WOSCON
DÜNYA BİLİM KONGRELERİ

6. ULUSLARARASI KOLEZYUM BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ

KONGRE KİTABI

03-04 EKİM 2026

İTALYA

BİLSEL YAYINCILIK

https://www.wosconkongreleri.com

6. INTERNATIONAL COLOSSEUM SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS BOOK 03-04 October, ITALY

EDITORS
Dr. Bahar ALTUNOK
Dr. Alan Reed LIBERT

12.10.2026

by BILSEL PUBLISHING

ISBN: '978-625-8531-72-5'

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

6. INTERNATIONAL COLOSSEUM

SCIENTIFIC RESEARCHES AND

INNOVATION CONGRESS,

DATE and PLACE

03-04 October 2026, ITALY

ORGANIZATION

Bilgiseli Uluslararası Bilimsel
Araştırmalar Strateji Geliştirme
Kongre ve Org.Hizm.Tic.Ltd.Şti

ORGANIZING COMMITTEE

CHAİRMAN OF THE ORGANİZİNG COMMİTTEE

Dr. Bahar ALTUNOK

UNİVERSİTY ACADEMİCİAN REPRESENTATİVE

Doç. Dr. Erdem AYYILDIZ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

PARTICIPANTS COUNTRY

Indonesia /Azerbaijan/ Australia /Romania/Pakistan/Nigeria

CONGRESS ORGANIZING COMMITTEE MEMBERS

Prof. Dr. Özgür ALPARSLAN

Prof. Dr. Abdelkarim BOUA

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ

Prof. Dr. Asaf Tolga ÜLGEN

Prof. ADJLANE Sabah

Prof. Dr. Nana Jincharadze

Prof. Dr. Marinescu Valentina

Prof. Dr. Froilan D. Mobo

Doç. Dr. Ebülfez EZİMLİ

Doç. Dr. Kadir GÖKOĞLAN

Associate professor, PhD. Irina Teodora MANOLESCU

Associate professor, Dr. Naseem Akhter

Assoc. Prof. Dr. Henry Akpojubaro Efegbere

Doç. Dr. Gülay KARAHAN

Prof. Assoc.Dr. Valbona Habili Sauku

Doç. Dr. Irmak KARADUMAN ER

Assoc. Prof. Dr. Seyed Mehdi Talebi

Doç. Dr. Afina BARMANBAY

Dr. Mustafa ÖZGERİŞ

Dr. Zarifa Nazirli

Dr. Mustafa KAVGACI

Dr. Doruk AYBERKİN

Dr. Beloufa NABIL

Dr. Mansoor Ahmed

Dr. Drita AVDYLI

Dr. Ramona Marinache

Dr. Mohammed BENTAHAR

Dr. Mirjeta Cenaj

Dr. Vıncent Abıodun Mıcheal

Dr. Israr Ali Khan

Dr. Gopalakrishnan Chinnasamy

SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr. Gürcan YILDIRIM
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Prof. Dr. Özgür ALPARSLAN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Prof. Dr. Froilan D. Mobo
Philippine Merchant Marine Academy
Prof. Habil. Dr. Laura Diaconu Maxim,
Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania
Prof.Dr.Perihan ÜNÜVAR
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Khiari Reguia,
Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA) Omar El BERNAOUI, Algeria
Doç. Dr. Gülay KARAHAN
Çankırı Karatekin Üniversitesi
Doç.Dr.Şahin ÇETİNKAYA
Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Ali Özhan AKYÜZ
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Doç. Dr. Selma AKÇAY
Çankırı Karatekin Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan Gökhan GÜNDOĞDU
Anadolu Üniversitesi
Associate professor, PhD. Irina Teodora MANOLESCU
Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania
Associate professor, Dr. Naseem Akhter
Shaheed Benazir Bhutto Women University, Pakistan
Assoc. Prof.Dr. Mohammad Jafar Chamankar,
Urmia University, Iran
Associate Professor GHIZLANE BOUAZZA
Ministry of Health
Doç.Dr. Hasan Basri Karayel
Kütahya Dumlupınar üniversitesi
Assoc. Prof. Dr. Girija Shankar Panigrahi
KIIT Deemed to be University,India
Assoc. Prof. Dr. Vakeel Ahmad Khan
Aligarh Muslim University, India
Doc. Dr. Sci. Džana Rahimić Ramić
University of Sarajevo,Bosna-Hersek
Dr. Cevriye ÖZDEMİR
Kayseri Üniversitesi
Dr. İpek ÇİMRİN
Çukurova Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi ZİLA ÖZLEM KIRBAŞ
Bayburt Üniversitesi
Dr. Fulya KAHRIMAN
Kocaeli Üniversitesi
Dr. Bilge ÖZCAN
Uşak Üniversitesi

Dr. Eylem BEKTAŞ BİLGİÇ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Dr. Fadime SEYREKOĞLU
Amasya Üniversitesi
Dr. Solomon Uchechukwu Eze
Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria
Dr. Anıtha Rajasekaran
Botany,Bharathı Womens College , Indıa
Assistant professor Džana Rahimić Ramić
University of Sarajevo Bosnia and Herzegovina
Ph.D Devi Raman,
Dr. Beloufa NABIL
Hydrometeorological Institute for Training and Research IHFR Oran Algeria
Dr. Mansoor Ahmed
Government College University,Pakistan
Dr. Ramona Marinache
University of Bucharest,Romania
Dr. Iosefina Blazsani-Batto
Teacher's Training Center Sibiu under Romanian Ministry of Education Romania
Dr. Mirjeta Cenaj
Sports University of Tirana, Albania
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

6. INTERNATIONAL COLOSSEUM SCIENTIFIC RESEARCHES AND INNOVATION CONGRESS, 03-04 October/ 2026, ITALY

CONGRESS PROGRAM

Join Zoom Meeting ID: 820 7958 1509

Passcode: 985244

Join Zoom Meeting

https://us06web.zoom.us/j/82079581509?pwd=y91bFRSJ3mFIncXwBLLB59pPDLJPBC.1

PARTICIPATING COUNTRIES

Indonesia /Azerbaijan/ Australia /Romania/Pakistan/Nigeria

Before you login to Zoom indicate hall number and your surname!
Zoom'a girişte sırayla salon numarasını ve ad soyadınızı yazınız!

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.

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. İbrahim İBİLOĞLU

SESSION-1 HALL-1

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Doç. Dr., Nurhan AKARAS	*Aksaray Üniversitesi*	*KOLİSTİN KAYNAKLI DENEYSEL BÖBREK HASAR MODELİNDE İNCELENEN BAZI İMMÜNOHİSTOKİMYASAL PARAMETRELER*
Doç. Dr., Nurhan AKARAS	*Aksaray Üniversitesi*	*BORTEZOMİB KAYNAKLI SİYATİK SİNİR HASARINA İMMÜNOHİSTOKİMYASAL YAKLAŞIM*
Uzm.Dr. Halil İbrahim TANRISEVEN	*Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mengücek Gazi Eğitim Araştırma Hastanesi*	*KORONER EKTAZİ VE NADİR GÖRÜLEN SİRKUMFLEKS - SÜPERİOR VENA KAVA FİSTÜLÜ İLE KOMPLİKE ANTERİOR STEMI VAKASI: ÇOKLU GÖRÜNTÜLEME VE AŞAMALI STENTLEMENİN ROLÜ*
Prof. Dr. Hüsnü Değirmenci Doç. Dr. Muharrem Said Coşgun Uzm. Dr. Halil İbrahim Tanrıseven	*Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mengücek Gazi Eğitim Araştırma Hastanesi*	*VASKÜLER KAPAMA CİHAZINA İKİNCİL GELİŞEN ANA FEMORAL ARTER OKLÜZYONUNUN ENDOVASKÜLER YÖNETİMİ*
Lubeyda Solmaz Erdoğan Rasim Moğulkoç Abdülkerim Kasım Baltacı	*Selçuk Üniversitesi*	*LUTEOLİN UYGULAMASININ BEYİN İSKEMİ-REPERFÜZYON HASARINDA NÖROLOJİK FONKSİYONLAR ÜZERİNE ETKİSİ*
Assoc. Prof. Dr. İbrahim İBİLOĞLU	*Dicle University, Diyarbakir*	*RARE EXTRANEURAL CUTANEOUS AND SCALP METASTASIS OF PRIMARY IDH-WILDTYPE GLIOBLASTOMA HARBORING A PTEN EXON 5 MUTATION: A CASE REPORT*
Assoc. Prof. Dr. İbrahim İBİLOĞLU	*Dicle University, Diyarbakir*	*DISTRIBUTION OF METASTATIC BRAIN TUMORS IN DIYARBAKIR REGION: A 13-YEAR RETROSPECTIVE STUDY*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD

SESSION-1 HALL-2

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Arş. Gör.Dr. Enes ÜSTÜNER Prof. Dr. Mustafa ÖZ	*Aksaray Üniversitesi*	*AKUAKÜLTÜRDE ALTERNATİF YEM KAYNAKLARININ MUKOZAL BARİYER VE BAĞIRSAK İMMÜNOLOJİSİ ÜZERİNDEKİ MOLEKÜLER YANSIMALARI*
Arş. Gör.Dr. Enes ÜSTÜNER Prof. Dr. Mustafa ÖZ	*Aksaray Üniversitesi*	*SU ÜRÜNLERİNDE BİYO-TEMELLİ HASTALIK YÖNETİMİNDE MUKOZAL BARİYER DİNAMİKLERİ: PROBİYOTİK, PREBİYOTİK VE FİTOBİYOTİKLERİN İMMÜNO-REGÜLATÖR YOLAKLARI*
Dr. Öğretim Üyesi, Fatma Merve NACAKCI	*Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi*	*GÖLCÜK TABİAT PARKI'NDAKİ TOROS SEDİRİ (Cedrus libami A. RİCH.) YAPRAKLARININ UÇUCU BİLEŞEN PROFİLİ*
Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD Doç. Dr. Yahya NAS	*Şırnak Üniversitesi*	*SEBZELERDE ÇİNKO BİYOFORTİFİKASYONU: BİTKİ BESLEME, VERİM VE ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ*
Humaira Mazhar Dr. Mughal Qayum Dr. Nauman Rahim Khan	*Kohat University of Science and Technology Kohat 26000, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan*	*DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL EVALUATION OF CURCUMIN–ZNO NANOCOMPOSITE CHITOSAN HYDROGEL FOR DIABETIC WOUND MANAGEMENT*
Şükrü Nedim BEYOĞLU Prof. Dr. Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL	*Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi*	*YEŞİL SENTEZLENMİŞ ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN KURAKLIĞA MARUZ BUĞDAYIN BAZI FİZYOLOJİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ*
Mehmet Emin AYMELEK Prof. Dr. Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL	*Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi*	*KIRMIZI SOĞANDAN ÇEVRE DOSTU KUERSETİN ÜRETİMİ*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: Dr. Öğr. Üyesi, Fatma ÜLKER PEKER

SESSION-1 HALL-3

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr. Öğr. Üyesi, Erman FERİK Özgür YILMAZ Doç. Dr., Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU Prof. Dr. Faruk VAROL	*Marmara Üniversitesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi*	*FARKLI KAYNAK KORUYUCU GAZ DEBİLERİNDE SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) İLE KAYNAKLANMIŞ 6061-T6 ALÜMİNYUM SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ*
Dr. Öğr. Üyesi, Erman FERİK Özgür YILMAZ Doç. Dr., Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU Prof. Dr. Faruk VAROL	*Marmara Üniversitesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi*	*FARKLI KAYNAK HIZLARINDA SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) İLE KAYNAKLANMIŞ 5754 ALÜMİNYUM SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ*
Dr. Öğr. Üyesi Onur Vahip GÜLER	*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*	*DEĞİŞKEN ISI TALEBİNDE DEPO ENERJİ VE GÜÇ SINIRLARININ JEOTERMAL ISITMA KAPASİTESİNE ETKİSİ*
Cəfərli Nəzrin Elçin q	*ADPU*	*DƏB TƏHSİLİNDƏ RƏQƏMSAL TRANSFORMASİYA: GEYİM DİZAYNINDA 3D MODELLƏŞDİRMƏ VƏ SÜNİ İNTELEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ VƏ EFFEKTİVLİYİ*
Yüksek Lisans Öğrencisi Erdem YILMAZ Dr. Öğr. Üyesi Arif Hakan YALÇIN Prof. Dr. İbrahim MUTLU	*Afyon Kocatepe Üniversitesi*	*FREN BALATASI KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN BİLEŞENLER VE FONKSİYONLARI*
İnş. Müh.Ali PAMUKÇU Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK	*TCDD, Munzur Üniversitesi*	*DEMİRYOLU ALTYAPISINDA MENFEZ TASARIMI, YENİLENMESİ VE İMALAT YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ*
Dr. Öğr. Üyesi, Fatma ÜLKER PEKER	*Malatya Turgut Özal Üniversitesi*	*TARİHİ BİNALARDAKİ AHŞAP TAŞIYICI ELEMANLARIN TASARIMININ GÜNCEL AHŞAP YAPI YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ*
Dr., Çağlar SEVİM	*Niğde Ömer Halisdemir University*	*NUMERICAL INVESTIGATION OF THE DYNAMIC RESPONSE OF AN INVERTED SLIDER–CRANK MECHANISM UNDER UNIDIRECTIONAL CUTTING LOAD*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAMBEL

SESSION-1 HALL-4

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAMBEL *Prof. Dr. Ahmet Emre BİBER*	*Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi*	*MERKEZİYETSİZ FİNANS (DEFİ) VE İSLAMİ PRENSİPLER: İSLAMİ FİNANSIN WEB3 ÇAĞINDAKİ FIRSATLARI VE KISITLARI ÜZERİNE TEORİK BİR YAKLAŞIM*
Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAMBEL *Prof. Dr. Ahmet Emre BİBER*	*Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi*	*İSLAMİ BANKACILIKTA PARADİGMA DEĞİŞİMİ: FİNTECH EKOSİSTEMİNİN GELENEKSEL KURUMLAR ÜZERİNDEKİ YAPISAL ETKİLERİ*
Doç. Dr., Zümrüt Hatice ŞEKKELİ	*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*	*DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİ VE SEKTÖREL KULLANIMI ÖRNEKLERİ: LİTERATÜR İNCELEMESİ*
Moses Adeolu AGOI *Oluwakemi Racheal OSHINOWO* *Adebayo Samuel ADEOGUN* *Christiana Toyin ODUWOLE*	*Lagos State University of Education, Lagos Nigeria*	*COMPUTATIONAL LAW AND AI-ASSISTED LEGAL DECISION-MAKING FOR EFFECTIVE EDUCATIONAL GOVERNANCE, ADMINISTRATION, COMPLIANCE, AND INSTITUTIONAL TRANSFORMATION*
Professor Dr. Laura Diaconu (Maxim)	*"Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Romania*	*ENERGY DEPENDENCY AND ECONOMIC VULNERABILITY IN THE EUROPEAN UNION: A COMPARATIVE PANEL ANALYSIS*
Sari Aulia Rahmawati Meita Nadya *Aulia Nisa Amalia* *Sukma Fathimah* *Az-Zahro* *Azizil Lichasanah*	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*MSME CERTIFICATION AND FACILITATION IN BATANG REGENCY: STRENGTHENING HALAL COMPLIANCE AND BUSINESS COMPETITIVENESS*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: Prof. Dr, İbrahim İsmet ÖZTÜRK

SESSION-1 HALL-5

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr. Öğr. Üyesi, Barış KURT	*Muş Alparslan Üniversitesi*	*GFN2-XTB TABANLI MOLEKÜLER ÖZELLİKLER VE DESTEK VEKTÖR REGRESYONU İLE ORGANİK SIVI YOĞUNLUĞUNUN TAHMİNİ*
Prof. Dr, İbrahim İsmet ÖZTÜRK *Dr. Öğr. Üyesi, Okan UÇAR*	*Tekirdağ Namık Kemal University*	*ELECTRONIC STRUCTURE AND VIBRATIONAL PROPERTIES OF A BROMIDE-BRIDGED BISMUTH(III) COMPLEX: A DFT STUDY*
Prof. Dr, İbrahim İsmet ÖZTÜRK *Dr. Öğr. Üyesi, Okan UÇAR*	*Tekirdağ Namık Kemal University*	*THEORETICAL EVALUATION OF MOLECULAR GEOMETRY, REACTIVITY, AND ELECTRONIC STRUCTURE OF FURAN-2-CARBALDEHYDE-N-METHYL THIOSEMICARBAZONE*
Öğr. Gör. Dr., Yetkin SENEMOĞLU	*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi*	*TEKLİ VE İKİLİ TUZ FORMÜLASYONLARI ALTINDA KENEVİR (CANNABIS SATIVA L.) TOHUMLARININ ÇİMLENME KİNETİĞİ: KEŞİFSEL BİR PİLOT ÇALIŞMA*
Doç. Dr., Gülenaz SELÇUK *Doç. Dr., Ayşegül AYYILDIZ ASİL* *Okul Müd., Abdurrahman ASİL*	*Manisa Celal Bayar Üniversitesi,* *Hakkari Üniversitesi,* *Selahaddin Eyyubi Ortaokulu*	*BALTIK BÖLGESİNDEKİ DOĞA BİLİMLERİ ARAŞTIRMALARININ BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİFTEN İNCELENMESİ*
Doç. Dr., Ayşegül AYYILDIZ ASİL *Doç. Dr., Gülenaz SELÇUK* *Okul Müd., Abdurrahman ASİL*	*Hakkâri Üniversitesi,* *Manisa Celal Bayar Üniversitesi,* *Selahaddin Eyyubi Ortaokulu,*	*BALTIK ÜLKELERİNDE TEKNOLOJİK OKURYAZARLIK ARAŞTIRMALARININ GELİŞİMİ: KAPSAMLI BİR BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİF*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: Doç. Dr., Bayram BOZHÜYÜK

