF INDIRECT SPEECH ACTS IN ENGLISH AND UZBEK: EVIDENCE FROM INTERROGATIVE AND IMPERATIVE CONSTRUCTIONS

Akbar Raimjonov

Gulistan State University

Abstract

This article investigates the pragma-cognitive nature of indirect speech acts in English and Uzbek, focusing on interrogative and imperative constructions as the two syntactic forms most frequently exploited for indirect directive meaning. While Speech Act Theory, as formulated by Austin and Searle, accounts for the illocutionary mismatch between sentence form and communicative function, it does not by itself explain how hearers resolve this mismatch in real time. The present study therefore integrates classical Speech Act Theory with cognitive-pragmatic models of utterance interpretation, including the Gricean inferential model, the Direct Access account, the Graded Salience Hypothesis, and Relevance Theory, in order to examine the cognitive mechanisms underlying the comprehension of indirect interrogatives and imperatives. Drawing on a qualitative comparative corpus of English and Uzbek dialogic material, the article demonstrates that although both languages rely on inferential processing to recover indirect directive meaning, the cognitive load and the degree of conventionalization associated with this processing differ systematically between the two languages. Uzbek imperative and interrogative constructions frequently carry conventionalized honorific and optative marking that reduces reliance on effortful pragmatic inference, whereas English indirect directives depend more heavily on modal hedging and context-driven implicature. The findings suggest that the cognitive economy of indirect speech act comprehension is shaped not only by universal pragmatic principles but also by the degree to which a language grammaticalizes politeness and indirectness. Implications for translation, second language pragmatics instruction, and models of cross-linguistic pragmatic processing are discussed.

Keywords: *indirect speech acts; cognitive pragmatics; interrogative constructions; imperative constructions; Relevance Theory; illocutionary force; English; Uzbek*

Introduction

Indirect speech acts occupy a paradoxical position in the study of human communication: they are simultaneously among the most common devices of everyday interaction and among the most cognitively demanding to explain. An utterance such as 'Can you close the window?' is formally an interrogative inquiring about the hearer's ability, yet it is almost universally understood as a directive requesting an action. Since Searle's seminal treatment of indirection, linguists have generally agreed that such utterances perform one illocutionary act (a directive) indirectly, by way of performing another (a question about ability). What remains less settled, and what motivates the present study, is the question of how listeners actually process such utterances cognitively, and whether this processing operates in the same way across typologically distinct languages.

English and Uzbek offer a particularly instructive pair for this investigation. English, an analytic Germanic language, expresses indirectness primarily through modal verbs, conditional constructions, and lexical hedges layered onto an otherwise unmarked interrogative or declarative frame. Uzbek, an agglutinative Turkic language, possesses a rich inventory of optative, permissive, and honorific verbal suffixes that can encode deference directly within the imperative paradigm itself. This raises the central question addressed here: does the grammaticalization of politeness in Uzbek reduce the cognitive processing cost of indirect speech acts relative to English, where indirectness is achieved through more context-dependent, compositional means?

The article pursues three specific objectives: first, to identify the formal patterns through which interrogative and imperative constructions convey indirect directive force in English and Uzbek; second, to evaluate these patterns against competing cognitive-pragmatic models of indirect speech act comprehension; and third, to determine whether the two languages differ systematically in the degree to which indirectness is conventionalized versus inferentially computed.

Theoretical Framework

The classical account of indirect speech acts derives from Austin and Searle, who distinguished the locutionary, illocutionary, and perlocutionary dimensions of an utterance and proposed that indirect speech acts are recovered through a chain of inference grounded in the Cooperative Principle. On this Standard Pragmatic Model, the hearer first computes the literal meaning of an utterance, recognizes its contextual inadequacy, and then derives the intended indirect meaning through inference. Subsequent cognitive-pragmatic research has challenged the assumption that literal meaning must always be computed first. Gibbs's Direct Access account

proposes that conventionalized indirect forms are understood immediately, without prior computation of literal meaning, while Giora's Graded Salience Hypothesis holds that the relative salience of literal versus indirect meanings, rather than literality as such, determines processing priority. Relevance Theory offers a further alternative, proposing that hearers select the interpretation that yields adequate cognitive effects for the least processing effort, without necessarily distinguishing a separate stage of literal-meaning computation at all.

A further theoretical distinction relevant to the present study is Levinson's observation that many indirect speech acts are not computed anew in each context but are short-circuited: certain syntactic frames become conventionally associated with a particular illocutionary force through repeated use, regardless of their literal semantic content. Meibauer's and Ruytenbeek's reviews of experimental work on indirect speech acts confirm that conventionalized indirect requests, such as English 'Could you...?', are processed with a speed comparable to direct requests, whereas novel or less conventionalized indirect forms incur a measurable processing cost. This distinction between conventionalized and non-conventionalized indirectness provides the analytical axis along which the English and Uzbek data are compared in the present study.

Within Uzbek linguistics, the cognitive and functional dimension of pragmatic meaning has been addressed by Safarov , whose monograph Pragmalingvistika established the foundational categories for the pragmatic analysis of the Uzbek sentence, and by Hakimov , who examined how communicative intention is realized through Uzbek grammatical form. Mahmudov's work on the culture of Uzbek speech further situates indirectness within the broader framework of social and interpersonal norms governing Uzbek communication, while Ochilboeva has shown, in a cognitive and linguocultural comparison of English and Uzbek, that politeness-related linguistic behavior in Uzbek is more closely tied to grammaticalized social hierarchy than its English counterpart.

Materials and Methods

The study adopts a qualitative comparative-contrastive method combined with cognitive-pragmatic classification. Two comparable subcorpora of dialogic material were compiled: an English subcorpus drawn from contemporary spoken-language transcripts, film dialogue, and dramatic prose, and an Uzbek subcorpus drawn from analogous sources, including contemporary Uzbek drama and transcribed conversational interaction. From each subcorpus, interrogative and imperative utterances functioning as directives were extracted and classified along two dimensions: (i) degree of conventionalization, distinguishing highly conventionalized indirect forms from novel, context-dependent indirect forms; and (ii) the linguistic device

carrying the indirect or mitigating function, such as a modal verb, a conditional clause, an honorific suffix, or an optative marker.

Each utterance was further evaluated against the four cognitive-pragmatic models outlined in Section 2 to determine which model best accounts for its predicted processing profile: the Standard Pragmatic Model, the Direct Access account, the Graded Salience Hypothesis, and Relevance Theory. Because the study is qualitative rather than experimental, no reaction-time data were collected; instead, the classification draws on the theoretical predictions each model makes about conventionalized versus novel indirect forms, and on distributional evidence from the two subcorpora regarding the relative frequency of conventionalized forms in each language.

Results

The analysis reveals a clear asymmetry between the two languages in the distribution of conventionalized versus novel indirect directive forms. In the English subcorpus, indirect directives realized through interrogative constructions overwhelmingly cluster around a small set of conventionalized modal frames, particularly those built on 'can', 'could', 'would', and 'would you mind'. These forms pattern consistently with Levinson's (1983) notion of short-circuited implicature: their indirect directive force appears to be retrieved as a unit rather than computed compositionally, which is consistent with the predictions of the Direct Access account and the Graded Salience Hypothesis for high-salience conventionalized expressions.

In the Uzbek subcorpus, by contrast, indirect directive force is frequently carried not by the interrogative frame itself but by verbal morphology superimposed on an imperative or optative base. The permissive and optative suffixes, together with the honorific second-person plural agreement pattern, allow a speaker to formulate what is structurally an imperative sentence while simultaneously encoding a degree of deference that in English would require a separate interrogative or conditional frame. Because this politeness marking is a grammatically obligatory feature of the verb paradigm rather than an optional lexical addition, its interpretation appears to require comparatively little context-dependent inference: the hearer recovers the intended level of directive force largely from the morphological form itself, a pattern more consistent with Relevance Theory's principle of least processing effort than with the Standard Pragmatic Model's assumption of a separate inferential stage.

A further finding concerns novel, non-conventionalized indirect directives. In both subcorpora, less frequent indirect forms, such as an English declarative statement of a problem ('It's cold in here') or an Uzbek

declarative implying an unstated request, require substantially more contextual support to be interpreted as directives, and their felicity depends heavily on situational cues. This pattern held in both languages, suggesting that the inferential mechanisms invoked by the Standard Pragmatic Model and Relevance Theory remain necessary for the processing of low-salience indirect forms even in a language, such as Uzbek, where conventionalized morphological indirectness is comparatively abundant.

Discussion

The results suggest that no single cognitive-pragmatic model is sufficient on its own to account for the processing of indirect speech acts across English and Uzbek; rather, the applicability of each model depends on the degree of conventionalization of the form in question, in line with the general position argued by Giora and supported by the experimental review of Ruytenbeek . At the same time, the comparative data indicate that the two languages differ in where conventionalization is structurally located. English concentrates conventionalized indirectness in a limited set of syntactic-lexical frames operating at the level of the interrogative sentence, whereas Uzbek distributes a comparable pragmatic function across the morphological paradigm of the imperative verb itself. This finding extends Safarov's and Hakimov's observation that Uzbek pragmatic meaning is frequently carried by grammatical form, by showing that this morphologization of politeness plausibly serves a cognitive economy function as well as a social one: it allows the hearer to determine directive force with reduced reliance on effortful contextual inference.

These findings have several practical implications. In translation, rendering an Uzbek honorific imperative into English requires the translator to reconstruct, through periphrastic modal or conditional means, a pragmatic effect that the Uzbek original encodes morphologically in a single word; a literal translation risks either flattening the politeness distinction or over-elaborating it. In the teaching of pragmatics to second language learners, the results suggest that English-speaking learners of Uzbek would benefit from explicit instruction in the pragmatic function of optative and honorific verb morphology, since this dimension of indirectness has no direct structural counterpart in their first language and cannot be expected to transfer automatically. Conversely, Uzbek-speaking learners of English may need focused practice with the limited inventory of conventionalized English request frames identified in Section 4, since relying on literal or novel constructions where a native speaker would use a conventionalized frame can result in utterances that are grammatically correct but pragmatically marked as unusually direct or effortful to process.

The study is subject to certain limitations. As a qualitative corpus analysis, it does not provide direct psycholinguistic evidence, such as reaction-time or eye-tracking data, for the processing claims associated with each cognitive-pragmatic model; the classification offered here is therefore best understood as generating hypotheses for future experimental testing rather than confirming them directly. In addition, the corpus is limited to dialogic literary and conversational material and does not extend to institutional or written registers, where conventionalization patterns may differ.

Conclusion

This article has examined the pragma-cognitive nature of indirect speech acts in English and Uzbek through the lens of interrogative and imperative constructions, integrating classical Speech Act Theory with cognitive-pragmatic models of utterance comprehension. The comparative analysis indicates that both languages rely on a combination of conventionalized and inferentially computed indirectness, but that they differ in where this conventionalization is grammatically located: English concentrates it in a small set of modal-interrogative frames, while Uzbek distributes it across the morphological system of the imperative verb. These findings contribute to a more typologically informed account of indirect speech act processing and offer a linguistically grounded basis for further research in cognitive pragmatics, translation studies, and the teaching of pragmatic competence in English and Uzbek as foreign languages. Future research incorporating psycholinguistic experimentation and larger, register-balanced corpora would allow the hypotheses generated here to be tested directly.

References

1. Austin, J. L. (1962). How to Do Things with Words. Oxford: Clarendon Press.
2. Brown, P., & Levinson, S. C. (1987). Politeness: Some Universals in Language Usage. Cambridge: Cambridge University Press.
3. Giora, R. (1997). Understanding figurative and literal language: The graded salience hypothesis. Cognitive Linguistics, 8(3), 183–206.
4. Giora, R. (2002). Literal vs. figurative language: Different or equal? Journal of Pragmatics, 34(4), 487–506.
5. Grice, H. P. (1975). Logic and conversation. In P. Cole & J. L. Morgan (Eds.), Syntax and Semantics, Vol. 3: Speech Acts (pp. 41–58). New York: Academic Press.
6. Hakimov, M. (2013). O‘zbek pragmalingvistikasi asoslari [Foundations of Uzbek Pragmalinguistics]. Toshkent.
7. Levinson, S. C. (1983). Pragmatics. Cambridge: Cambridge University Press.
8. Mahmudov, N. (2012). Til va nutq madaniyati [The Culture of Language and Speech]. Toshkent: O‘zbekiston Milliy Ensiklopediyasi.
9. Meibauer, J. (2019). Speech acts, implicature, and pragmatic markers. In C. Cummins & N. Katsos (Eds.), The Oxford Handbook of Experimental Semantics and Pragmatics. Oxford: Oxford University Press.
10. Ochilboeva, I. (2024). Cross-cultural linguistic expressions of manners: A comparative study of Uzbek and English behaviors from cognitive and linguocultural perspectives. Journal of Language Pedagogy and Innovative Applied Linguistics, 2(2), 34–40.

PROSPECTS AND CHALLENGES OF SOLAR ENERGY UTILISATION IN THE MIRZACHO‘L (HUNGRY STEPPE) REGION OF UZBEKISTAN

Dilrabo Allayarova

Basic Doctoral Student (PhD Candidate), Gulistan State University, Guliston, Republic of Uzbekistan

Abstract

The Mirzacho‘l (Hungry Steppe) — an arid, flat, sparsely clouded plain covering roughly 10,000 km² across Sirdaryo and northern Jizzakh regions — combines two features that make it a natural candidate for large-scale solar energy development: a continental desert-steppe climate with limited precipitation (about 240 mm per year) and consistently high solar exposure, and an open, already-disturbed agricultural landscape well suited to utility-scale photovoltaic installation. This article reviews the region's solar resource base using published irradiance data, situates it within Uzbekistan's national renewable-energy roadmap, and documents the utility-scale solar projects already committed to the Jizzakh part of the steppe (720 MW awarded between 2021 and 2025). The regional solar radiation figures place the Jizzakh–Sirdaryo area among the country's most favourable zones, comparable to the traditionally cited Navoi and Bukhara sites. The article further discusses the specific constraints of deploying solar infrastructure in an active cotton- and grain-producing region — competition for irrigated land, dust and sand soiling of panels, and grid-connection distance — and proposes an agrivoltaic and distributed-rooftop pathway better suited to Mirzacho‘l's dual role as an agricultural and energy-producing landscape.

Keywords: *solar energy, photovoltaics, Mirzacho‘l, Hungry Steppe, Jizzakh region, Sirdaryo region, renewable energy, Uzbekistan, agrivoltaics, solar irradiance*

1. Introduction

The transition toward renewable sources of electricity generation has become one of the defining priorities of national energy policy across Central Asia. For the Republic of Uzbekistan, a country historically dependent on natural gas for more than 80% of its power generation, the diversification of the energy mix is not only an environmental commitment but a matter of energy security: domestic gas fields are maturing, winter demand regularly strains the network, and the government has set an official target of raising the share of renewable generation to 25% by 2030, with solar photovoltaic (PV) capacity alone targeted at 5 GW — and, under more ambitious scenarios, up to 7 GW — by that date [1].

Within this national programme, particular attention is warranted for the Mirzacho‘l — known historically as the Hungry Steppe — a vast, flat, arid plain on the left bank of the Syr Darya river that extends across Sirdaryo Region and the northern part of Jizzakh Region [2]. Transformed since the late nineteenth and mid-twentieth centuries from uncultivated steppe into one of Uzbekistan's principal cotton- and grain-producing zones through large-scale irrigation, the Mirzacho‘l today combines exactly the physical characteristics that utility-scale solar development requires: minimal cloud cover, low annual precipitation, flat unobstructed terrain, and proximity to existing irrigation and transport infrastructure. It is not a coincidence that some of the largest single solar-project awards announced in Uzbekistan to date — 220 MW in 2021 and 500 MW in 2025 — have been sited in the Jizzakh portion of this steppe [3, 4].

The purpose of this article is threefold: first, to assess, on the basis of published actinometric and satellite-derived data, the solar resource available over the Mirzacho‘l relative to other regions of Uzbekistan; second, to document the current state of utility-scale solar investment in the Jizzakh–Sirdaryo area; and third, to identify the specific technical and land-use constraints that distinguish solar development in an active irrigated-agriculture region from development in Uzbekistan's better-studied desert sites (Navoi, Bukhara, Karakalpakstan), and to propose development pathways — in particular agrivoltaics and distributed rooftop generation — better matched to Mirzacho‘l's dual identity as both a food-producing and an energy-producing landscape.

2. Geographic and Climatic Characteristics of the Mirzacho‘l Region

The Mirzacho‘l steppe covers approximately 10,000 km², bounded by the Turkestan mountain range to the south and extending from the mouth of the Fergana Valley in the east across Sirdaryo Region and northern Jizzakh Region to the west [2]. The cities of Guliston and Yangiyer, both in Sirdaryo Region, function as the

principal urban and administrative centres of the steppe's agricultural economy; Guliston is also the seat of Gulistan State University, the institution from which the present study originates.

Climatically, the region is classified as an extreme continental desert-steppe zone, a northward extension of the Kyzylkum desert. Average annual precipitation is approximately 240 mm, concentrated in the winter–spring months, leaving summer and early autumn largely rain-free and cloud-free. Seasonal temperatures range from around 28 °C in summer to as low as −2 °C in winter [2]. This combination — low humidity, minimal cloud cover for roughly two-thirds of the year, and a broad, treeless, already-levelled agricultural plain — is precisely the physical profile associated with high, reliable solar-panel performance and straightforward site engineering (no forest clearance, minimal grading, established road and irrigation-canal access).

Approximately 500,000 hectares of the steppe are under irrigated cultivation, chiefly cotton and grain, supplied by three major canals built during the 1950s–1960s [2]. This irrigation legacy is directly relevant to solar planning: land immediately adjacent to canal command areas is typically the most productive and least suitable for conversion to solar farms, whereas marginal, saline, or under-irrigated plots at the edges of command areas — common across the steppe — are the more logical sites for ground-mounted PV, a distinction developed further in Section 5.

3. Materials and Methods

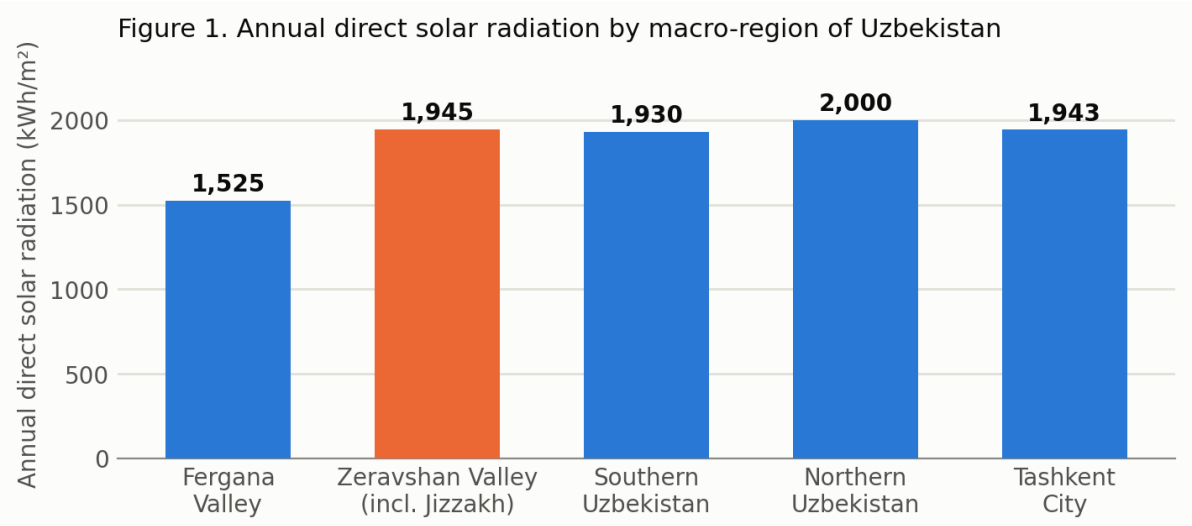
This study is a desk-based regional assessment. Solar-resource figures are drawn from two primary sources: the International Energy Agency's 2023 roadmap for solar energy policy in Uzbekistan, which reports national Global Horizontal Irradiance (GHI) and Direct Normal Irradiance (DNI) estimates derived from satellite and ground-station data [1], and a 2025 regional actinometric assessment published in the journal Clean Energy, which disaggregates annual direct solar radiation by macro-region of Uzbekistan, including the Zeravshan Valley grouping (Samarkand, Jizzakh, Bukhara, Navoi) within which the Jizzakh portion of Mirzachoʻl falls [5]. Data on installed and awarded solar generation capacity are drawn from official project announcements and industry reporting on the Jizzakh 220 MW (2021) and 500 MW (2025) awards [1, 3, 4]. Where station-specific monthly data for the Mirzachoʻl steppe itself were not available in the published literature, an illustrative seasonal curve consistent with Uzbekistan's documented continental climate pattern is presented (Figure 2) and is explicitly labelled as such rather than as measured station data.

4. Solar Energy Potential of the Mirzacho‘l Region

Uzbekistan as a whole is well endowed with solar resources: national mean GHI is estimated at 4.52 kWh/m²/day (range 4.0–5.0), a figure that exceeds comparable benchmark markets such as Spain (4.64) and Italy (4.07) once regional variation is accounted for, while mean DNI — relevant for concentrated solar applications — is estimated at 4.44 kWh/m²/day, comparable to solar-industry benchmark regions in the southern United States and Spain [1]. The country also receives an average of around 300 sunny days per year [6].

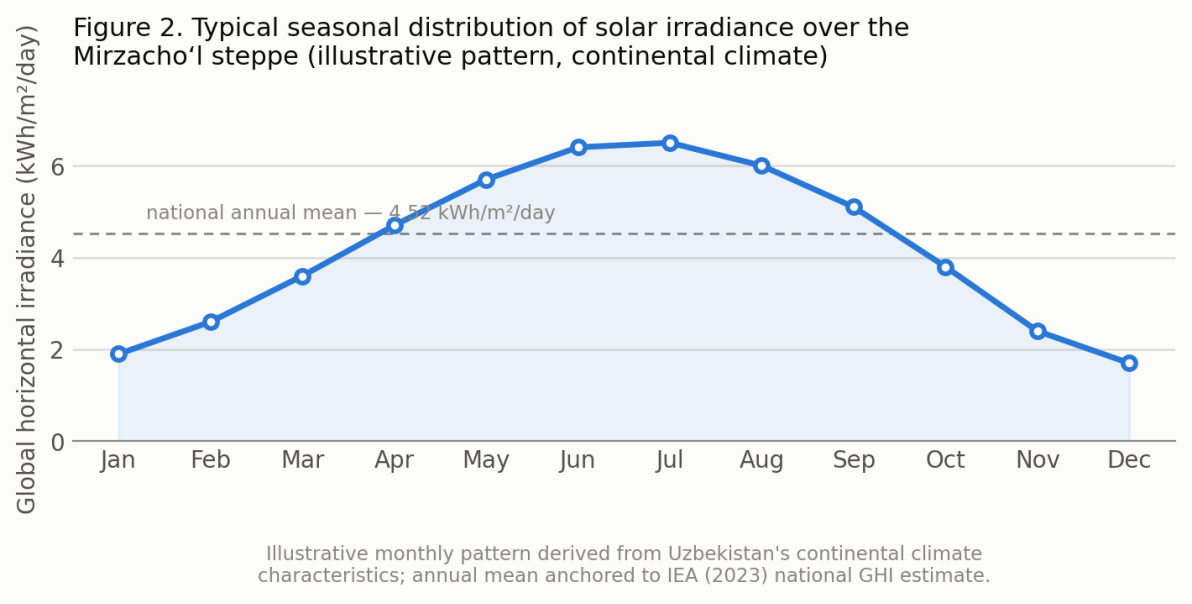
Regional disaggregation confirms that the Jizzakh–Sirdaryo area is not a marginal solar zone within Uzbekistan but one of its stronger ones. Kodirov et al. (2025) report annual direct solar radiation of 1,910–1,980 kWh/m² for the Zeravshan Valley grouping that includes Jizzakh — essentially indistinguishable from the values reported for Tashkent city (1,943 kWh/m²) and for the traditionally solar-favoured northern (1,900–2,100 kWh/m²) and southern (1,900–1,960 kWh/m²) regions, and markedly higher than the Fergana Valley (1,500–1,550 kWh/m²) (Figure 1) [5]. The same study finds that peak instantaneous solar power in the 11:00–13:00 window reaches approximately 1.43 kWh/m², with daily totals as high as 7.15 kWh/m² at the summer peak, and reports a 4.5 kW demonstration PV system generating 1,224 kWh over a year of operation under Uzbekistan's climate conditions [5] — a real-world specific yield of roughly 272 kWh per installed kW per year, a useful planning benchmark for smaller distributed systems in the region.

Figure 1. Annual direct solar radiation by macro-region of Uzbekistan



Source: Kodirov et al. (2025), Clean Energy, 9(6). Jizzakh region — part of the Mirzacho‘l steppe together with Sirdaryo — falls within the Zeravshan Valley group (highlighted).

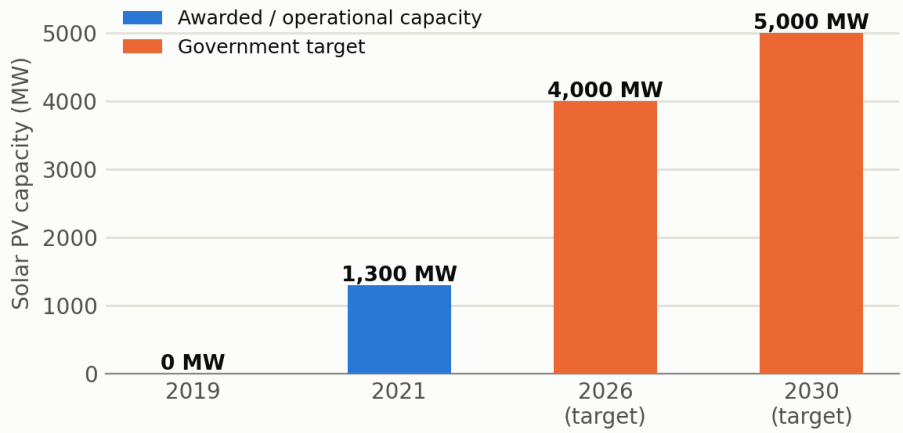
Seasonally, solar resource availability over the steppe follows the typical mid-latitude continental pattern: irradiance rises sharply from March, peaks in June–July, and declines through the autumn to a winter minimum (Figure 2). This profile has two practical implications for planning in Mirzacho‘l. First, peak solar output coincides closely with the region's peak irrigation-pumping season (May–August), suggesting a natural complementarity between solar generation and agricultural electricity demand for pumps and processing equipment. Second, the pronounced winter trough means that solar alone cannot be planned as a year-round baseload substitute without either storage or continued thermal/hydro balancing — a constraint consistent with national planning, which pairs the solar rollout with continued investment in flexible thermal and hydropower capacity [1].



5. Current State of Solar Energy Development in the Jizzakh–Sirdaryo Area

Nationally, Uzbekistan's solar sector has grown from a negligible base before 2019 to more than 1,300 MW of awarded capacity by August 2021, including the first operational large-scale plant — the 100 MW Nur Navoi Solar Park [1]. The government's stated ambitions extend this trajectory considerably further: an official target of 4 GW of solar capacity by 2026 and 5 GW (with scenarios reaching 7 GW) by 2030 (Figure 3) [1].

Figure 3. National solar PV capacity: awarded/operational vs. government targets



Source: IEA (2023), Solar Energy Policy in Uzbekistan: A Roadmap.
Jizzakh region (part of Mirzacho'l) alone accounts for 720 MW of this pipeline (220 MW awarded 2021 + 500 MW awarded 2025).

The Jizzakh portion of Mirzacho'l has already secured a substantial share of this pipeline. In 2021, 220 MW of solar capacity was awarded to the region as part of the government's competitive solar tender programme [1]. In August 2025, China Electrical Equipment International Co. Ltd. and China Huadian Overseas Co. Ltd., operating jointly as Huadian Jizzakh Solar Power LLC, secured approval for a 500 MW photovoltaic plant in the Forish district of Jizzakh Region, representing 2.08 billion yuan (approximately US$290 million) of direct investment, 991.1 hectares of reclassified pastureland, and a 25-year guaranteed power-purchase agreement with the state buyer Uzenergosotish JSC [3]. A further project by China's Liquip International was announced for the same region at the Samarkand International Climate Forum in April 2025 [3].

Table 1 summarises the confirmed utility-scale solar commitments in the Jizzakh part of Mirzachoʻl to date.

Year awarded	Capacity	Location	Developer(s)	Notes
2021	220 MW	Jizzakh Region	Awarded under national competitive solar tender	Part of the 1,300 MW awarded nationally by Aug. 2021
2025	500 MW	Forish district, Jizzakh Region	China Electrical Equipment International / China Huadian Overseas (Huadian Jizzakh Solar Power LLC)	$290m direct investment; 25-year PPA with Uzenergosotish JSC
2025	n/d	Jizzakh Region	Liquip International (China)	Announced at the Samarkand International Climate Forum, April 2025

Table 1. Confirmed utility-scale solar photovoltaic commitments in the Jizzakh portion of the Mirzachoʻl steppe. Sources: [1, 3].

At the household scale, the region also stands to benefit from Uzbekistan's broader distributed-solar programme, which — supported by the World Bank — has promoted the installation of 2 kW rooftop solar systems across 150,000 private houses nationally between 2021 and 2023, alongside a regulatory mandate for solar installation on schools, hospitals, and government buildings [6]. Given Mirzachoʻl's dense network of rural settlements built around the Soviet-era irrigation scheme, this distributed programme represents a second, complementary track of solar deployment alongside the utility-scale projects described above.

6. Challenges and Constraints Specific to the Region

Despite a favourable resource base, solar development in Mirzachoʻl faces constraints that distinguish it from Uzbekistan's classic desert solar sites in Navoi or Karakalpakstan.

Competition for irrigated land. Unlike the largely uninhabited desert sites that have hosted Uzbekistan's earliest utility-scale plants, Mirzacho‘l is an active, irrigated cotton- and grain-producing region with roughly 500,000 hectares under cultivation [2]. Utility-scale solar siting must therefore be steered toward marginal, saline, or under-productive land at the edges of irrigation command areas rather than displacing high-value cropland — the 991.1-hectare Forish project's use of pastureland rather than irrigated farmland is a relevant precedent [3].

Dust and soil deposition. The steppe's arid climate and exposed, cultivated soils make wind-blown dust a material operational concern for photovoltaic arrays, with soiling losses of several percentage points of output typical for arid-zone plants unless regular panel cleaning is budgeted into operating costs.

Distance from existing high-voltage infrastructure. Much of Mirzacho‘l's transmission network was built to serve irrigation pumping and agro-industrial loads rather than to export bulk power, meaning grid-connection upgrades are a material component of utility-scale project cost — a consideration reflected in the scale of direct investment attached to the Forish project [3].

Seasonal mismatch and storage. As shown in Figure 2, solar output falls sharply in winter precisely when heating-related electricity demand rises, so solar capacity in the region must continue to be paired with flexible thermal, hydro, or (in future) storage capacity rather than deployed as a stand-alone winter solution [1].

Water for panel maintenance in a water-scarce agricultural economy. Because irrigation water in Mirzacho‘l is already allocated to cotton and grain production, large-scale plants should prioritise dry-cleaning robotics or minimal-water maintenance regimes rather than assuming ready access to irrigation water for panel washing.