SESSION-1 HALL-6

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Doç. Dr., Bayram BOZHÜYÜK	*Gaziantep Üniversitesi*	*BOYAMA KİTAPLARI İÇİN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ İLLÜSTRASYON ÜRETİMİNDE GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA VE OPTİMİZASYON SÜREÇLERİNE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM*
Gular NURİYEVA	*Azerbaijan State Pedagogical University*	*UNİVERSAL DESİGN FOR LEARNİNG (UDL) MODELİNİN MÜASİR TƏHSİLDƏ TƏTBİQİ*
EMİLYA Hüseynova	*Azərbaycan Dövlət Pedagoji Universiteti*	*İNKLÜZİV TƏHSİLDƏ TƏRBİYƏ PROSESİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ*
Qasımova Maya Rəhim qızı	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Azərbaycan*	*İBTIDAI SINIF ŞAGIRDLƏRININ OXUYUB-ANLAMA BACARIQLARININ INKIŞAF ETDIRILMƏSI YOLLARI*
Natevan Paşayeva	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitesi*	*ÖZEL EĞİTİM İHTİYAÇLARI OLAN ÇOCUKLARIN AİLE ORTAMINDA KAPSAYICI OLARAK DESTEKLENMESİ*
Tarana AKBARI	*Azerbaijan State Pedagogical University (ASPU)*	*THE NEUROBIOLOGICAL ROLE OF SENSORY INTEGRATION AND CEREBELLO-CORTICAL NEURONAL LOOPS IN COGNITIVE REGULATION AND ATTENTIONAL SHIFTING IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA

SESSION-1 HALL-7

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA	*Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi*	*YER ÜZƏRİNDƏ HƏYATIN ƏMƏLƏ GƏLMƏSİ VƏ YAŞAYIŞ UĞRUNDA MÜBARİZƏ PROSESİNƏ KLASSİK VƏ SİNERGETİK BAXIŞLAR*
Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA	*Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi*	*NEYROPEDAQOGIKANIN KOQNİTİV ASPEKTLƏRİ*
Guler Suleymanova	*Azerbaijan State Pedagogical University*	*ORTHOGRAPHİC NORMS OF MODERN AZERBAİJANİ LANGUAGE AND METHODOLOGİCAL CHALLENGES IMPOSED BY THE DİGİTAL ERA*
Ulviyya Ahmad Jafarova	*Azerbaijan State Pedagogical University*	*BUL CƏBRİ VƏ ŞENNON PARÇALANMA TEOREMİ*
Gunel Shefiyeva	*Azerbaijan State Pedagogical University*	*COMPUTER-MEDIATED COMMUNICATION*
Könül Məmmədova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*AZƏRBAYCAN DİLİ TƏLİMİNDƏ EKSKURSİYA VƏ MÜŞAHİDƏLƏRDƏN İSTİFADƏNİN ƏHƏMİYYƏTİ*
Həsənova Yeganə Akif qızı	*ADPU*	*MÜASİR İNFORMATİKA TƏDRİSİNDƏ KVANT HESABLAMALARI VƏ KİBER TƏHLÜKƏSİZLİK KONSEPSİYALARININ İNTEQRASİYASI: METODOLOJİ YANAŞMALAR VƏ STRATEJİ MƏQSƏDLƏR*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: Dr. Alan Reed LIBERT

SESSION-1 HALL-8

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr. Alan Reed LIBERT	*Discipline of Linguistics, University of Newcastle, Callaghan, Australia*	*ON THE SO-CALLED CASES OF VERBS OF RUGGLES' UNIVERSAL LANGUAGE*
Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT	*Technical University of Civil Engineering Bucharest*	*AN ANALYSIS OF THE POEM ABOVE THE DOCK BY T.E. HULME*
Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT	*Technical University of Civil Engineering Bucharest*	*AN ANALYSIS OF THE POEM BESIDES THE AUTUMN POETS SING BY EMILY DICKINSON*
Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT	*Technical University of Civil Engineering Bucharest*	*AN ANALYSIS OF THE POEM NOVEMBER NIGHT BY ADELAIDE CRAPSEY*
Manjanova Firangiz	*ADPU*	*İNFORMASİYA TEXNOLOGİYALARI: ANLAYIŞI, STRUKTURU VƏ MÜASİR İNKİŞAF İSTİQAMƏTLƏRİ*
Almaszadə Gülsüm Siyavuş qızı	*ADPU*	*SÜNİ İNTELEKT VƏ MƏNTİQİ-RİYAZİ TƏFƏKKÜR: NƏZƏRİ ƏSASLAR VƏ MÜASİR ALQORİTMLƏR*
Nəbiyeva Nazənim Mahmud qızı	*ADPU*	*RƏQƏMSAL İNFORMASİYA EKOSİSTEMİNDƏ FƏRDİ MƏLUMATLARIN TƏHLÜKƏSİZLİYİ: ARQUİTEKTURA, SIFIR GÜVƏN MODELİ VƏ HÜQUQİ-TEXNİKİ MEXANİZMLƏR*
Günel Hümmətova (Pəniyeva) Saleh	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*UŞAQ ŞƏXSİYYƏTİNİN İNKİŞAFINDA BƏDİİ ƏDƏBİYYATIN MULTİDİSİPLİNAR TƏSİRİ VƏ STRATEJİ MƏNƏVİ-PSİXOLOJİ ROLU*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

HEAD OF SESSION: PhD Balakhanova Gumru Vasif

SESSION-1 HALL-9

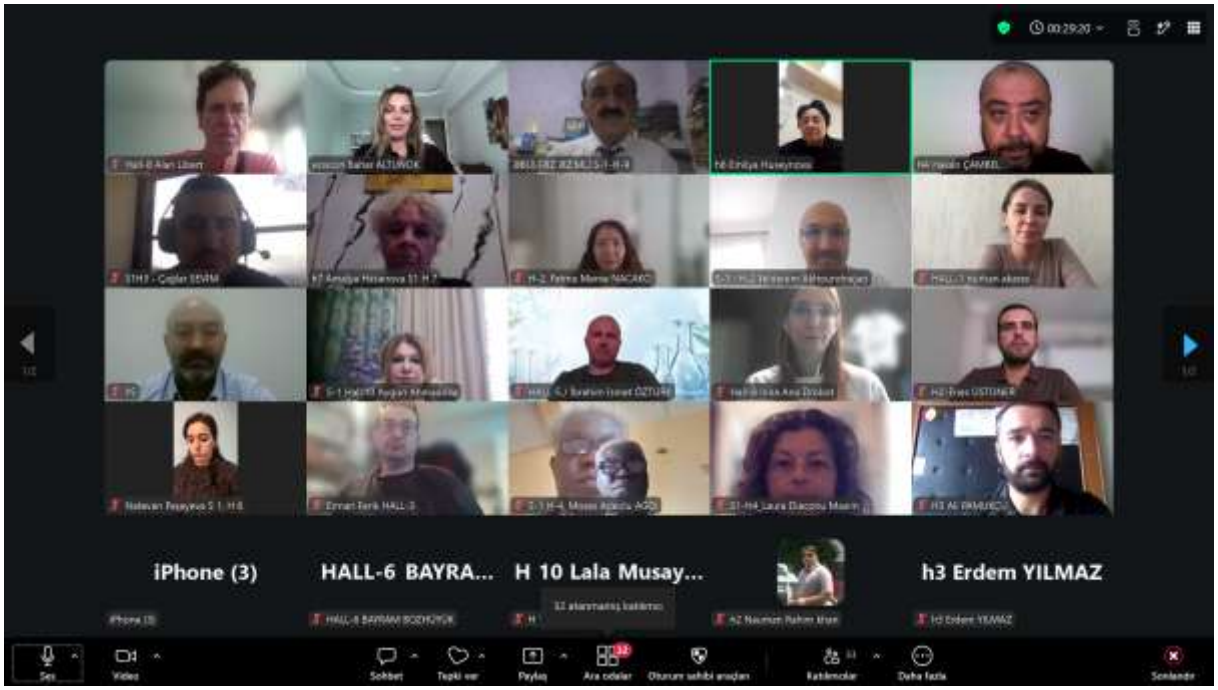
AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
AĞAKİŞLBƏYLİ Sevinc Yavər	*ADPU*	*TƏHSİLDƏ RƏQƏMSAL TRANSFORMASİYA: RİYAZİYYATIN TƏDRİSİNDƏ SÜNİ İNTELLEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ VƏ METODOLOJİ MODELLƏR*
Ülkər Kərimova	*ADPU*	*APPLİCATİON OF LARGE LANGUAGE MODELS (LLMS) İN TASK- BASED COMPUTER SCİENCE EDUCATİON AND THE EFFİCACY OF AUTOMATED CODE ANALYSİS MECHANİSMS*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan*	*THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION ON THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF BIOGEOCENOSES*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan*	*THE INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE FORMATION OF BIOGEOCENOSES IN THE SOIL–ECOLOGICAL SYSTEM*
PhD Petronela Daniela FERARU	*National College Iași and "Ion Neculce" High School, Târgu Frumos, Romania,*	*EDUCATIONAL INEQUALITY IN THE AGE OF GENERATIVE AI: A SOCIOLOGY OF ACCESS, AUTHORITY, AND LEARNING*
PhD Petronela Daniela FERARU	*National College Iași and "Ion Neculce" High School, Târgu Frumos, Romania,*	*BEYOND THE EUROPEAN FRAME: SOCIOCULTURAL ANTHROPOLOGY, MOBILITY, AND THE POLITICS OF BELONGING*
Prof. Dr. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ	*Naxçıvan Dövlət Universiteti*	*MİF VƏ MİFOLOJİ DÜŞÜNCƏ TUTUMLARI-BOYUTLARI: SU SUDA QALAR TUTUMLARI (Məsələyə Tipoloji Yanaşma Teorisi)*
Prof. Dr. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ	*Naxçıvan Dövlət Universiteti*	*"KİTABİ-DEDE QORQUD" EPOSUNDA DASTAN POETİZMİ: BƏDİİ LİRİZMİN SÖZ, MƏNA VƏ ÜSLUB İZLƏMLƏRİ*