7. Recommendations for Sustainable Solar Development

On the basis of the resource assessment and constraints identified above, three development pathways are proposed for Mirzacho‘l.

Prioritise agrivoltaic and marginal-land siting. Rather than treating agricultural and solar land uses as competing, pilot agrivoltaic installations — elevated PV arrays over shade-tolerant crops, or ground-mounted arrays on saline and under-irrigated plots at the margins of canal command areas — should be tested in Sirdaryo and Jizzakh regions, following the precedent set by the Forish project's use of pastureland rather than cropland [3].

Expand the distributed rooftop programme regionally. Given the dense pattern of rural settlement across the steppe, the national 2 kW household-solar and public-building mandate [6] should be actively targeted at Mirzachoʻl's towns and villages, reducing transmission losses and grid-upgrade requirements relative to large remote utility-scale plants.

Align generation timing with irrigation demand. Because peak solar output (May–August, Figure 2) coincides with peak irrigation-pumping demand, planning should examine direct or near-direct solar supply to pumping stations as a way of reducing both diesel/grid costs for farms and transmission requirements for new solar capacity.

Build regional technical and monitoring capacity. Universities based in the steppe, including Gulistan State University, should establish local solar-monitoring stations to generate the station-specific irradiance and soiling data that are currently absent from the published literature for this specific area (see Section 3), improving the accuracy of future feasibility studies beyond the regional and national estimates relied upon here.

8. Conclusion

The Mirzachoʻl steppe combines a genuinely favourable solar resource — annual direct solar radiation on a par with Uzbekistan's traditionally cited solar regions, and around 300 sunny days per year nationally — with an already-disturbed, well-connected agricultural landscape that lowers many of the practical barriers to utility-scale deployment. The 720 MW of solar capacity already awarded in the Jizzakh portion of the steppe since 2021 confirms that developers and policymakers increasingly recognise this potential. Realising it sustainably, however, requires treating Mirzachoʻl as what it is: not an empty desert but a working agricultural landscape, where solar siting on marginal and pastoral land, agrivoltaic pilots, distributed rooftop deployment, and irrigation-synchronised generation offer a more durable development path than utility-scale plants alone. Continued national investment, paired with locally generated monitoring data and land-use planning specific to the steppe's irrigated economy, can position Mirzachoʻl — and Gulistan State University's home region — as a leading contributor to Uzbekistan's 2030 renewable-energy targets.

References

1. International Energy Agency (IEA). Solar Energy Policy in Uzbekistan: A Roadmap. Paris: IEA, 2023. Available at: https://www.iea.org/reports/solar-energy-policy-in-uzbekistan-a-roadmap
2. Mirzacho‘l (Hungry Steppe). In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Mirzacho%CA%BBl
3. Chinese Firms to Build 500 MW Solar Power Plant in Uzbekistan's Jizzakh Region. The Times of Central Asia, 2025. Available at: https://timesca.com/chinese-firms-to-build-500-mw-solar-power-plant-in-uzbekistans-jizzakh-region/
4. By the End of 2026, 25 Modern Power Plants with a Total Capacity of 11,954 MW to Be Put into Operation in Uzbekistan. UzDaily, 2025. Available at: https://www.uzdaily.uz/en/by-the-end-of-2026-25-modern-power-plants-with-a-total-capacity-of-11954-mw-to-be-put-into-operation-in-uzbekistan/
5. Kodirov, D., Tursunov, O., Zhou, Y., Li, G., Yu, Q. Study on the Assessment of Solar Energy Potential for Production of Electricity: A Case Study of Uzbekistan. Clean Energy, 2025, vol. 9, no. 6, pp. 1–15. DOI: 10.1093/ce/zkae110.
6. Solar Power in Uzbekistan. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_in_Uzbekistan
7. Rakhimov, E.Yu., Sadullaeva, Sh.E., Kolomiets, Yu.G., Tashmatov, Kh.K., Usmonov, N.O. Analysis of the Solar Energy Potential of the Republic of Uzbekistan. Applied Solar Energy, 2017, vol. 53, no. 4, pp. 344–346.

SYNERGİSTİC CU–FE BİMETALLİC CO-COMPOSİTES FOR EFFİCİENT ELECTROCATALYTİC REDUCTİON OF 4-NİTROPHENOL

Naqeeb Ullah

Hosted Researcher At National Centre for Physics (NCP) Islamabad.

4-Nitrophenol (4-NP) is a highly toxic, water-soluble, and non-biodegradable pollutant commonly discharged from industrial effluents, posing serious risks to human health and aquatic ecosystems. Its electrocatalytic reduction to 4-aminophenol (4-AP) — a valuable precursor for pharmaceuticals, dyes, and antipyretic drugs — offers a mild, efficient, and environmentally friendly route for pollutant remediation combined with value-added chemical recovery. However, this transformation requires an active, stable, and low-cost catalyst. This study reports the synthesis of synergistic copper–iron (Cu-Fe) bimetallic co-composites (Cu1Fe99, Cu2Fe98, and Cu5Fe95) prepared via thermal treatment of iron oxide and Cu (NO3)2·3H2O at 600 °C, followed by sieving to a controlled particle size and electrode fabrication on nickel foam. The catalytic performance toward 4-NP reduction was evaluated using cyclic voltammetry (CV) and linear sweep voltammetry (LSV) across varying potentials and current densities, benchmarked against individual copper and iron oxide catalysts. Catalyst structure and stability were characterized by FTIR, UV-Vis, SEM, XRD, and BET analysis, while faradaic efficiency, conversion rate, and turnover frequency (TOF) were determined from chronoamperometric data, alongside reusability testing over ten cycles. Copper doping onto iron is expected to enhance electronic and morphological synergy, improving activity, stability, and overall electrochemical performance. The findings aim to establish Cu-Fe bimetallic composites as a cost-effective, highly active, and durable catalyst platform for sustainable nitrophenol remediation.

HOMOZYGOSITY MAPPING OF A CONSANGUINEOUS FAMILY WITH INHERITED DWARFISM FROM DISTRICT KOHAT

Muhammad Anas Khan[1], Prof. Dr. Saad Ullah Khan[1], Prof. Dr. Noor Muhammad[1], Fardous[2]

[1]Department of Biotechnology & Genetic Engineering, Kohat University of Science and Technology (KUST), Kohat, Pakistan

[2]Department of Medical Laboratory Technology, Kohat University of Science and Technology (KUST), Kohat, Pakistan

Abstract

Dwarfism is a heterogeneous group of skeletal disorders that are associated with decreased growth of the bones of the legs and arms and result in short stature. The identification of disease-causing loci in affected families is crucial for proper diagnosis and genetic counselling, and for understanding the pathogenesis of the disease. The present study, aimed to determine the underlying mechanism of dwarfism in a consanguineous family of District Kohat in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, by homozygosity mapping and linkage analysis. A detailed pedigree was drawn up to establish the mode of inheritance. Then blood samples were drawn from both affected and unaffected members after informed consent. Blood samples were used for genomic DNA extraction. After that genotyping was carried out on highly polymorphic microsatellite markers which have been reported in dwarfism. Techniques of homozygosity mapping were used to hunt the responsible genes i.e. GHR, NPR2, GHRHR, IGF1 in sampled family. By typing highly polymorphic microsatellite markers i.e. (D5S2022, D5S2087, D5S2856, D5S665, D5S577), (D9S1817, D9S1805, D9S1804, D9S1794, D9S1791), (D7S435, D7S2496, D7S2491, D7S2252, D7S817), (D12S815, D12S78, D12S800, D12S338, D12S318) in homozygosity mapping, the sampled family were excluded from the above-mentioned loci. The disease associated haplotype was consistently inherited in the same way as the disease phenotype, consistent with an autosomal recessive mode of inheritance. The molecular characterization of the candidate genes will continue to give insights into the genetic basis of dwarfism and will help in the genetic diagnosis and counseling of affected families.

Keywords: Dwarfism, Homozygosity Mapping, Microsatellite Markers, Consanguinity, Sanger Sequencing

PROMOTING DRIED OKRA SAUCE AT THE NEW HOTEL SOSSA : CHALLENGES AND PROSPECTS FOR BENIN'S GASTRONOMIC TOURISM

Dr (MA) Nadine AKOGBETO

Department of Geography and Land Use Planning (DGAT) ; University of Abomey-Calavi (UAC) ; Benin ; nadineakogbeto@gmail.com ; ; Bénin

Abstract

The main objective of this research was to assess the feasibility, relevance and potential impact of this culinary innovation on the establishment's appeal.

The methodology adopted was based on a mixed-methods approach, combining a quantitative questionnaire survey of 80 potential customers and interviews with hotel staff. Sampling was purposive, based on respondents' availability in relation to the catering service. Data analysis enabled us to verify four hypotheses, each corresponding to a specific objective.

The results revealed that most of the ingredients needed to prepare dried okra sauce are available locally (70% in favor), and that its integration into the menu seems logistically feasible without major upheaval. However, only a small proportion of customers were familiar with the dish (21%), although 66% were interested in its inclusion on the menu. The study also showed that the introduction of this sauce had a positive effect on customer satisfaction (68%) and loyalty (89%). Finally, a significant majority considered that the sauce could enrich the hotel's innovative culinary image.

Keywords : Valorisation, integration, culinary offer, dried okra sauce, Cotonou.

Introduction

Le Gastronomic tourism is now a strategic driver of economic, cultural, and regional development. According to the World Tourism Organization, many travelers now choose their destination based on the culinary experience it offers. In this context, Benin possesses a rich and diverse culinary heritage that remains underutilized for tourism purposes.

The promotion of local agri-food products is now a strategic driver for innovation in the restaurant and hospitality sectors in West Africa (Avorgbedor et al., 2022). In this context, okra (Abelmoschus esculentus), a traditional vegetable widely consumed in the Global South, is experiencing renewed interest due to its nutritional value, culinary versatility, and processing potential (Adjatin et al., 2018; Kpoclou et al., 2020).

The processing of okra into a dried product relies on both traditional and modern methods that preserve the vegetable's organoleptic and nutritional qualities while extending its shelf life (Djogbénou et al., 2015; N'dri et al., 2018). Dried okra is highly prized in West African cuisines for preparing rich, thick sauces that are valued for their unique taste and texture (Kouamé et al., 2015; Dossou et al., 2021). This transformed form is all the more important because it meets the needs of urbanization and fast-paced consumption.

Furthermore, consumer perception plays a fundamental role in the acceptability of a culinary innovation. It is therefore essential to understand customers' expectations, preferences, and barriers regarding the introduction of dried okra sauce into the hotel menu (Ababio et al., 2017). A participatory approach that incorporates the customers' perspective not only enhances the relevance of the offering but also maximizes the chances of customer satisfaction and loyalty (Soro-Yao et al., 2017).

It was based on this line of thinking that the present study was initiated. It aims to explore the possibilities for promoting dried okra sauce at New Hotel SOSSA through a multidimensional analysis.

1- Overview of the Study Setting

New Hotel SOSSA is a hotel complex located in Cotonou, in the Gbedjromède neighborhood, near the 16 Ampoules intersection. More specifically, it is located at Carré 1057L, near the Canal Olympia Cinema and Okpè Oluwa Square. Cotonou Cadjehoun International Airport is approximately 4 km away, or about a 12-minute drive. The hotel is also close to several points of interest, such as the Dantokpa Market (about 2 km away), the Wologuèdè Central Mosque, and the Higher School of Administration, Economics, Journalism, and Audiovisual Professions.

2- Research Methodology

I- Materials and Methods

a. Study Setting and Population

This research was conducted on the premises of the New Hotel SOSSA, a hotel located in an urban area frequented by a diverse clientele, both local and international. This site was chosen for its strategic location and its commitment to incorporating local dishes into its culinary offerings. The study focused on two main target groups:

- hotel staff involved in logistics management, procurement, and food preparation.
- hotel guests, who were asked to evaluate their perception, acceptance, and the potential impact of the dried okra sauce.

The target population consisted of 20 hotel staff members (the entire staff) and 80 guests selected through purposive sampling, based on their direct or indirect experience with dried okra sauce or their status as consumers at the establishment. This sampling method allowed us to collect relevant and informed opinions while ensuring a certain diversity in the profiles. Thus, we had a total sample of 100 people surveyed and interviewed.

b. Data Collection Method

A structured questionnaire was developed to address the study's four specific objectives. The questionnaire consists of 16 closed-ended questions, distributed evenly across the objectives, thereby facilitating quantitative analysis. Data were collected in both paper and digital formats between April and May 2025, with the assistance of hotel staff to facilitate the collection of responses.

c. Data Analysis and Processing

The data were entered and processed using Microsoft Excel. Percentages were used to interpret general trends in the responses. Charts and tables were used to visualize the results and facilitate the formulation of interpretations. Cross-tabulating the responses by objective allowed for an analytical interpretation consistent with the study's expectations. The SWOT model was used to analyze the integration of this culinary offering into the hotel's menu..

d. Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT Analysis)

To efficiently evaluate the introduction of dried okra sauce to the hotel's menu, a SWOT analysis was conducted.

3- Résults

1. Availability of the Ingredients Needed to Make Dried Okra Sauce

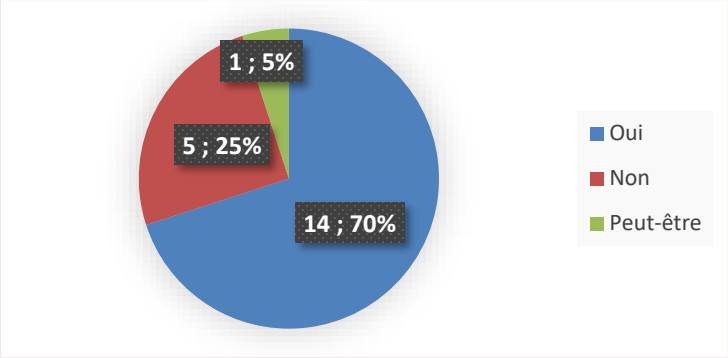


Figure 1 : Availability of Ingredients

From Figure 1, we see that 70% of respondents believe that the ingredients needed to prepare dried okra sauce are readily available locally. This result suggests satisfactory accessibility of raw materials, which constitutes a significant logistical advantage for seamless integration into the hotel's kitchen. However, 25% believe the opposite, which may reflect regional variability in supply or seasonal constraints. Only one respondent remains undecided.

2. Current logistics for integrating dried okra sauce

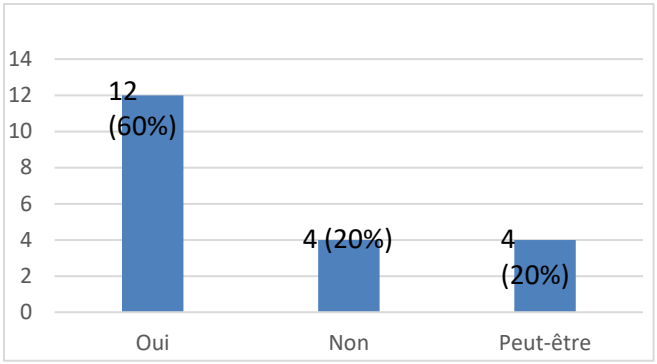


Figure 2 : Internal Hotel Logistics

An analysis of Figure 2 shows that 60% of respondents believe the hotel's current logistics would allow for the integration of this new dish without modifying existing processes. This reflects organizational flexibility, which reduces adjustment costs and facilitates the dish's adoption. Nevertheless, 20% believe that such integration would require adjustments; note that there is a 20% margin of uncertainty regarding this assertion.

Thus, the hotel appears to have an adaptable structure, but a more detailed internal analysis would be recommended to validate this perception..

3. Customer Interest in the Sauce

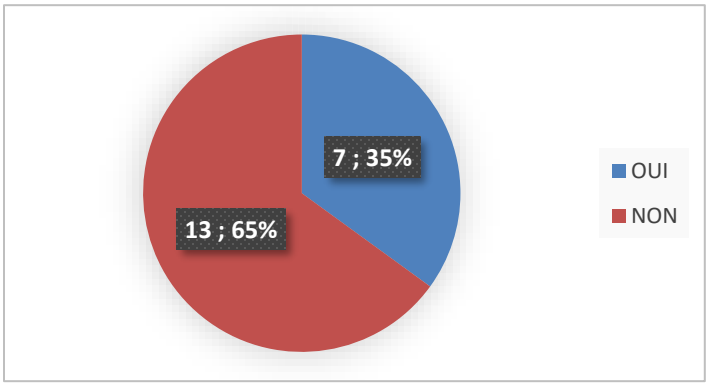


Figure 3 : Perceived Customer Interest

Unlike the previous questions, Figure 3 shows that 65% of respondents believe the target customer base would not be interested in dried okra sauce, while 35% see potential in it. This result serves as a warning sign, indicating a possible mismatch between the proposed product and perceived market expectations.

We can therefore conclude that, prior to the product's launch, awareness-building efforts or customer testing are necessary to generate interest in the product.

4. Production Cost of Dried Okra Sauce

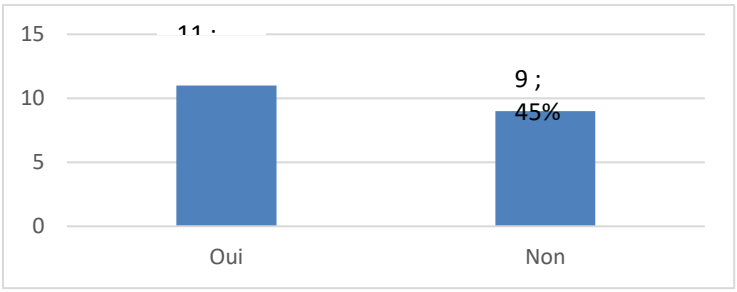


Figure 4 : Production Cost and Budget

According to Figure 4, 55% of respondents believe that the production cost would remain within the projected budget, compared to 45% who believe the opposite. This result suggests that the majority views this innovation as economically viable, but a significant minority expresses reservations, likely related to okra processing, drying, or packaging.

This finding highlights the need for a detailed analysis of direct and indirect costs to confirm this perception, particularly in comparison with other dishes already on the menu.

5. **Experience with dried okra sauce**

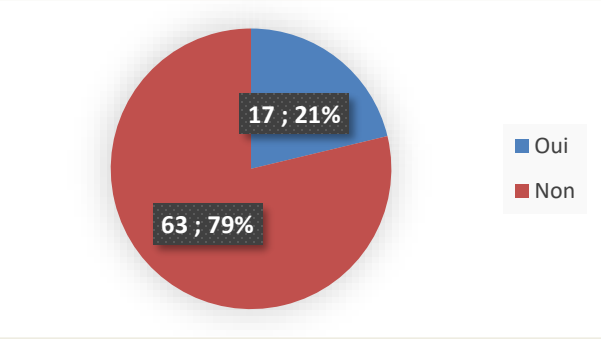


Figure 5 : Experience with Dried Okra Sauce

Figure 5 shows that a large majority of participants 79% have never tasted dried okra sauce, while only 21% have tried it. This result highlights a significant lack of familiarity with the product among customers. This may pose an obstacle to immediate acceptance, but it also presents an opportunity for differentiation if the sauce is properly introduced and promoted.

Therefore, efforts in communication, culinary education, and tasting are essential to familiarize customers with this traditional dish.

6. **The Relevance of Dried Okra Sauce in a Hospitality Setting**

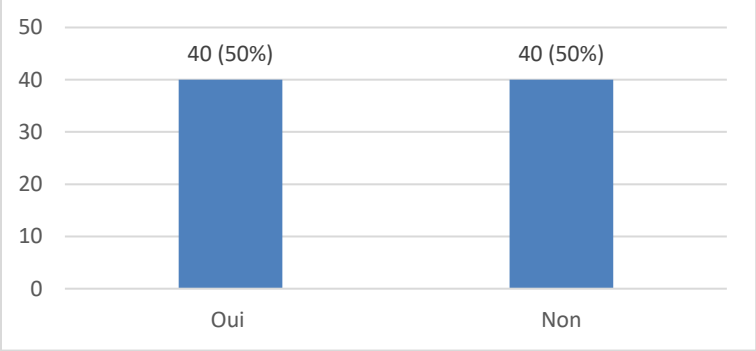


Figure 6 : Appropriateness in a Hotel Setting

Figure 6 shows that opinions are evenly split: 50% of respondents believe that dried okra sauce meets the culinary expectations of a hotel, while 50% believe the opposite. This divide suggests that the dish's legitimacy in a hotel setting has yet to be established. Some guests may perceive this type of sauce as too "rustic" or "informal" for a professional setting, while others see it as a sign of authenticity.

In short, the dish's image and visual presentation (plating, name, pairing with other dishes) will be key to winning over the most skeptical diners.

7. Overall satisfaction enhanced by culinary innovation

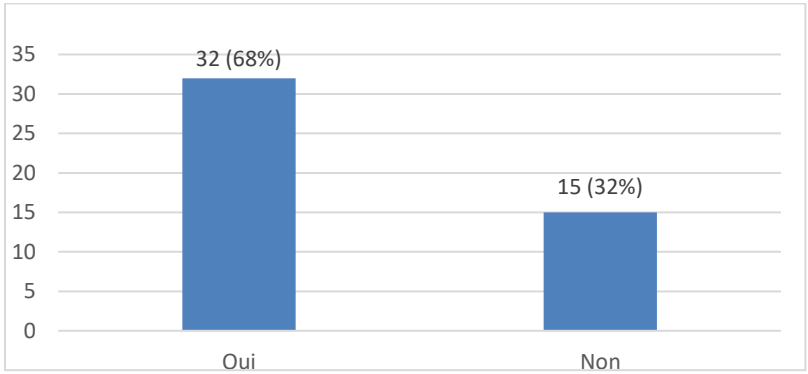


Figure 7 : Improved Overall Satisfaction Through Culinary Innovation

According to Figure 7, 68% of respondents felt that the introduction of dried okra sauce improved their overall satisfaction during their stay, while 32% did not perceive it that way. These results show that more than two-thirds of guests responded positively to this innovation, which is an excellent indicator of its impact on the guest experience.

We can conclude at this point that the dried okra sauce, although unusual, effectively contributes to enriching the culinary experience and reinforcing the hotel's image of quality.

8. Motivation to return thanks to culinary innovation

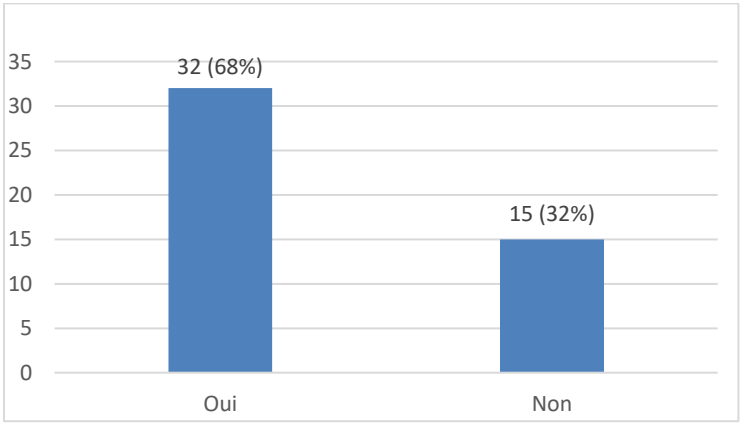


Figure 8 : Motivation to Return Due to Culinary Innovation

Using the same proportions, Figure 10 shows that 68% of customers say they are motivated to return to the hotel because of this original offering, while 32% are not. This suggests that culinary innovation is perceived as

a differentiating factor capable of fostering greater loyalty, particularly among guests curious about local cuisine.

The inclusion of unique or typically local dishes, such as dried okra sauce, reinforces the establishment's distinctive positioning.

9. Highlighting the dish and reinforcing the hotel's innovative image

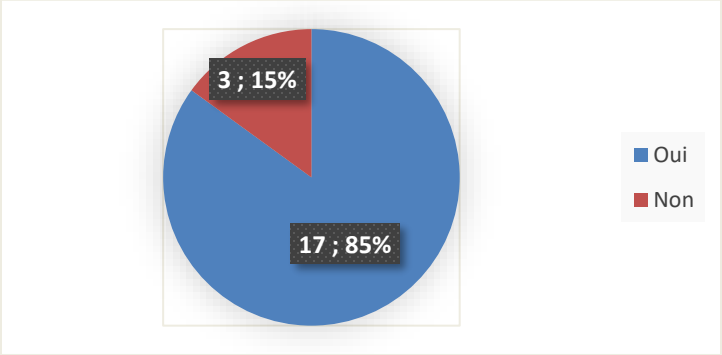


Figure 9 : Strengthening the Hotel's Innovative Image

Figure 9 shows that a large majority (85% of respondents) believe that effectively showcasing dried okra sauce would strengthen the hotel's innovative image. This shows that incorporating a traditional dish does not detract from an establishment's modern image; on the contrary, it can invigorate it.

The hotel can capitalize on authenticity as a driver of innovation, provided it adopts a professional and aesthetically pleasing approach to showcasing the dish.

4- Discussion

The results show that the local availability of ingredients (70%) represents an important advantage for integrating dried okra sauce into the culinary offerings of New Hôtel SOSSA. This finding is consistent with Sims (2009), who argues that local food can contribute to sustainable tourism by connecting visitors with the culture, heritage, and identity of a destination.

The fact that 60% of respondents consider the hotel's current logistics suitable also suggests relatively favorable operational feasibility, although the uncertainty regarding production costs (45%) highlights the need for a detailed economic assessment before implementation.

However, the low level of familiarity with dried okra sauce constitutes a major challenge, as 79% of respondents reported that they had never tasted the product.

This limited familiarity may partly explain why 65% of respondents perceived low customer interest in the dish. Nevertheless, Kim, Eves, and Scarles (2009) emphasize that tourists' consumption of local food is influenced by several factors, including the search for authentic experiences, sensory appeal, learning, and food neophobia.

Therefore, the limited initial interest observed in this study should not necessarily be interpreted as a lack of market potential, but rather as an indication of the need for product familiarization and appropriate communication.

The equal distribution of opinions regarding the suitability of dried okra sauce in a hotel setting (50%) also reveals an important issue of gastronomic positioning and customer acceptability.

In this regard, Sims (2009) notes that local food can enhance the tourism experience when it is perceived as an authentic representation of the destination's culture and heritage.

Consequently, the presentation, plating, menu description, and association of the sauce with other dishes could play a decisive role in transforming a traditional product into an attractive hotel offering.

The results concerning customer satisfaction are particularly encouraging, with 68% of respondents indicating that the culinary innovation improves their overall experience.

This finding is supported by Kumar et al. (2019), who demonstrated that the authenticity of local food can contribute to the quality of the tourism experience and subsequently influence tourist satisfaction and loyalty.

Similarly, the fact that 68% of respondents reported being motivated to return to the hotel because of this culinary innovation suggests that local gastronomy may contribute to customer retention and establishment differentiation.

Recent research also confirms the relationship between local gastronomy, tourist satisfaction, and loyalty, showing that positive local food experiences can strengthen tourists' intention to revisit and recommend a destination.

Furthermore, the 85% of respondents who believe that promoting dried okra sauce would strengthen the hotel's innovative image highlights the strategic value of culinary heritage in hotel marketing.

Thus, dried okra sauce can be transformed from a traditional local dish into an innovative gastronomic experience, provided that it is professionally presented and effectively promoted.

Overall, its integration into New Hôtel SOSSA appears promising as a strategy for promoting local products, improving customer experience, strengthening loyalty, differentiating the hotel, and contributing to the development of Beninese gastronomic tourism..

CONCLUSION

The objective of this study was to assess the feasibility and impact of integrating dried okra sauce into the culinary offerings of New Hôtel SOSSA.

The results show that the ingredients are locally available and that logistical constraints remain manageable. The implementation of this innovation would therefore not require major restructuring. Despite limited familiarity with the product, customers showed considerable interest in its inclusion on the menu. Half of the respondents considered the sauce suitable for a hotel setting. A large majority stated that they would be willing to order it during their stay.

More than two-thirds believed that this culinary innovation would improve their overall satisfaction and could encourage them to return. A significant proportion of customers would also be willing to recommend the hotel because of this distinctive offering. Dried okra sauce therefore appears to be an effective means of promoting local products and diversifying the culinary offer.

Finally, it represents a potential tool for differentiation, attractiveness, and the promotion of Beninese gastronomic tourism.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

Ababio P. F., Dédéhouanou H., Hounhouigan J. D. (2017). Perception des consommateurs sur les plats à base de gombo séché dans les restaurants de Cotonou. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 17(4), 12345–12358*.

Adjatin A., Dansi A., Badoussi E., Sanoussi A. F., Dansi M., Azokpota, P., Sanni A. (2018). Traditional vegetables in Benin : Diversity, distribution, and importance. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 14(1), 1–12*.

Avorgbedor Y., Mensah C., Gnimadi M. (2022). Valorisation des produits locaux dans les hôtels de Cotonou : cas du gombo séché. *Revue Africaine de Management, 13(1), 112–125*.

Dias, A., & Posheliuznaia, A. (2025). The flavor of place: Examining the impact of authentic local cuisine on tourist satisfaction and destination loyalty. The International Journal of Sociology of Agriculture and Food, 31(2).

Djogbénou C. P., Hounhouigan J. D., Akissoé N. H. (2015). Effet du séchage solaire sur la qualité du gombo (Abelmoschus esculentus) au Bénin. *Journal of Applied Biosciences, 85, 7792–7800.*

Dossou J., Kpoclou Y. E., Akissoé N. H. (2021). Influence des procédés de séchage sur les propriétés fonctionnelles de la poudre de gombo. *African Journal of Food Science, 15(3), 89–96.*

Kim, Y. G., Eves, A., & Scarles, C. (2009). Building a model of local food consumption on trips and holidays: A grounded theory approach. International Journal of Hospitality Management, 28(3), 423–431. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2008.11.005.

Kouamé K. G., N'dri Y. D., Kouassi K. N. (2015). Caractérisation physico-chimique et évaluation de l'activité antioxydante du gombo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 9(2), 1025–1033.*

Kpoclou Y. E., Akissoé N. H., Hounhouigan J. D., Mestres C. (2020). Effect of drying methods on the functional and pasting properties of okra (Abelmoschus esculentus) powders. *Food Science & Nutrition, 8(1), 429–436.*

Kumar et al. (2019). Authenticity, quality, and loyalty: Local food and sustainable tourism experience. Sustainability, 11(12), 3437.

N'dri Y. D., Kouassi K. N., Kouamé K. G. (2018). Effet du séchage sur les caractéristiques physico-chimiques du gombo (Abelmoschus esculentus). *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 12(2), 894–902.*

Sims, R. (2009). Food, place and authenticity: Local food and the sustainable tourism experience. Journal of Sustainable Tourism, 17(3), 321–336. https://doi.org/10.1080/09669580802359293.

Soro-Yao A. A., Adjrah Y., Mensah C. (2017). Étude de la satisfaction des clients face à l'introduction de plats traditionnels dans les menus hôteliers au Bénin. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies, 29, 67–78.*

CHALLENGES OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE TCHIKOMEY AND ZONGO NEIGHBORHOODS OF LOKOSSA, BENIN

Dr. AISSI Jean-Roitinos

Laboratory of Biogeography and Environmental Assessment (LABEE) ; Department of Geography and Land Use Planning (DGAT) ; University of Abomey-Calavi (UAC) ; Benin ; aissirockfeller@gmail.com

ABSTRACT

Municipal solid waste management is a major urban sanitation challenge in Benin, particularly in neighborhoods facing shortcomings in waste pre-collection systems. This study analyzes household solid waste management practices and the factors contributing to the persistence of unsanitary conditions in the Tchikomey and Zongo neighborhoods of Lokossa. A mixed-methods approach combining quantitative and qualitative methods was adopted. The quantitative survey involved 180 households selected using systematic sampling with a sampling interval of five households. It was complemented by surveys of 40 female vendors and traders, 10 cart drivers and waste collectors, as well as interviews with institutional stakeholders and local leaders. Quantitative data were processed using Microsoft Excel and SPSS, while qualitative data were analyzed thematically.