03.10.2026
TÜRKİYE Local Time: 13:30-15:15

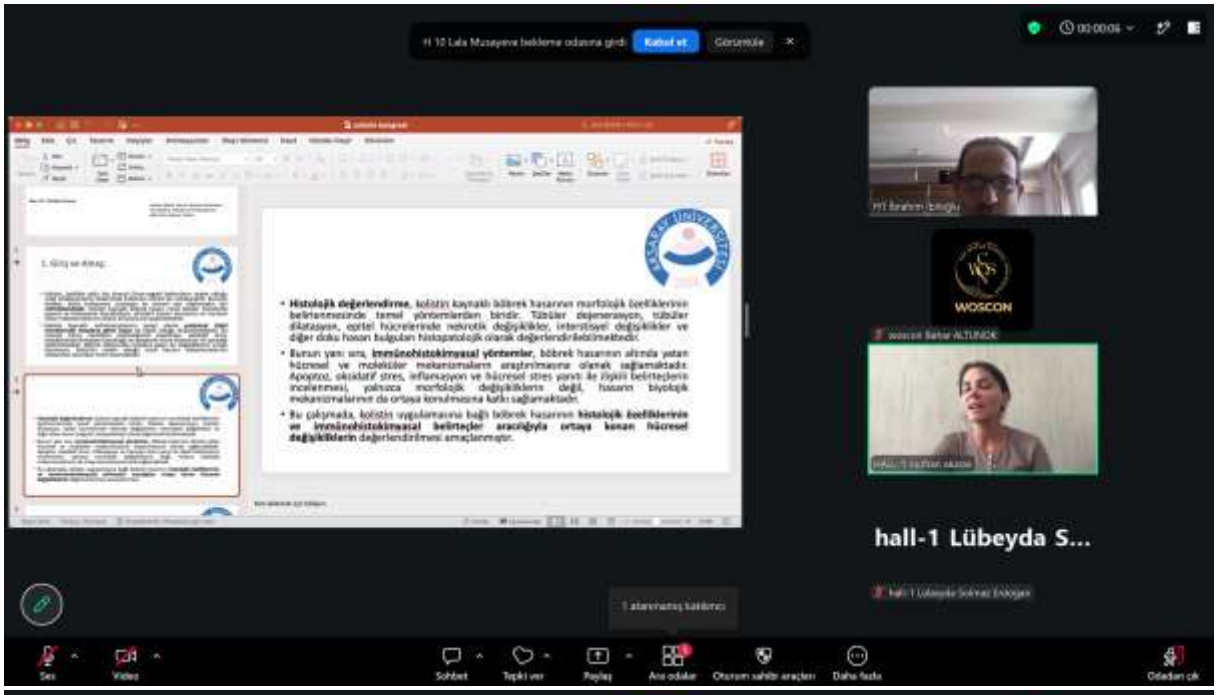
HEAD OF SESSION: Doçent Doktor, AYGUN AHMADOVA

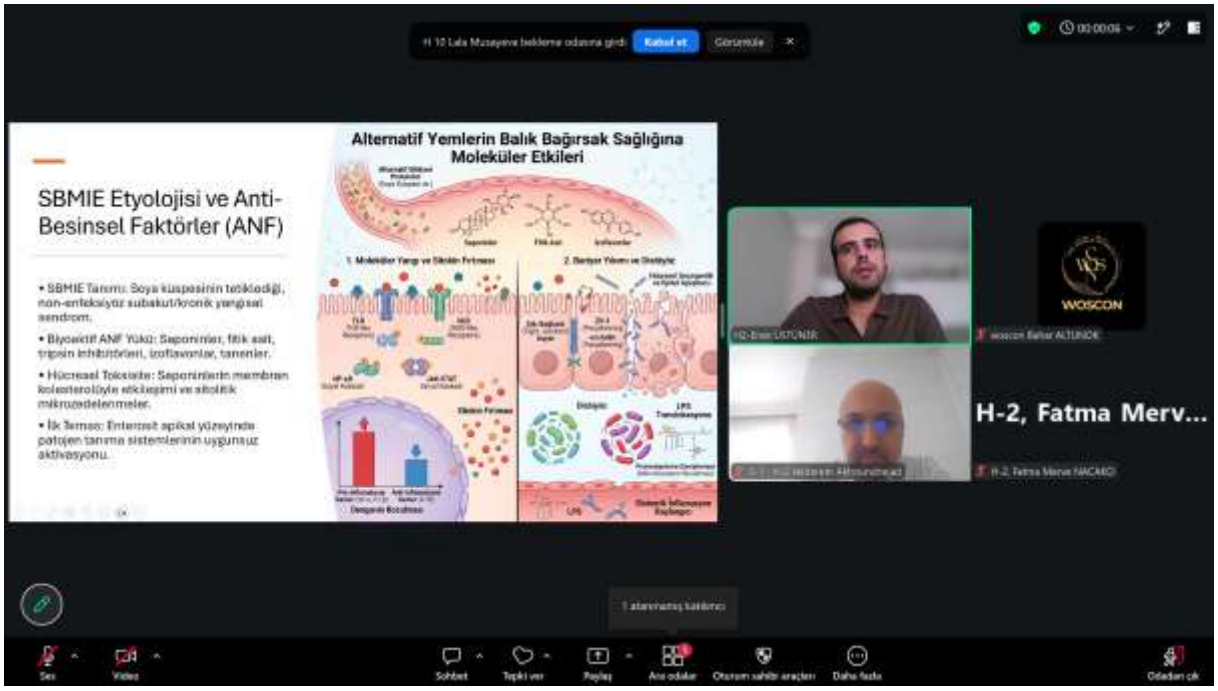
SESSION-1 HALL-10

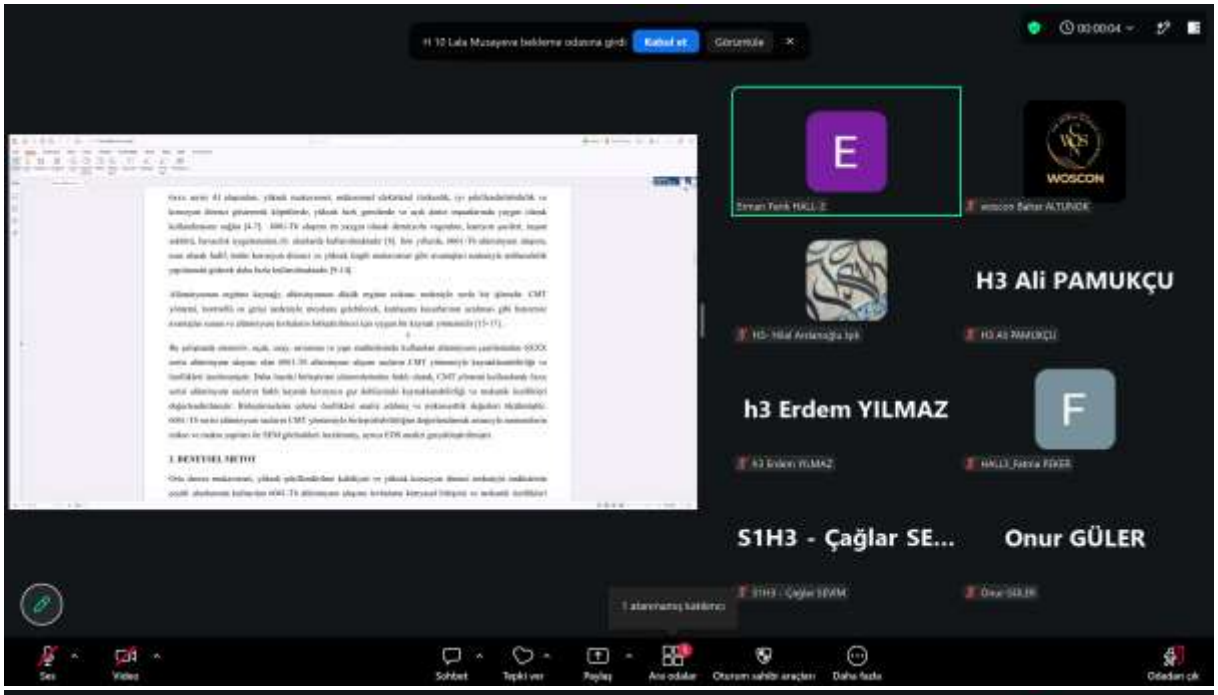
AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Doçent Doktor, AYGUN AHMADOVA	*Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi*	*QARABAĞ UĞRUNDA SÖZLƏ DÖYÜŞƏN ŞAİR*
Qocayeva Gülarə Məhəmməd	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*TƏRBİYƏ PROSESİNDƏ GENDER İDENTİKLİYİNİN NƏZƏRƏ ALINMASININ ÜSTÜNLÜKLƏRİ*
Prof. Dr. Elman Quliyev	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti Azərbaycan, Bakı*	*THE LİFE AND STORY CREATİVİTY OF MİRZA IBRAHİMOV*
B/m., Lale MUSAYEVA	*Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi*	*ZOOM YORGUNLUĞUNUN DİL KÜLTÜRÜNE ETKİSİ*
Ulduz Fərhad Qəhrəmanova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*NİZAMİ GƏNCƏVİNİN "SİRLƏR XƏZİNƏSİ" POEMASINDA "DÜNYANIN MƏŞƏQQƏTİ" (XIII SÖHBƏT) BÖLMƏSİNİN NƏZƏRİ TƏHLİLİ*
Rəhilə Hümmətova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*LİNQVİSTİK TƏHLİLİN FƏNDAXİLİ VƏ FƏNLƏRARASI İNTEQRASİYANIN QURULMASINDA ROLU*
Aynur Zahir qızı Bədəlova	*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti*	*"İNTİBAH" ROMANI TÜRK ƏDƏBİYYATININ BƏDİİ NÜMUNƏSİ KİMİ*

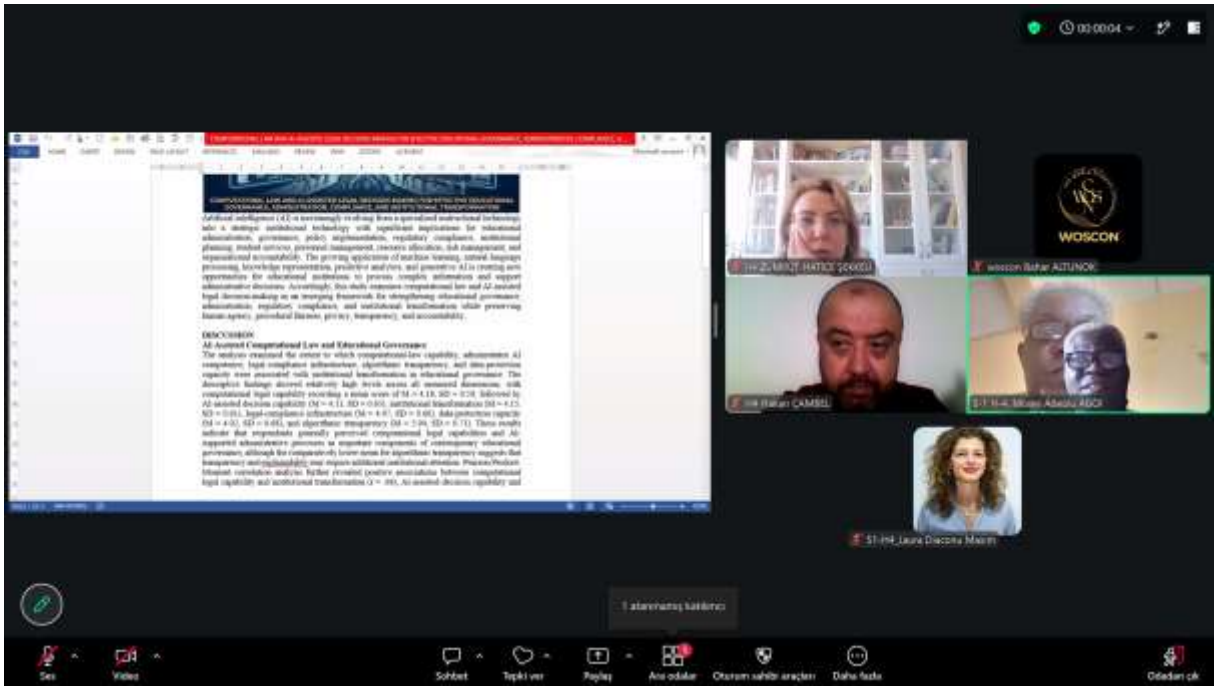

iPhone (3)
HALL-6 BAYRA...
H 10 Lala Musay...
h3 Erdem YILMAZ
Ses
Video
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ara odalar
Oturum sahibi araçları
Katılımcılar
Daha fazla
Sonlandır

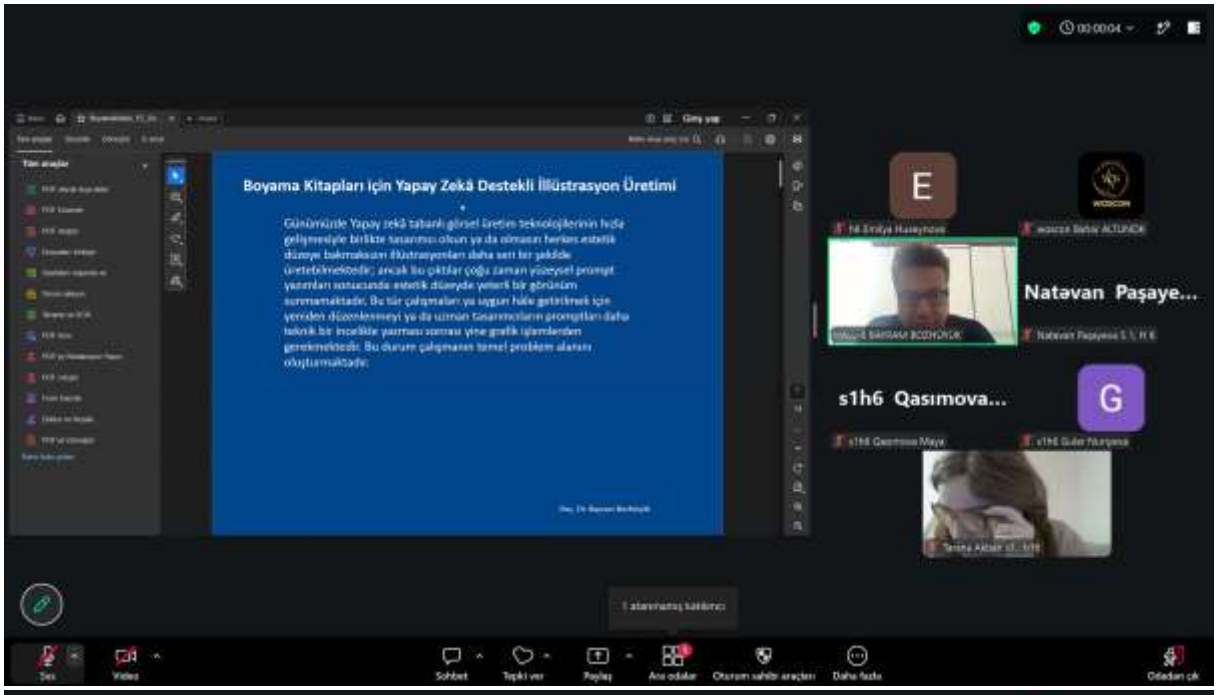
HALL-6 BAYRA...
H 10 Lala Musay...
h3 Erdem YILMAZ
Lübeyda Solmaz...
S 1 H10 Rəhilə H...
Ayşegül Ayyıldız
Maya iPhone'u
Ses
Video
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ara odalar
Oturum sahibi araçları
Katılımcılar
Daha fazla
Sonlandır