The results reveal limited awareness of the waste pre-collection system: 94.95% of surveyed households reported that they were unaware of the existence of a pre-collection agency in their neighborhood. Subscription rates to the service were also low, with 32% of households subscribed in Tchikomey compared with only 14% in Zongo. Among non-subscribed households, deliberate refusal to subscribe was the main reason reported (49.30%), followed by contract termination due to dissatisfaction with the service (31.25%) and sudden interruption of waste collection services (20.45%). Non-subscribed households mainly disposed of their waste at illegal dumping sites (76%), in drainage channels (16.01%), or through burning (7.99%). The study also highlights low involvement of institutional and community stakeholders, inadequate equipment, the absence of fixed collection points, and difficulties related to waste transportation. These constraints contribute to the persistence of unsanitary conditions in the two neighborhoods. Sustainable improvement of the system therefore requires strengthening waste pre-collection services, establishing fixed collection points, enhancing stakeholder involvement, and increasing household awareness of responsible waste management practices.

Keywords: municipal solid waste ; pre-collection ; unsanitary conditions ; waste management; Lokossa; Benin..

Introduction

Waste has always been an inevitable part of human life, present in every era and in every place, resulting from domestic, agricultural, industrial, and commercial activities. Over time, the challenges associated with waste management have evolved. In the past, waste was primarily organic, reflecting a rural way of life : animal and human waste, remains of slaughtered animals, and agricultural residues. Initially, this waste was simply dumped in landfills near where it was produced (N'go and Regent, 2004; p. 17). At that time, the issue of waste was essentially limited to the management of organic materials. However, with increasing urbanization, the amount of waste produced quickly became problematic, disrupting the environmental balance.

Contribuer Contributing to better household solid waste management" can be viewed through the lens of environmental responsibility and sustainability. As the American writer and environmentalist Aldo Leopold points out, "The first rule of sustainability is to meet a need without compromising the ability of future generations to meet their own needs." Indeed, effective management of household solid waste helps preserve the environment for future generations by reducing pollution and promoting the recycling and reuse of materials.

Waste management is a major problem in African cities. Indeed, one need only travel through a few African cities to witness the disheartening sight they present: waste piling up along public roads, waste clogging drainage systems or buried in open dumps adjacent to homes, and so on. Whether in Cotonou, Douala, Yaoundé, Accra, or Conakry, the ratio of household waste produced to the amount collected does not exceed 60% (Ngambi, 2015; p. 23). Landfilling takes place under conditions that are not very environmentally friendly and show little regard for protecting public health.

In short, contributing to better management of household solid waste is not only an environmental imperative but also a moral responsibility toward future generations and our planet's biodiversity.

Many of our cities are developing and implementing sophisticated technical solutions to ensure waste recycling. Nevertheless, the lack of waste sorting, inefficient collection, the burning of waste along roadsides, and uncontrolled disposal remain common practices. (A.R. SOSSOU. 2019 ; p. 1).

It must also be noted that despite this, instead of being in trash cans, waste litters our main roads and streets, with illegal dumps existing not only in rural areas but also in urban settings. Furthermore, major commercial centers and large market areas are places where solid waste is produced in abundance and is poorly managed (TOPANOU, 2012 ; p. 94).

This truly harms the environment, and it is important to address this problem—which has persisted for several years—in order to help create a healthier living environment. Analyzing the commitment of stakeholders responsible for managing household solid waste is crucial to implementing effective and sustainable policies in this area. According to various reports from the UN and the OECD on waste management, the active involvement of local stakeholders is essential to ensuring the success of waste management initiatives and facilitating a transition toward more sustainable practices. This quote highlights the importance of local stakeholders' participation and commitment in implementing solutions tailored to the specific needs of each community. Similarly, without a strong and consistent commitment from the various stakeholders, it is difficult to establish effective policies for household solid waste management. The involvement of key actors-such as local authorities, private companies, community organizations, and citizens is essential to ensuring the success of waste management projects and guaranteeing their long-term sustainability. By conducting an in-depth analysis of the commitment of the stakeholders involved in household solid waste management, it is possible to identify the barriers and drivers that can positively or negatively influence the implementation of sustainable policies and practices.

5- Overview of the Study Area

The municipality of Lokossa, the capital of the Mono Department, is bordered to the north by the municipality of Dogbo and to the south by the municipality of Athiémé. To the west lies the Republic of Togo, and to the east, the municipalities of Bopa and Houéyogbé. It is located between 6°36'14“ and 6°47'00” north latitude and between 1°44'30“ and 1°55'19” east longitude. Figure 1 below shows the geographic location of the study area.

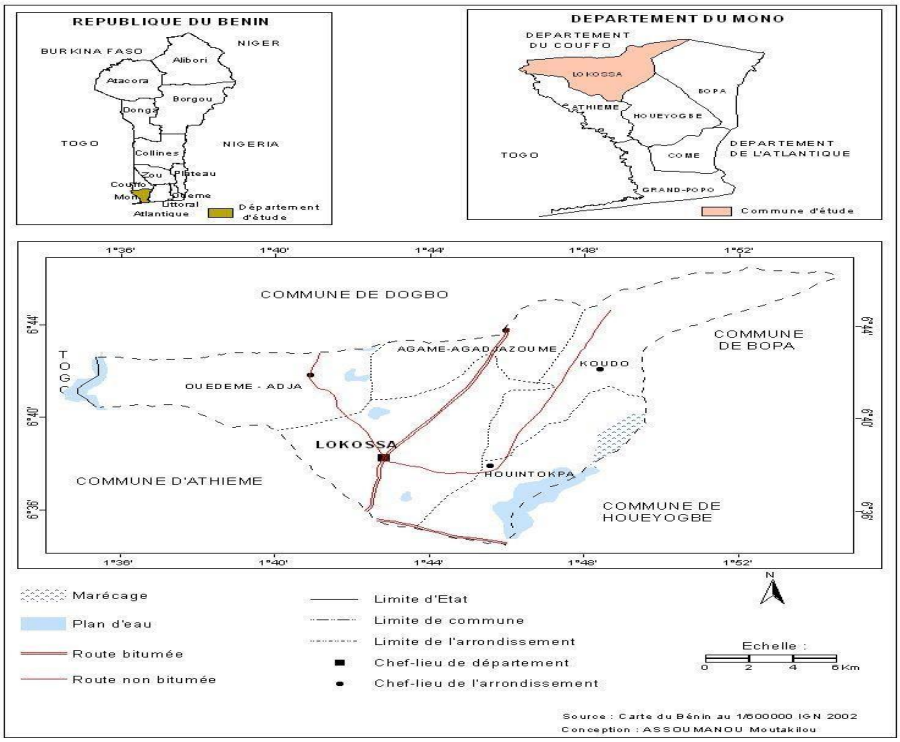


Figure 1: Geographic Location of the City of Lokossa

2. Materials and Methods

2.1. Research Approach and Study Design

This study adopted a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative methods. This approach was selected to analyze, on the one hand, household practices regarding municipal solid waste (MSW) management and, on the other hand, the perceptions and responsibilities of the different stakeholders involved in the waste pre-collection system in the Tchikomey and Zongo neighborhoods of Lokossa.

The quantitative approach was used to assess household subscription rates to the pre-collection service, waste disposal practices, subscription fees paid, and the main reasons for non-subscription. The qualitative approach complemented these findings by examining the perceptions and explanations provided by local authorities, neighborhood chiefs, and stakeholders involved in waste pre-collection.

The study was both descriptive and analytical. It was descriptive because it characterized MSW management practices in the two neighborhoods, and analytical because it sought to identify factors associated with difficulties in the functioning of the pre-collection system and the persistence of sanitation problems.

2.2. Sampling Procedure and Sample Size

The quantitative survey involved 180 households distributed across the Tchikomey and Zongo neighborhoods. Households were selected using a systematic sampling procedure, with a sampling interval of five households. Thus, after selecting a starting household, every fifth household was subsequently selected for the survey.

In addition to the household survey, 40 female vendors and traders at Lokossa market were interviewed. Ten (10) cart drivers and waste collectors were also surveyed, given their direct involvement in waste pre-collection and the relatively small number of these actors.

For the qualitative component, key informants were selected through purposive sampling, based on their knowledge of the functioning of the local MSW management system. Where necessary, snowball sampling was used to identify certain actors involved in waste pre-collection.

2.3. Data Collection Techniques

Data collection was conducted in two main stages : a pre-survey phase and the main survey phase.

2.3.1. Pre-survey Phase

The pre-survey phase involved contacting neighborhood chiefs to identify the boundaries of the study areas and gain a better understanding of the local organization of MSW management. Preliminary field observations were also conducted to assess waste disposal practices, the presence of illegal dumping sites, pre-collection facilities, and general sanitation conditions.

This phase made it possible to adapt the data collection instruments to the realities observed in the field.

2.3.2. Main Survey Phase

The main survey involved administering a questionnaire to the selected households. The questionnaire collected information on awareness of the pre-collection system, subscription status, waste disposal practices, subscription fees, reasons for non-subscription, and perceptions of the functioning of the service.

Additional information was collected from female vendors, cart drivers, and waste collectors to better understand collection practices and the constraints faced by different stakeholders.

Semi-structured interviews were also conducted with neighborhood chiefs and municipal officials involved in MSW management. These interviews focused on the institutional organization of the system, the responsibilities of the different stakeholders, pre-collection constraints, available equipment, collection points, waste transportation, and actions undertaken to improve sanitation conditions in the neighborhoods.

Finally, direct field observations were conducted to compare respondents' statements with practices actually observed in the study areas.

2.4. Data Collection Techniques and Instruments

Three main data collection techniques were used: documentary research, questionnaire surveys, and interviews, supplemented by direct observation.

Documentary research was used to review available documents on municipal solid waste management, pre-collection systems, and urban sanitation.

The questionnaire was the main instrument used to collect quantitative data from households and selected stakeholders involved in waste management.

An interview guide was used to collect qualitative information from municipal officials and neighborhood chiefs.

An observation checklist was used to record observable characteristics of the waste management system, including illegal dumping sites, waste deposited in drainage channels, waste disposal practices, and general sanitation conditions.

2.5. Data Processing and Analysis

Quantitative data collected through the questionnaires were checked, coded, and entered into a database. They were subsequently processed using Microsoft Excel and SPSS.

Descriptive analysis consisted of calculating frequencies, proportions, and percentages to characterize household practices and the functioning of the pre-collection system. The findings were presented using tables, graphs, and figures.

Where appropriate, relationships between categorical variables were examined using the Pearson chi-square (χ^2) test, with the significance level set at 5%. This test was used to assess potential associations between household subscription status and selected characteristics.

Qualitative data obtained from the interviews were subjected to thematic content analysis. The information was organized according to major themes related to system organization, pre-collection constraints, stakeholder roles, available equipment, and institutional challenges.

Finally, quantitative and qualitative findings were cross-checked through data triangulation in order to compare household-reported practices with information provided by institutional stakeholders and observations made in the field.

3- Résultats

3.1- Current Status of Solid Waste Management in the Tchikomey and Zongo Neighborhoods

Before signing up for trash collection, households need to know whether or not there is a pre-collection facility operating in their area. The figure below shows the surveyed households' awareness of pre-collection facilities.

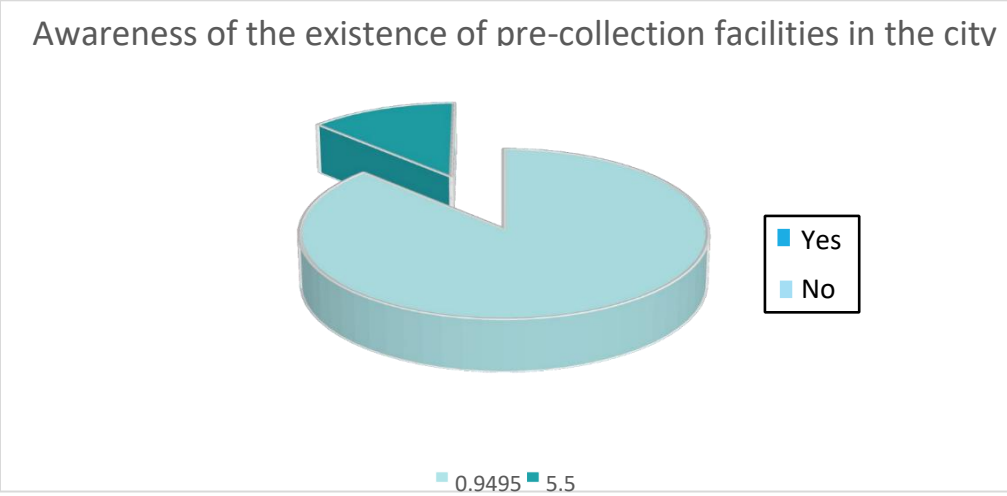


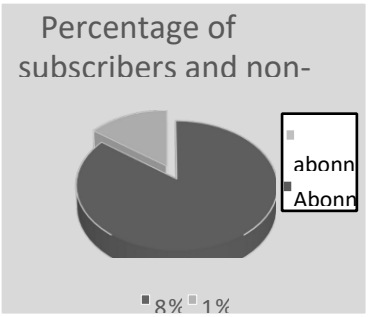
Figure 2 : Awareness of the Existence of Pre-Collection Agencies

Figure 2 shows that 94.95% of the households surveyed are unaware that a pre-collection agency operates in their neighborhood. In contrast, 5.05% report being aware of their existence.

- Household subscriptions in both neighborhoods

The percentages of households with and without subscriptions vary from one neighborhood to another, as shown in the figure below.

Zongo



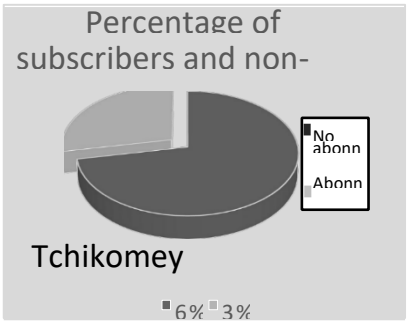


Figure 3 : Percentage of Households with and without Subscriptions in the Neighborhoods

An analysis of Figure 3 shows that subscribed households in Tchikomey account for 32 percent and unsubscribed households for 68 percent, while in Zongo, subscribed households account for 14 percent and unsubscribed households for 86 percent. There are therefore more non-subscribing households in Zongo than in Tchikomey. It can also be inferred from this figure that in both neighborhoods, more than half of the households surveyed lack a pre-collection service.

There are several reasons why certain households are not subscribed. These include : a deliberate choice not to subscribe, a sudden interruption in collection by waste collectors for no apparent reason, and termination of the contract by the households.

Figure 4 below shows the distribution of these reasons among non-subscribing households.