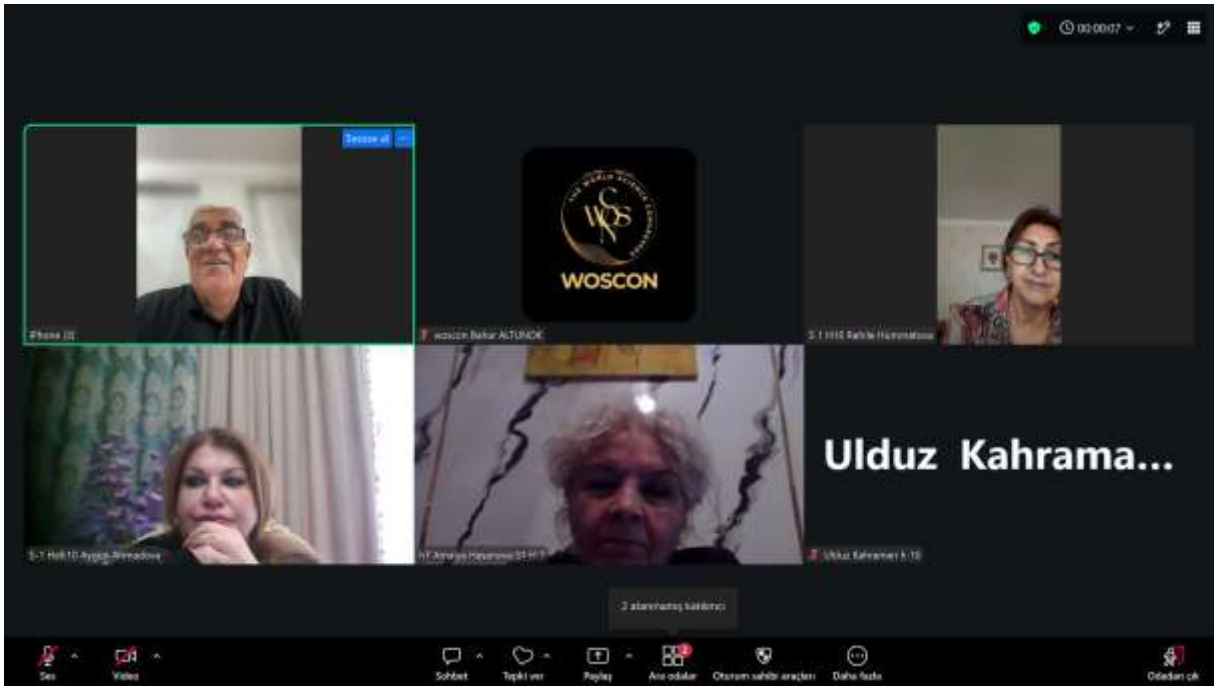

• Histolojik değerlendirme, kolistin kaynaklı böbrek hasarının morfolojik özelliklerinin belirlenmesinde temel yöntemlerden biridir. Tübüler dejenerasyon, tübüler dilatasyon, epitel hücrelerinde nekrotik değişiklikler, interstisyel değişiklikler ve diğer doku hasarı bulguları histopatolojik olarak değerlendirilebilmektedir.
• Bunun yanı sıra, immünohistokimyasal yöntemler, böbrek hasarının altında yatan hücresel ve moleküler mekanizmaların araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Apoptoz, oksidatif stres, inflamasyon ve hücresel stres yanıtı ile ilişkili belirteçlerin incelenmesi, yalnızca morfolojik değişikliklerin değil, hasarın biyolojik mekanizmalarının da ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır.
• Bu çalışmada, kolistin uygulamasına bağlı böbrek hasarının histolojik özelliklerinin ve immünohistokimyasal belirteçler aracılığıyla ortaya konan hücresel değişikliklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.
hall-1 Lübeyda S...

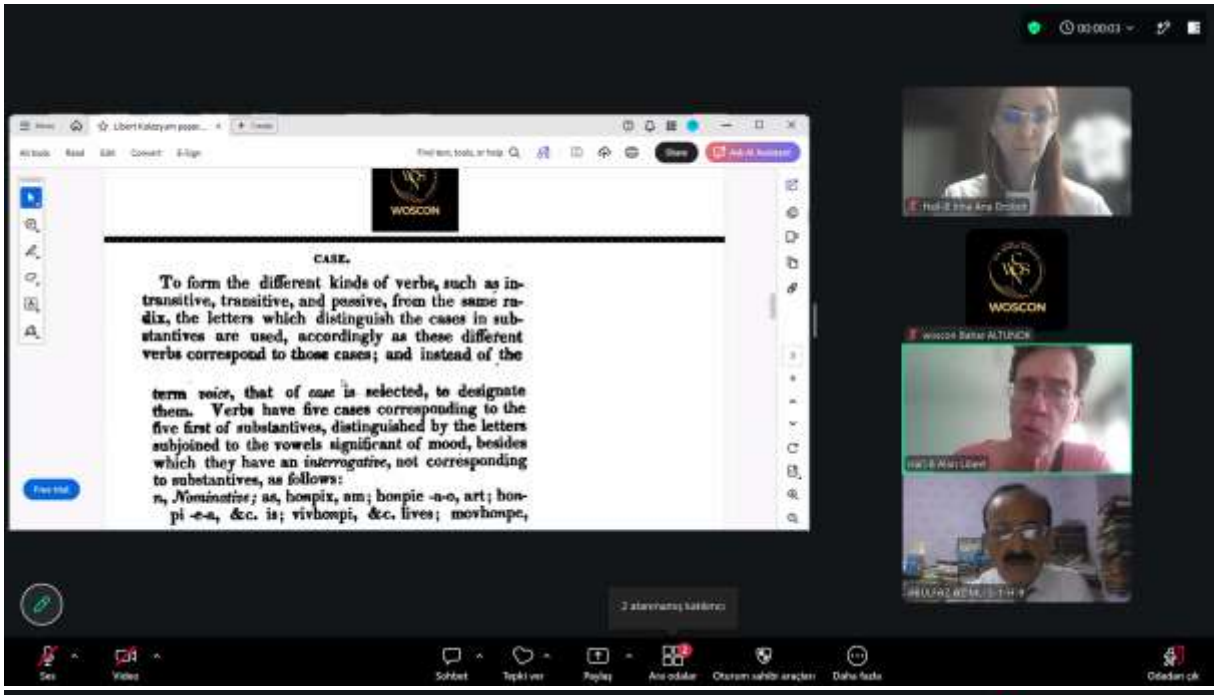

SBMIE Etyolojisi ve Anti-Besinsel Faktörler (ANF)
• SBMIE Tanımı: Soya küspesinin tetiklediği, non-enfeksiyöz subakut/kronik yangısal sendrom.
• Biyoaktif ANF Yükü: Saponinler, fitik asit, tripsin inhibitörleri, izoflavonlar, tanenler.
• Hücresel Toksisite: Saponinlerin membran kolesterolüyle etkileşimi ve sitolitik mikrozedelenmeler.
• İlk Temas: Enterosit apikal yüzeyinde patojen tanıma sistemlerinin uygunsuz aktivasyonu.
Alternatif Yemlerin Balık Bağırsak Sağlığına Moleküler Etkileri
H-2, Fatma Merv...