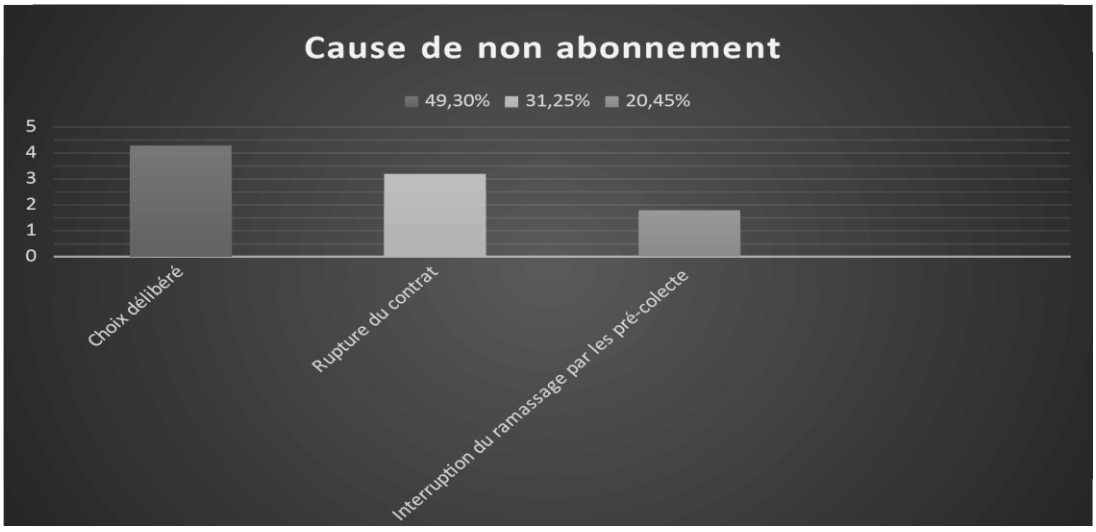


Figure 4 : Breakdown of reasons for non-subscription among non-subscribing households.

This figure shows that, of all the reasons for non-subscription identified, the deliberate choice not to subscribe is the most common (49.30%). It is clear that there is a need to raise awareness among households about the problem of poor solid waste management. However, other factors include households terminating their contracts due to dissatisfaction with the service (31.25%) and the sudden suspension of service by waste collectors for no apparent reason (20.45%), which forces the affected households to dispose of their own waste. This situation demonstrates how the failure of the pre-collection system is also a root cause of the persistent unsanitary conditions in both neighborhoods.

1.1. Waste Management Practices of Households Without a Waste Collection Subscription

Surveys have shown that households without a waste collection subscription manage their waste in several ways. The figure below illustrates these different waste management practices.

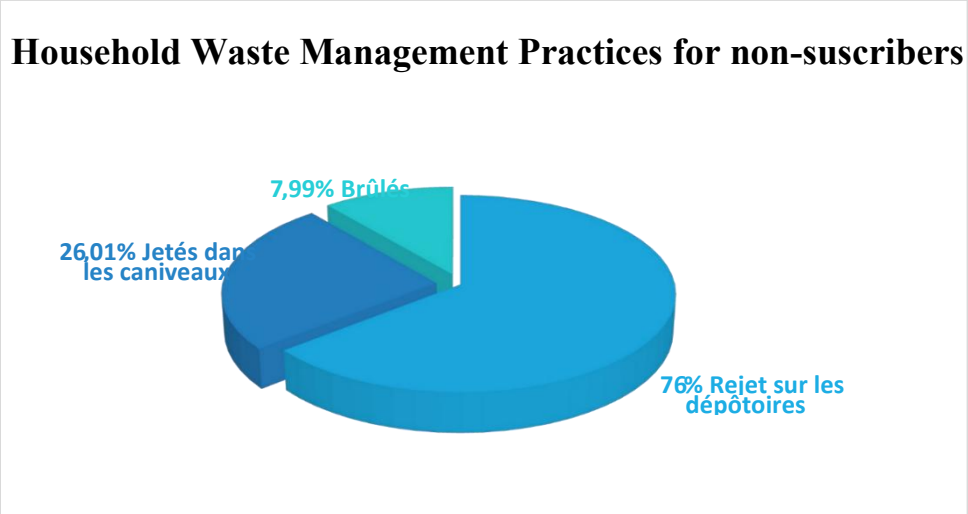


Figure 5 : Different Methods of Solid Waste Management Among Households Without a Subscription

It is evident here that most households without a subscription dispose of their waste (76% at illegal dumping sites and 16.01% in gutters). Photos 1 and 2 each show an example of an illegal dumping site in each neighborhood.

Photo 1 : Illegal dump in Tchikomey

Photo 2 : Illegal dump in Zongo

Source : Field survey, June 2026

- **Household subscription fees for waste pre-collection**

Subscription fees vary from household to household and are paid monthly by the households. The figure below shows the various fees paid and the proportions of households that pay them.

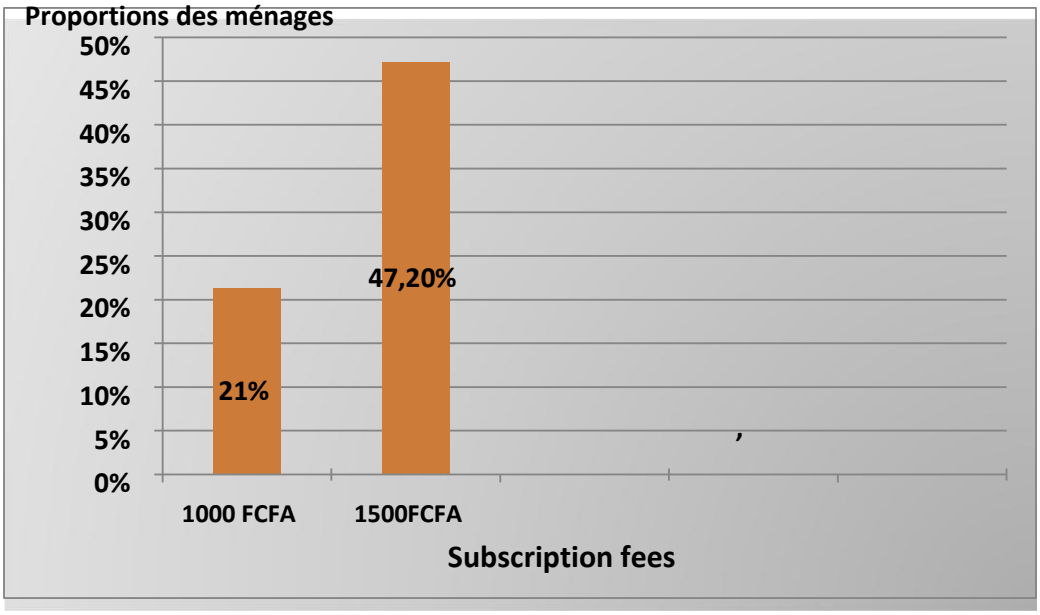


Figure 6 : Household Subscription Fees for Waste Collection

Based on the assessment, it can be concluded that the main factors contributing to the persistence of unsanitary conditions in the two neighborhoods of the city of Lokossa are: poor pre-collection service delivery due to a lack of adequate equipment and qualified staff, and the absence of a fixed collection point, which leads collection workers to dump waste indiscriminately.

2. Involvement of Stakeholders Responsible for Household Solid Waste Management in the Neighborhoods of Lokossa

The main stakeholders involved in solid waste management in the central district of Lokossa in general, and in the Tchikomey and Zongo neighborhoods in particular, are :

- Households
- The two neighborhood chiefs
- The district chiefs
- Pre-collection facility managers

Households are the primary producers of solid waste. However, more than half of households not enrolled in the waste collection service have deliberately chosen to dispose of their trash in the open, fully aware that this practice does not contribute to the sanitation of their living environment. They do not feel involved and are unaware of the extent to which they play a crucial role in improving the sanitation of their community.

Neighborhood leaders are the very first actors to take direct action after households and the general population in the fight against unsanitary conditions. However, none of them are truly concerned about the dirty state of the two neighborhoods. Instead, they criticize other actors, whose inaction fails to motivate them to combat the unsanitary conditions caused by a lack of civic responsibility, shifting the blame onto those actors.

The district chief plays a key role in the system. According to the terms of reference, his role is to work in partnership with the SAAF and neighborhood chiefs to establish permanent collection points and to promote community stewardship by organizing cleanup days. However, our investigations reveal that no such initiatives have been taken to date. The Technical Service (ST) is responsible for regularly updating the zoning plan, identifying potential locations for collection points throughout the city, and overseeing pre-collection. However, our investigations reveal that the zoning plan has not been updated for over two years, and no survey has been conducted to identify a potential collection point in this district. ST officials also state that, due to a lack of funding, the city's contract for transporting waste to the final disposal site has expired. However, they say they are still waiting for the government to launch the program to create collection points—a program that has not been launched for years. We can infer from this that the ST does not have control over the system because, in addition to failing to update the zoning plan, it has not carried out any work to identify suitable areas for the creation of collection points. Based on all these points, we therefore conclude that the involvement of the system's stakeholders is low.

4- Discussion

Our study aimed to analyze the occupational hazards faced by staff at Lokossa Hospital. We observed that these workers are exposed to various types of risks due to their professional activities.

Staff members are exposed to biological, physical, and psychological hazards in all workplaces.

Among these hazards, biological risks are the most serious and common. With regard to blood exposure incidents which represent the primary biological hazard a large proportion of the staff could be affected by such incidents.

Following the survey conducted in the hospital, we were able to answer our research question. Recognizing risks is an essential but insufficient condition for suggesting appropriate improvements to the hospital environment. The root-cause analysis phase is essential for any strategy to prevent and correct risks.

Based on the premise that ongoing review of care practices can have a beneficial impact on the early detection of occupational hazards in hospitals, our study argues that managing patient flow and identifying the hazards

associated with each activity in the care process play a key role in understanding sources of exposure, with the aim of reducing their frequency (for example: standardization of the patient's serological status, risk of tuberculosis transmission during patient admission and settlement.

Conclusion

Problems related to MSW management in the Tchaourou district appear to persist despite the system that has been put in place. The main objective of this study is therefore to contribute to the effective management of municipal solid waste in the Tchikomey and Zongo neighborhoods of the city of Lokossa.

The results of this study showed that the main causes of persistent unsanitary conditions in these two neighborhoods are poor pre-collection services due to a lack of equipment and personnel, low stakeholder involvement, the absence of fixed collection points, and the failure to transport waste to landfills. Furthermore, the same results indicate that waste reduction at the source and waste sorting are steps that must be integrated into the system to improve it. A household solid waste management system was therefore proposed at the conclusion of the study. We can thus conclude that all of our initial hypotheses have been validated.

Finally, the government must make waste management a national priority so that decentralized institutions treat it as a duty. Therefore, despite all the financial burdens involved in waste management, it is clear that an effective administrative and technical organization is essential. Municipal authorities must precisely redefine the roles and responsibilities of the various stakeholders in the waste management sector. This institutional framework must be based on a specialized technical service equipped with sufficient human resources and material resources. For example, the establishment of a laboratory capable of conducting analyses, characterizing solid waste, and maintaining statistical records as these data are essential parameters for any organized and methodical management of solid waste.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

AÏNA M. P., 2010. *Cours de gestion des déchets 4e année Génie de l'environnement*, EPAC, 197p.

ALASSANI Moubarack, 2007. *La gestion des ordures solides ménagères dans la ville d'Abomey-Calavi : Problèmes et perspectives,* mémoire de DSS en Population et Dynamiques Urbaines,UAC, 111p.

BLALOGOE Pierre, 2004. *Gestion des déchets solides ménagers à Cotonou : Problèmes et perspectives, Mémoires de* DESS, Cotonou, 71p.

DANSOU Bienvenu, 2014. *Effets sanitaires de la gestion des déchets dans la ville de Pobè au Bénin*, revue de géographie du laboratoire LEÏDI, FLASH/UAC, 111p.

GNINNOU Nadine, 2017. *Bilan coprologique chez les ouvriers de précollecte de déchets solides ménagers de l'arrondissement de Godomey,* mémoire de licence, GBH/EPAC/UAC, 35p.

INSAE, *Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin*, (RGPH4, 2013), février 2016, 31p.

KOSSOU-GENEREUX G., 2016. *Problématique de la valorisation des déchets solides ménagers biodégradables sur le site maraîcher de Houéyiho* : *Cas du compostage*, mémoire de licence, GEn/EPAC/UAC, 31p.

NYASSOGBO Ghislain, 2005. *Accumulation d'ordures ménagers et dégradation de l'environnement urbain, quelques pistes pour une viabilité environnementale dans le processus de développement africain*, rapport, département de Géographie, Université de Lomé, 51p.

Annuaire des statistiques sanitaires de la zone sanitaires de Tchaourou, (2009), 7p.

NOUNAGNON Armand 2015. *Gestion des déchets solides ménagers dans le 8è arrondissement de la municipalité : Forces et faiblesses pour une prise en charge efficace et durable du système, mémoire de licence*, GEn/EPAC/UAC, 67p

SOTAMENOU Judicaël, 2005. *Efficacité de la collecte des déchets ménagers et agriculture urbaine et préurbaine dans la ville de Yaoundé,* mémoire de DEA, Université de Yaoundé II, 94p.

TOPANOU Norbert, 2012. *Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey-Calavi (Bénin) : Caractérisation et essai de valorisation par compostage, mémoire de thèse en chimie des déchets*, Université d'Abomey-Calavi, 194p.

LIVING URBAN SURFACES: A PRELIMINARY STUDY ON CONCRETE COLONIZATION BY AUTOTROPHIC CRYPTOGAMIC ORGANISMS

Velichka Marinova & Blagoy Uzunov

Department of Botany, Faculty of Biology, Sofia University "St. Kliment Ohridski", 8 Dragan Tsankov Blvd., Sofia-1164, Bulgaria; Field of study: Botany (Algology)

e-mail: buzunov@uni-sofia.bg; ORCID ID:0000-0002-2285-8935

Abstract

Integrating living urban surfaces helps reintroduce natural elements into urban environments while providing an innovative, space-efficient solution adaptable to a wide range of architectural and infrastructural contexts. In this way, living urban surfaces can support the development of sustainable, environmentally friendly buildings. The distinctive physiological and biochemical properties of autotrophic cryptogamic organisms make them valuable components of strategies to improve air quality and mitigate the adverse effects of climate change. Owing to their exceptional capacity to absorb atmospheric pollutants – including nitrogen and sulphur oxides, fine particulate matter, and carbon dioxide – photosynthetic cryptogamic organisms can help reduce atmospheric greenhouse gases and support ecological processes essential to the sustainable development of urban areas. Accordingly, this study investigates the potential for colonising innovative concrete with photosynthetic cryptogamic organisms as an environmentally sustainable strategy for improving air quality, regulating the urban microclimate, and mitigating the adverse effects of urbanisation. Living algal cultures representing different evolutionary lineages, obtained from the Algal Collection of Sofia University (ACUS), together with cultivated mosses, were used for the initial colonisation of specially designed innovative concrete. Early-stage monitoring of the inoculated concrete focused on surface moisture dynamics, the stability of the applied carriers, and the biological response under outdoor conditions.

Keywords: algae, algal collection, cultivation, green façades, mosses

PHYSICAL AND MECHANICAL PERFORMANCE OF SUSTAINABLE GEOPOLYMER MORTAR PRODUCED FROM GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG

Adel BOUALI[1], Zineb ABEOUB[2]

[1]Laboratory of Biomaterials and Transport Phenomena (LBMPT), University of Medea, Medea, Algeria

[2] Houari Boumediene University of Science and Technology, BP 32 El-Alia, 16111 Bab-Ezzouar, Algiers, Algeria

Email: zinebabeoub@gmail.com, Adelboualigm@gmail.com

ABSTRACT

This study explores the potential of Algerian ground-granulated blast furnace slag (GGBFS) as the primary binder for the development of an environmentally sustainable geopolymer mortar. Despite the abundance of aluminosilicate-rich industrial materials in Algeria, research on locally sourced geopolymer systems remains relatively limited. In this work, several mortar formulations were prepared using GGBFS activated with sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3), while varying the sand-to-GGBFS ratio to investigate their fresh-state and hardened properties. The fresh-state results demonstrated that both workability and setting time were strongly affected by the sand/GGBFS ratio. Lower sand contents resulted in reduced flowability and longer setting times, whereas a sand/GGBFS ratio of 3.0 provided improved workability and accelerated setting. An increase in the SiO_2/Na_2O ratio of the alkaline activator generally enhanced compressive strength, although it also increased the tendency toward efflorescence. Mechanical testing conducted at 3, 7, 28, and 90 days revealed a continuous increase in compressive strength with curing age. The optimum formulation, characterized by a SiO_2/Na_2O ratio of approximately 1.23 and a sand/GGBFS ratio of 3.0, achieved a compressive strength of approximately 94 MPa at 90 days, demonstrating performance comparable to, and in some cases exceeding, that of conventional cement mortars.