H3 Ali PAMUKÇU
h3 Erdem YILMAZ
S1H3 - Çağlar SE...
Onur GÜLER
WOSCON

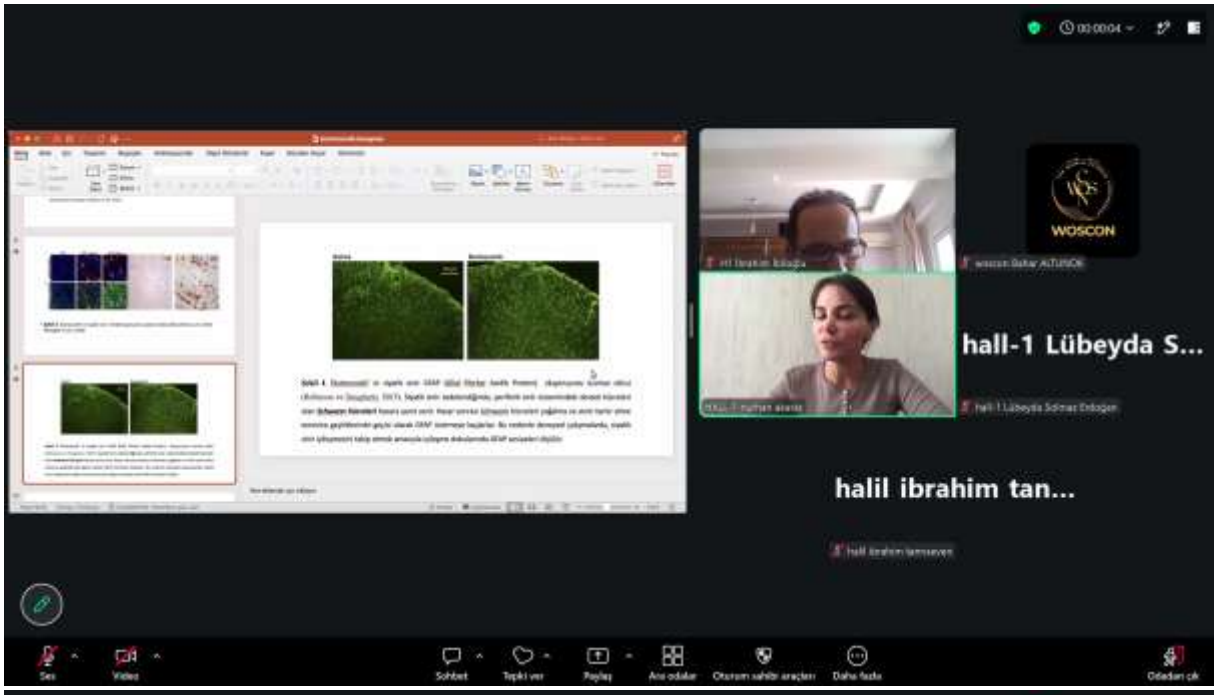

WOSCON

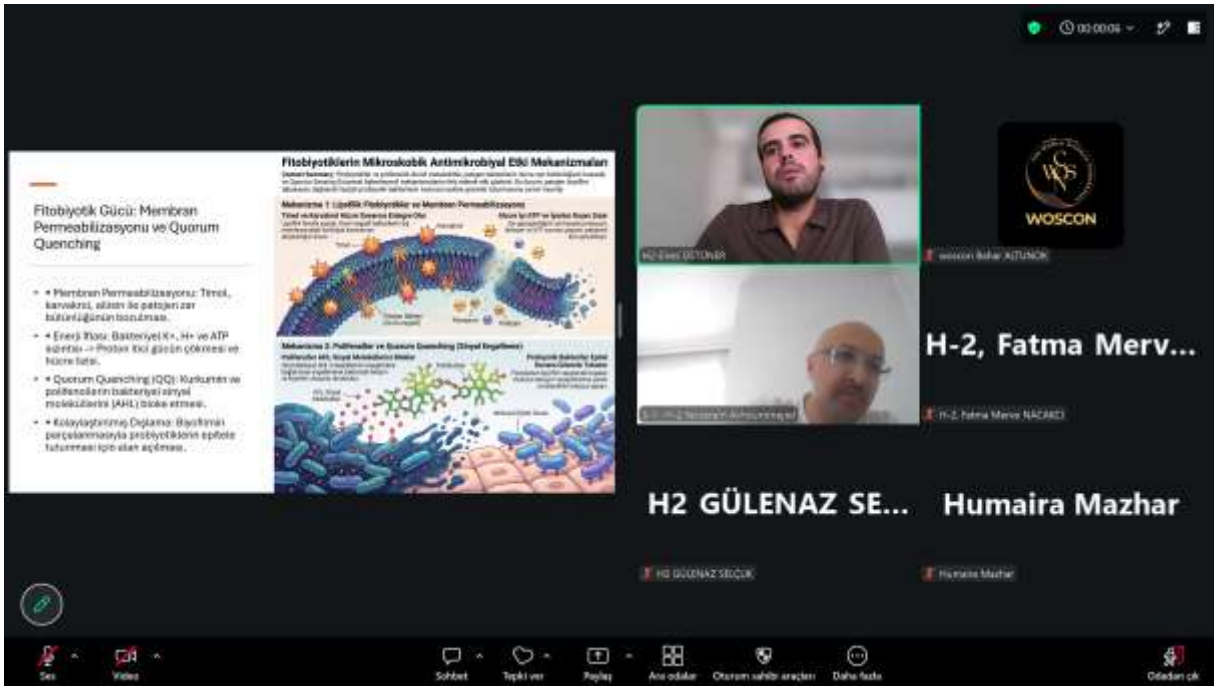

Boyama Kitapları için Yapay Zekâ Destekli İllüstrasyon Üretimi
Günümüzde Yapay zekâ tabanlı görsel üretim teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte tasarımcı olsun ya da olmasın herkes estetik düzeyi bakımından illüstrasyonları daha seri bir şekilde üretebilmektedir; ancak bu çıktılar çoğu zaman yüzeysel prompt yazımları sonucunda estetik düzeyde yetersiz bir görünüm sunmaktadır. Bu tür çalışmaları ya sıfır hâle getirmek için yeniden düzenlemeyi ya da uzman tasarımcıların promptları daha teknik bir inceliğe yazması sonrası yine grafik işlemlerden geçirmelerini gerektirmektedir. Bu durum çalışmanın temel problem alanını oluşturmaktadır.
E
Natavan Paşaye...
s1h6 Qasımova...
G


WOSCON
Ulduz Kahrama...


CASE.
To form the different kinds of verbs, such as intransitive, transitive, and passive, from the same radix, the letters which distinguish the cases in substantives are used, accordingly as these different verbs correspond to those cases; and instead of the
term voice, that of case is selected, to designate them. Verbs have five cases corresponding to the five first of substantives, distinguished by the letters subjoined to the vowels significant of mood, besides which they have an interrogative, not corresponding to substantives, as follows:
n, Nominative; as, hospix, am; hospic -n-o, art; hospi -e-a, &c. is; vivhospi, &c. lives; movhospe,

Humaira Mazhar


hall-1 Lübeyda S...
halil ibrahim tan...
Ses
Video
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ana odalar
Otorum sahibi araçları
Daha fazla
Odadan çık


Fitobiyotik Gücü: Membran Permeabilizasyonu ve Quorum Quenching
Fitobiyotiklerin Mikroskobik Antimikrobiyal Etki Mekanizmaları
H-2, Fatma Merv...
H2 GÜLENAZ SE...
Humaira Mazhar
Ses
Video
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Ana odalar
Otorum sahibi araçları
Daha fazla
Odadan çık

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

KOLİSTİN KAYNAKLI DENEYSEL BÖBREK HASAR MODELİNDE İNCELENEN BAZI İMMÜNOHİSTOKİMYASAL PARAMETRELER 7

SOME IMMUNOHISTOCHEMICAL PARAMETERS EXAMINED IN THE COLISTIN-INDUCED EXPERIMENTAL KIDNEY INJURY MODEL 8

BORTEZOMİB KAYNAKLI SİYATİK SİNİR HASARINA İMMÜNOHİSTOKİMYASAL YAKLAŞIM 16

IMMUNOHİSTOCHEMİCAL APPROACH TO BORTEZOMİB-INDUCED SCİATİC NERVE DAMAGE 17

MULTIMODALITY IMAGING AND DEFERRED STENTING IN AN ANTERIOR STEMI COMPLICATED BY CORONARY ECTASIA AND A RARE CIRCUMFLEX-TO-SUPERIOR VENA CAVA FISTULA 26

IATROGENIC COMMON FEMORAL ARTERY OCCLUSION INDUCED BY A VASCULAR CLOSURE DEVICE: SUCCESSFUL ENDOVASCULAR RESCUE 29

LUTEOLİN UYGULAMASININ BEYİN İSKEMİ-REPERFÜZYON HASARINDA NÖROLOJİK FONKSİYONLAR ÜZERİNE ETKİSİ 33

RARE EXTRANEURAL CUTANEOUS AND SCALP METASTASIS OF PRIMARY IDH-WILDTYPE GLIOBLASTOMA HARBORING A PTEN EXON 5 MUTATION: A CASE REPORT 39