Microstructural characterization using ATR-FTIR, XRD, and SEM-EDS confirmed the formation of calcium–silicate–hydrate (C–S–H) and N(C)–A–S–H-type reaction products, together with traces of calcium carbonate associated with slag reactions. The formation of these reaction products provides further evidence for the dense and well-developed microstructure responsible for the high mechanical performance of the mortar. From an economic perspective, the incorporation of GGBFS, an industrial by-product, offers a significant reduction in production costs. The developed geopolymer mortar was estimated to be approximately 27–28% less expensive

than an equivalent Portland cement mortar, while simultaneously offering environmental benefits through the valorization of industrial waste and reduced reliance on conventional cement.

Overall, the results demonstrate that Algerian GGBFS is a promising precursor for producing high-performance and cost-effective geopolymer mortar, with significant potential for sustainable construction applications.

Keywords: GGBFS; geopolymer mortar; workability; setting time; compressive strength; microstructure; high-performance materials; sustainable construction.

PV INSTALLATION MODELING AND MONITORING WITH BOND GRAPH

Samia LATRECHE*[1] and Mabrouk KHEMLICHE[2]

[1]Automatic Laboratory of Sétif-LAS, Automatic and Intelligent Systems Department, University of Ferhat Abbas Setif 1, Setif, Algeria;ksamia2002@yahoo.fr , samia.khamliche@univ-setif.dz

[2]Automatic Laboratory of Sétif-LAS, Automatic and Intelligent Systems Department, University of Ferhat Abbas Setif 1, Setif, Algeria ; mabroukkhemliche@univ-setif.dz

Abstract

This paper presents a bond graph modeling and monitoring by sensors placement in a PV installation. A bond graph is a labeled and directed graphical representation of a physical system. The basis of bond graph modeling is power/energy flow within the system, allowing for inherited integration across multiple physical domains. Several aspects of the PV system are taken into account, such as the interconnection among the PV modules, faults in bypass diodes and partial shading conditions. The validation of the model and the simulation are realized under SYMBOLS software.

Introduction

The growing demand for energy combined with environmental awareness has led to the installation of several renewable energies-based plants around the world in the past few decades [1]. Among these, photovoltaic (PV) energy rates as one of the most promising and mature renewable energy technologies currently available [2]. Its study depends on accurate modeling, which has received an important attention from the scientific community [3].

This paper is organized as follows. Section II will generally introduce PV systems and their characteristics. Section III will introduce bond-graph models for PV systems. Section IV will discuss the problem of optimal sensor placement [4]. Sections V and VI will validate the method through simulations. Final section will discuss the results.

Description of PV Installation

This section introduces PV systems and their components. Photovoltaic panels are more still widespread source of electricity. For the purposes of computer simulations, it is useful to have an accurate model. PV cells are the building block of PV plants. They are connected in series to compose PV modules, which are in turn connected in series to create PV arrays. These arrays correspond to the plant desired voltage output level. The interconnections among PV modules are an important issue in the installation of PV plants. Figure 3 shows two classic interconnection topologies, the series-parallel (SP) in figure (1a) and the Totally Cross-Tied (TCT) in figure (1.b).

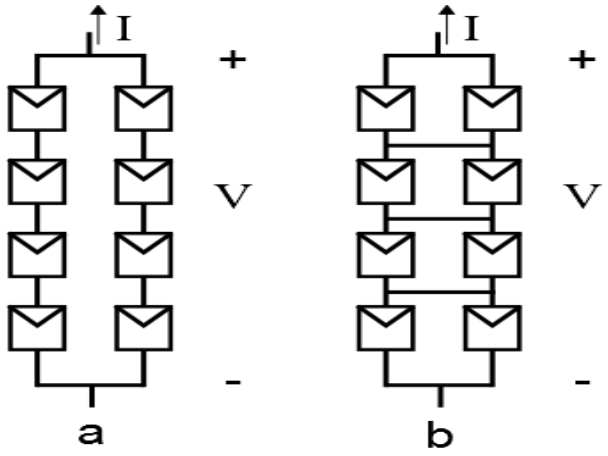


Figure 1 Description of PV installation.

Monitoring with sensors placement on BG model

This section focuses on optimal sensor location for photovoltaic monitoring, where the goal is to find an optimal configuration of sensors that will be predict structural fault. The sensor location problem for FDI developed in this paper can be summarized as finding a minimal set of sensors to be installed in the system such that faults can be detected and isolated

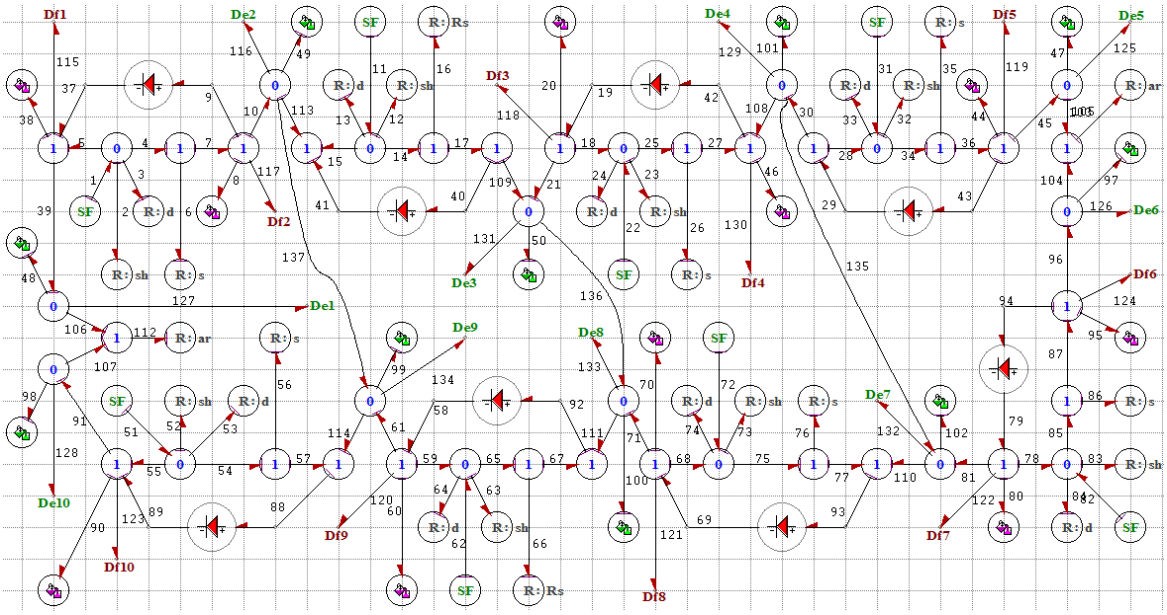


Figure 2 Bond graph model of PV installation TCT with sensors placement.

SIMULATION RESULTS

The simulation PV module is based on the PW1650 module, which will also be used during the experiments. Each PV module gives access to 4 sub-modules, which can be connected in either series or parallel. The topologies used are based on those in figure 1.

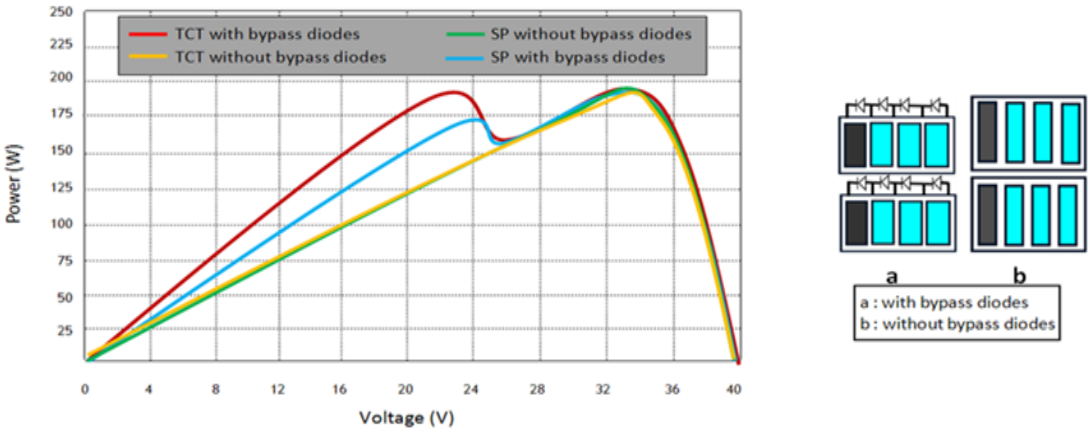


Figure 3 PV installation with shading

Conclusion

This paper developed a new and efficient algorithm for fault detectability and isolability analysis method has been proposed based on bond graph. Additionally, a quantitative fault monitoring for photovoltaic systems is developed based on the model bond graph. Several profiles of shading have been performed on the test module using two different systems configurations, SP and TCT (Figure 3). The shading effect was artificially generated by covering parts of the module with plastic film which reduces the incoming solar by approximately (40%).

References

Tseng S.Y. and Tsai C.T., (2012) Photovoltaic Power System with an Interleaving Boost Converter for Battery Charger Applications, International Journal of Photo-energy, Article ID 936843, 15 pages, doi:10.1155/2012/936843.

[2] Subiyanto A. M., and Hannan M. A., (2013) Intelligent Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Controller for Energy Enhancement in Renewable Energy System, Journal of Renewable Energy, Article ID 901962, 9 pages http://dx.doi.org/10.1155/2013/901962

Hasan M., Mekhilef S., and Metselaar I. H., (2013) Photovoltaic System Modeling with Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking Algorithm, International Journal of Photoenergy, Article ID 762946, 10 pages, http://dx.doi.org/10.1155/2013/762946.

S. Latreche, A. E. Badoud, and M. Khemliche, "Implementation of MPPT Algorithm and Supervision of Shading on Photovoltaic Module,"Engineering, Technology & Applied Science Research, vol. 8, no. 6, pp. 3541–3544, Dec. 2018, https://doi.org/10.48084/etasr.2354.

EMERGENCY CESAREAN SECTION AND CONCOMITANT MYOMECTOMY IN A PRIMIPAROUS WOMAN WITH MULTIPLE UTERINE LEIOMYOMAS AND DYSFUNCTIONAL LABOR: A CASE REPORT

Meral Rexhepi[1], Majlinda Azemi[1], Aleksandra Zakoska[1], Eldiar Zulbeari[1], Sani Bajrami[2]

Clinical Hospital Tetovo

1. **Department of Obstetrics and Gynecology**
2. **Department of Neonatology**

Faculty of Medical Sciences, University of Tetova

Corresponding author: Email dr.meralrexhepi@gmail.com

ID https://orcid.org/0000-0002-6923-0387

Abstract

Background

Uterine leiomyomas are common benign tumors that may complicate pregnancy and labor. Their clinical impact depends on their number, size, and location. Large and multiple leiomyomas may be associated with dysfunctional labor and an increased risk of cesarean delivery. Myomectomy during cesarean section remains controversial because of the potential risk of hemorrhage.

Case Presentation

A 29-year-old primiparous woman at 39 weeks and 4 days of gestation was admitted in labor. Four subserosal uterine leiomyomas were present, including a large fundal fibroid measuring 90 × 76 mm; the remaining three measured approximately 20–40 mm. During labor, secondary uterine inertia developed with failure of normal labor progression, and an emergency cesarean section was performed. A lower-segment transverse uterine incision was used, and a live male infant weighing 3230 g was delivered with Apgar scores of 7 and 9 at one and five minutes, respectively. All four fibroids were removed during the same operation. The total operative duration was 60 minutes. Histopathology confirmed uterine leiomyoma. The preoperative hemoglobin was 6.71 g/dL and decreased to 5.59 g/dL postoperatively. The patient received two units of erythrocyte suspension and one unit of plasma, after which hemoglobin increased to 7.82 g/dL. Intraoperative blood loss was clinically estimated at approximately 200 ml. The postoperative course was uncomplicated, and the patient was discharged after five days.

Conclusions

Multiple uterine leiomyomas may be associated with dysfunctional labor and failure of labor progression. In carefully selected patients, particularly those with accessible subserosal fibroids, concomitant myomectomy during cesarean delivery can be successfully performed. Appropriate surgical planning and availability of blood products are essential.

Keywords: uterine leiomyoma; uterine fibroids; pregnancy; dysfunctional labor; cesarean section; cesarean myomectomy.

Introduction

Uterine leiomyomas, commonly referred to as uterine fibroids or myomas, are benign tumors arising from the smooth muscle of the myometrium. They are frequently diagnosed in women of reproductive age, and their presence during pregnancy may influence both maternal and fetal outcomes.

The clinical significance of leiomyomas during pregnancy depends on their number, size, and anatomical location. Although many women with fibroids experience an uncomplicated pregnancy, leiomyomas have been associated with increased risks of malpresentation, preterm delivery, cesarean delivery, placental abnormalities, and postpartum hemorrhage. A systematic review by Klatsky et al. demonstrated an association between fibroids and several adverse reproductive outcomes, including an increased risk of cesarean delivery [1].

More recent evidence supports these observations. A 2024 meta-analysis involving 24 studies and more than 237,000 pregnancies demonstrated increased risks of cesarean delivery, postpartum hemorrhage, placental abruption, placenta previa, and breech presentation among women with uterine fibroids [2]. The size and location of fibroids appear to be particularly important determinants of obstetric outcome.

Fibroids may interfere with labor through several mechanisms. Lesions located in the lower uterine segment or cervix may directly interfere with fetal descent, while large or multiple fibroids may alter uterine anatomy and interfere with coordinated myometrial contractions. Consequently, dysfunctional labor and failure of labor progression may occur.

The management of fibroids encountered during cesarean delivery remains controversial. Historically, myomectomy during cesarean section was generally avoided because pregnancy is associated with increased uterine vascularity and a theoretical risk of severe hemorrhage. However, increasing clinical experience has demonstrated that cesarean myomectomy can be performed in selected patients, particularly when fibroids are subserous, pedunculated, accessible, or otherwise clinically indicated [3-6].

A systematic review and meta-analysis by Goyal et al. described an increasing shift toward performing cesarean myomectomy in appropriately selected patients [3]. Nevertheless, the evidence remains predominantly observational. The most recent Cochrane review concluded that the certainty of evidence regarding hemorrhage, blood transfusion, operative time, and other outcomes remains very low [5].

We present the case of a primiparous 29-year-old woman at term pregnancy with four subserous uterine leiomyomas, including a large 90 × 76 mm fundal fibroid, who developed secondary uterine inertia and failure

of labor progression requiring emergency cesarean delivery. All four fibroids were removed during the same surgical procedure.

Case Presentation

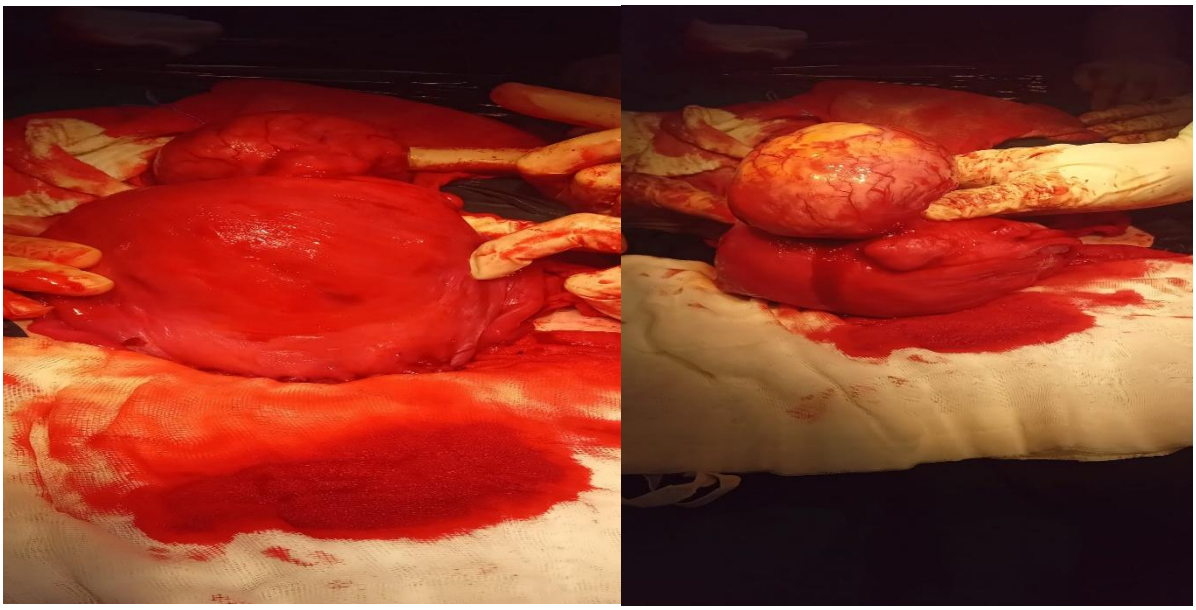
A 29-year-old primiparous woman (G1P0) at 39 weeks and 4 days of gestation was admitted to the Department of Gynecology and Obstetrics in spontaneous labor.

The pregnancy was complicated by the presence of multiple uterine leiomyomas. Four fibroids were identified. The largest was located in the fundal region and measured 90 × 76 mm. The remaining three fibroids measured approximately 20–40 mm. All four lesions were classified as subserous leiomyomas.

The patient entered spontaneous labor at term. During the course of labor, normal progression was not achieved. She developed secondary uterine inertia (*inertio uteri secundaria*), with inadequate uterine activity and failure of normal progression of labor. Considering the dysfunctional course of labor in the presence of multiple uterine leiomyomas, an emergency cesarean section was performed.

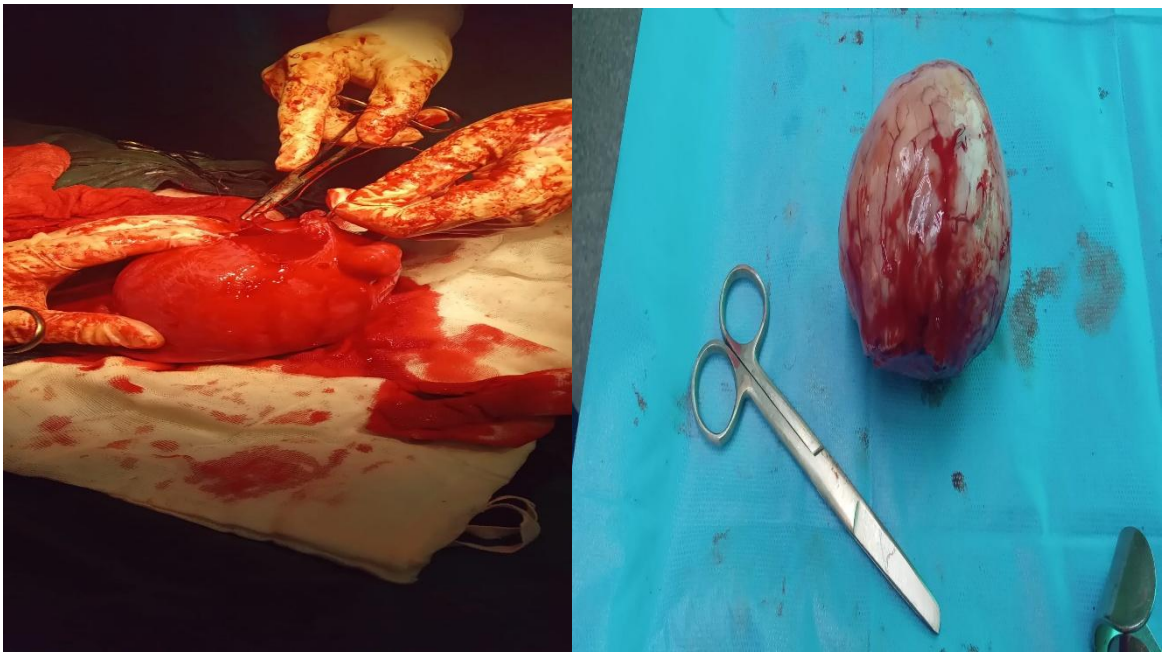
Operative Findings and Delivery

A lower-segment transverse uterine incision was performed. A live male infant weighing 3230 g was delivered. The Apgar scores were 7 at one minute and 9 at five minutes. After delivery of the infant, the uterus was examined and the four subserosal leiomyomas were removed during the same operative procedure. The largest fibroid was located in the fundal region and measured 90 × 76 mm, while the remaining three measured approximately 20–40 mm [Fig 1,2].



Figures 1 and 2. Fundal subserous giant myoma

All four fibroids were successfully excised, and the uterus was preserved [Fig.3]. The total operative duration was 60 minutes. The intraoperative blood loss was clinically estimated at approximately 200 mL.



Figures 3 and 4. Suturing of uterus after fibroid removal and macroscopic view of fibroid

Histopathological Findings

All excised specimens [Fig.4] were submitted for histopathological examination. Histopathological analysis confirmed uterine leiomyoma (myoma uteri). No malignant features were reported.

Hematological Status and Transfusion

The patient's hemoglobin concentration before surgery was 6.71 mmol/l. Following cesarean delivery and myomectomy, the hemoglobin concentration was 5.59 mmol/l.

The patient received 2 units of erythrocyte suspension and 1 unit of plasma. After transfusion, the hemoglobin concentration increased to 7.82 mmol/l. Because the patient was already markedly anemic before surgery, the postoperative reduction in hemoglobin cannot be attributed exclusively to operative blood loss without a documented quantitative estimate of blood loss.

Postoperative Course

The postoperative course was uncomplicated. The patient recovered well following emergency cesarean delivery and concomitant myomectomy. No major postoperative complication was reported. The patient was discharged on the fifth postoperative day in good clinical condition. The newborn was healthy following delivery.

Discussion

This case illustrates the management of pregnancy complicated by multiple uterine leiomyomas and dysfunctional labor, followed by successful concomitant myomectomy during emergency cesarean delivery.

Uterine fibroids are associated with several adverse pregnancy outcomes. Their impact depends on their size, number, and location. In particular, larger fibroids may have a greater effect on the uterine architecture and may increase the likelihood of cesarean delivery [1,2].

In the present case, the patient had four subserous fibroids, including a large fundal leiomyoma measuring 90 × 76 mm. During labor, she developed secondary uterine inertia with failure of normal labor progression, resulting in an emergency cesarean section. It is important to distinguish dysfunctional labor associated with multiple leiomyomas from direct mechanical obstruction of the birth canal. The largest fibroid in this patient was located in the fundal region and therefore should not automatically be described as directly obstructing the pelvic outlet. The more appropriate interpretation is that the multiple leiomyomas were associated with altered uterine function and secondary uterine inertia, contributing to failure of labor progression.

Fibroids may interfere with normal labor through several mechanisms. Large or multiple lesions can modify uterine architecture and myometrial contractility, while fibroids located in particular anatomical regions can interfere with fetal position and descent. The association between fibroids and cesarean delivery has been demonstrated in multiple observational studies and meta-analyses [1,2,7-10].

An important feature of this case is that all four fibroids were removed during the cesarean section. Cesarean myomectomy has historically been considered controversial because of concerns regarding hemorrhage. The pregnant uterus has an increased blood supply, and removal of a vascular myoma may potentially result in significant blood loss.

However, several studies have reported successful cesarean myomectomy in appropriately selected patients. Song et al. reported that cesarean myomectomy may be feasible in selected women, although they emphasized the limitations of the available evidence [4]. Wang et al. reported that cesarean myomectomy could be performed without significant increases in several postoperative complications in appropriately selected patients [6].

More recently, Goyal et al. performed a systematic review and meta-analysis evaluating cesarean myomectomy and described a shift in clinical practice from considering the procedure an absolute contraindication toward individualized decision-making [3].

The most recent Cochrane review is particularly relevant to the present case. Dey et al. analyzed 23 non-randomized studies involving 7,504 women and found that the available evidence was of very low certainty concerning important outcomes such as blood transfusion, hemorrhage, operative time, and hospital stay [5]. Therefore, cesarean myomectomy should not be considered universally appropriate but rather a procedure that requires careful patient selection.

In the present case, the fibroids were subserous, which was an important factor in their surgical accessibility. The largest fibroid measured 90 × 76 mm and was located in the fundal region. All four fibroids were removed successfully during the same operative procedure, and the total operative duration was 60 minutes.

The patient's hematological status requires particular consideration. Her preoperative hemoglobin was 6.71 mmol/l, representing severe anemia before surgery. Following cesarean delivery and myomectomy, hemoglobin decreased to 5.59 mmol/l. She received two units of erythrocyte suspension and one unit of plasma, resulting in a post-transfusion hemoglobin of 7.82 mmol/l. This distinction is particularly important when discussing the safety of cesarean myomectomy. The transfusion requirement in this patient should be interpreted in the context

of her significant preoperative anemia rather than being automatically attributed to hemorrhage caused by myomectomy. Despite these challenges, the surgical procedure was completed within 60 minutes, the uterus was preserved, histopathology confirmed benign leiomyoma, and no major postoperative complication occurred. The patient was discharged after five days.

The case therefore illustrates that concomitant cesarean myomectomy may be a reasonable option in selected patients with accessible subserous fibroids [11]. The decision should consider the number and size of fibroids, their anatomical location, accessibility, the surgeon's experience [12], the patient's hemodynamic and hematological condition, and the availability of blood products [13].

From a reproductive perspective, preservation of the uterus is particularly relevant in a 29-year-old primiparous woman. Performing the myomectomy during the cesarean procedure avoided the need for a subsequent abdominal operation for removal of the known fibroids.

Nevertheless, this case cannot establish the general safety or superiority of cesarean myomectomy. Current evidence remains insufficient to provide strong recommendations regarding routine myomectomy during cesarean delivery [5].

Conclusion

Multiple uterine leiomyomas may complicate pregnancy and labor and may contribute to dysfunctional labor and failure of labor progression.

We report a case of a 32-year-old primiparous woman at 39 weeks and 4 days of gestation with four subserous uterine leiomyomas, including a large 90 × 76 mm fundal fibroid, who developed secondary uterine inertia and required emergency cesarean delivery. A healthy male infant weighing 3230 g was delivered with Apgar scores of 7 and 9. All four fibroids were removed during the same surgical procedure, which lasted 60 minutes, and histopathology confirmed uterine leiomyoma.

Despite severe preoperative anemia with a hemoglobin concentration of 6.71 g/dL, the patient was successfully managed with two units of erythrocyte suspension and one unit of plasma, achieving a post-transfusion hemoglobin of 7.82 g/dL. The uterus was preserved, the postoperative course was uncomplicated, and the patient was discharged after five days.

This case supports the possibility of performing concomitant cesarean myomectomy in carefully selected patients with multiple accessible subserous leiomyomas. Adequate surgical expertise, careful assessment of the patient's hematological status, and availability of blood products are essential.

Learning Points

1. Multiple uterine leiomyomas may be associated with dysfunctional labor and secondary uterine inertia.
2. Large fibroids, particularly when combined with multiple additional lesions, may increase the likelihood of cesarean delivery.
3. Subserous fibroids may be technically accessible for removal during cesarean delivery.
4. Cesarean myomectomy should be individualized rather than considered a routine procedure.
5. Preoperative anemia should be recognized as an independent clinical factor when interpreting perioperative hemoglobin changes.
6. Blood products should be readily available when cesarean myomectomy is considered.
7. Uterine preservation may avoid a subsequent surgical procedure in young women who may desire future fertility.

Patient Consent

Written informed consent for publication of this case report and any accompanying clinical images was obtained from the patient before submission.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding

No specific funding was received for this case report.

Authors' Contributions

All authors contributed to the clinical management of the patient, interpretation of the clinical findings, preparation and critical revision of the manuscript, and approval of the final version.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the medical, nursing, midwifery, anesthesia, and operating-room teams involved in the care of the patient.

References

1. Kwon, J. Y., Byun, J. H., Shin, I., Hong, S., Kim, R., & Park, I. Y. Risk factors for intraoperative hemorrhage during cesarean myomectomy. *Taiwanese journal of obstetrics & gynecology*, 2021;*60*(1), 41–44. https://doi.org/10.1016/j.tjog.2020.11.007
2. Li H, Hu Z, Fan Y, Hao Y. The influence of uterine fibroids on adverse outcomes in pregnant women: a meta-analysis. BMC Pregnancy Childbirth. 2024;24:345. doi:10.1186/s12884-024-06545-5.
3. Goyal M, Dawood AS, Elbohoty SB, Abbas MA, Singh P, Melana N, et al. Cesarean myomectomy in the last ten years; a true shift from contraindication to indication: a systematic review and meta-analysis. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2021;256:145-157.
4. Song D, Zhang W, Chames MC, Guo J. Myomectomy during cesarean delivery. Int J Gynaecol Obstet**.** 2013;121(3):208-213.
5. Dey T, Cole MG, Brown D, Hill RA, Chaplin M, Huffstetler HE, et al. Caesarean myomectomy in pregnant women with uterine fibroids. Cochrane Database Syst Rev. 2025;1.
6. Wang, J., Shu, C., & Dong, Y. One case report of low-segment giant uterine fibroids removed combined with cesarean section for delivery. *Medicine*, 2025;*104*(35), e43874. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000043874
7. Galatis, D., Kiriakopoulos, N., Benekos, C., Komiotis, I., Bitzi, G., Micha, G., Kalopita, K., Gripiotis, I., Strongylos, A., Templalexis, P., Flessas, I., & Monastiriotis, A.Intraoperative Myomectomy during Caesarean Section. *Acta medica academica*, 2021;*50*(3), 382–386. https://doi.org/10.5644/ama2006-124.357
8. Stout MJ, Odibo AO, Graseck AS, Macones GA, Crane JP, Cahill AG. Leiomyomas at routine second-trimester ultrasound examination and adverse obstetric outcomes. Obstet Gynecol**.** 2010;116(5):1056-1063.
9. Ghaemmaghami, F., Karimi-Zarchi, M., Gharebaghian, M., & Kermani, T. Successful Myomectomy during Cesarean Section: Case Report & Literature Review. *International journal of biomedical science : IJBS*, 2017;*13*(2), 119–121.
10. Milazzo GN, Catalano A, Badia V, Mallozzi M, Caserta D. Myoma and myomectomy: poor evidence concern in pregnancy. J Obstet Gynaecol Res. 2019;45(9):1784-1791.

11. Marlina, D., Utomo, A., Susilo, A. F. P., Aditiyono, A., Adriansyah, P. N. A., & Aziz, M. A. An Unusual and Successful Pregnancy With Multiple Large Uterine Fibroids Delivered by Cesarean Myomectomy. *Journal of medical cases*, 2025;*16*(3), 95–101. https://doi.org/10.14740/jmc5073
12. Cassardo, O., Perugino, G., Nesa, F., Ossola, M. W., Ferrazzi, E., & D Ambrosi, F. Giant leiomyoma management during elective cesarean section: a case report. *The Pan African medical journal*, 2023;*45*, 73. https://doi.org/10.11604/pamj.2023.45.73.39357
13. Garg, P., & Bansal, R. Cesarean myomectomy: a case report and review of the literature. *Journal of medical case reports*, 2021;*15*(1), 193. https://doi.org/10.1186/s13256-021-02785-7