DISTRIBUTION OF METASTATIC BRAIN TUMORS IN DIYARBAKIR REGION: A 13-YEAR RETROSPECTIVE STUDY 40

AKUAKÜLTÜRDE ALTERNATİF YEM KAYNAKLARININ MUKOZAL BARİYER VE BAĞIRSAK İMMÜNOLOJİSİ ÜZERİNDEKİ MOLEKÜLER YANSIMALARI 41

MOLECULAR IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE FEED SOURCES ON MUCOSAL BARRIER AND GUT IMMUNOLOGY IN AQUACULTURE 42

SU ÜRÜNLERİNDE BİYO-TEMELLİ HASTALIK YÖNETİMİNDE MUKOZAL BARİYER DİNAMİKLERİ: PROBİYOTİK, PREBİYOTİK VE FİTOBİYOTİKLERİN İMMÜNO-REGÜLATÖR YOLAKLARI 57

MUCOSAL BARRIER DYNAMICS IN BIO-BASED DISEASE MANAGEMENT IN AQUACULTURE: IMMUNO-REGULATORY PATHWAYS OF PROBIOTICS, PREBIOTICS, AND PHYTOGENICS 58

GÖLCÜK TABİAT PARKI'NDAKİ TOROS SEDİRİ (*CEDRUS LİBANİ* A. RİCH.) YAPRAKLARININ UÇUCU BİLEŞEN PROFİLİ 78

VOLATILE COMPONENT PROFILE OF TAURUS CEDAR (*CEDRUS LİBANİ* A. RİCH.) LEAVES FROM GÖLCÜK NATURE PARK 79

SEBZELERDE ÇİNKO BİYOFORTİFİKASYONU: BİTKİ BESLEME, VERİM VE ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ 87

ZINC BIOFORTIFICATION IN VEGETABLES: EFFECTS ON PLANT NUTRITION, YIELD, AND PRODUCT QUALITY 88

DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL EVALUATION OF CURCUMIN–ZNO NANOCOMPOSITE CHITOSAN HYDROGEL FOR DIABETIC WOUND MANAGEMENT 100

YEŞİL SENTEZLENMİŞ ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN KURAKLIĞA MARUZ BUĞDAYIN BAZI FİZYOLOJİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ 101

EFFECTS OF GREEN-SYNTHESIZED ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON CERTAIN PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF WHEAT SUBJECTED TO DROUGHT STRESS 102

KIRMIZI SOĞANDAN ÇEVRE DOSTU KUERSETİN ÜRETİMİ 116

ECO-FRIENDLY QUERCETIN PRODUCTION FROM RED ONION 117

FARKLI KAYNAK KORUYUCU GAZ DEBİLERİNDE SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) İLE KAYNAKLANMIŞ 6061-T6 ALÜMİNYUM SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ 123

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF 6061-T6 ALUMINUM SHEETS WELDED BY COLD METAL TRANSFER (CMT) AT DIFFERENT WELDING SHIELDING GAS FLOW RATES 124

FARKLI KAYNAK HIZLARINDA SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) İLE KAYNAKLANMIŞ 5754 ALÜMİNYUM SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ 135

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF 5754 ALUMINUM SHEETS WELDED BY COLD METAL TRANSFER (CMT) AT DIFFERENT WELDING SPEEDS 136

DEĞİŞKEN ISI TALEBİNDE DEPO ENERJİ VE GÜÇ SINIRLARININ JEOTERMAL ISITMA KAPASİTESİNE ETKİSİ 146

EFFECTS OF STORAGE ENERGY AND POWER CONSTRAINTS ON GEOTHERMAL HEATING CAPACITY UNDER VARIABLE HEAT DEMAND 147

DƏB TƏHSİLİNDƏ RƏQƏMSAL TRANSFORMASİYA: GEYİM DİZAYNINDA 3D MODELLƏŞDİRMƏ VƏ SÜNİ İNTELEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ VƏ EFFEKTİVLİYİ 148

FREN BALATASI KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN BİLEŞENLER VE FONKSİYONLARI 152

COMPONENTS AND FUNCTIONS USED IN BRAKE PAD COMPOSITES 153

DEMİRYOLU ALTYAPISINDA MENFEZ TASARIMI, YENİLENMESİ VE İMALAT YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 154

EVALUATION OF CULVERT DESIGN, REHABILITATION, AND CONSTRUCTION METHODS IN RAILWAY INFRASTRUCTURE 155

TARİHİ BİNALARDAKİ AHŞAP TAŞIYICI ELEMANLARIN TASARIMININ GÜNCEL AHŞAP YAPI YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ 166

INVESTIGATION OF THE DESIGN OF TIMBER LOAD-BEARING MEMBERS IN HISTORICAL BUILDINGS ACCORDING TO THE CURRENT TIMBER BUILDING REGULATION 167

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE DYNAMIC RESPONSE OF AN INVERTED SLIDER–CRANK MECHANISM UNDER UNIDIRECTIONAL CUTTING LOAD 168

İSLAMİ BANKACILIKTA PARADİGMA DEĞİŞİMİ: FİNTECH EKOSİSTEMİNİN GELENEKSEL KURUMLAR ÜZERİNDEKİ YAPISAL ETKİLERİ 183

PARADİGM SHİFT İN ISLAMİC BANKİNG: THE STRUCTURAL IMPACTS OF THE FİNTECH ECOSYSTEM ON TRADİTİONAL INSTİTUTİONS 184

MERKEZİYETSİZ FİNANS (DEFİ) VE İSLAMİ PRENSİPLER: İSLAMİ FİNANSIN WEB3 ÇAĞINDAKİ FIRSATLARI VE KISITLARI ÜZERİNE TEORİK BİR YAKLAŞIM..... 193

DECENTRALIZED FINANCE (DEFİ) AND ISLAMIC PRINCIPLES: A THEORETICAL APPROACH TO THE OPPORTUNITIES AND CONSTRAINTS OF ISLAMIC FINANCE IN THE WEB3 ERA 194

DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİ VE SEKTÖREL KULLANIMI ÖRNEKLERİ: LİTERATÜR İNCELEMESİ 200

DIGITAL TWIN TECHNOLOGY AND EXAMPLES OF SECTORAL APPLICATIONS: A LITERATURE REVIEW 201

COMPUTATIONAL LAW AND AI-ASSISTED LEGAL DECISION-MAKING FOR EFFECTIVE EDUCATIONAL GOVERNANCE, ADMINISTRATION, COMPLIANCE, AND INSTITUTIONAL TRANSFORMATION 216

ENERGY DEPENDENCY AND ECONOMIC VULNERABILITY IN THE EUROPEAN UNION: A COMPARATIVE PANEL ANALYSIS..... 229

MSME CERTIFICATION AND FACILITATION IN BATANG REGENCY: STRENGTHENING HALAL COMPLIANCE AND BUSINESS COMPETITIVENESS 230

GFN2-XTB TABANLI MOLEKÜLER ÖZELLİKLER VE DESTEK VEKTÖR REGRESYONU İLE ORGANİK SIVI YOĞUNLUĞUNUN TAHMİNİ..... 231

PREDICTION OF ORGANIC LIQUID DENSITY USING GFN2-XTB-BASED MOLECULAR FEATURES AND SUPPORT VECTOR REGRESSION 232

ELECTRONIC STRUCTURE AND VIBRATIONAL PROPERTIES OF A BROMIDE-BRIDGED BISMUTH(III) COMPLEX: A DFT STUDY..... 245

THEORETICAL EVALUATION OF MOLECULAR GEOMETRY, REACTIVITY, AND ELECTRONIC STRUCTURE OF FURAN-2-CARBALDEHYDE-N-METHYL THIOSEMICARBAZONE..... 257

TEKLİ VE İKİLİ TUZ FORMÜLASYONLARI ALTINDA KENEVİR (*CANNABIS SATIVA* L.) TOHUMLARININ ÇİMLENME KİNETİĞİ: KEŞİFSEL BİR PİLOT ÇALIŞMA..... 269

GERMINATION KINETICS OF HEMP (*CANNABIS SATIVA* L.) SEEDS UNDER SINGLE AND BINARY SALT FORMULATIONS: AN EXPLORATORY PILOT STUDY 270

BALTIK BÖLGESİNDEKİ DOĞA BİLİMLERİ ARAŞTIRMALARININ BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİFTEN İNCELENMESİ 294

BIBLIOMETRIC PERSPECTIVES ON NATURAL SCIENCES RESEARCH IN THE BALTIC REGION 295

BALTIK ÜLKELERİNDE TEKNOLOJİK OKURYAZARLIK ARAŞTIRMALARININ GELİŞİMİ: KAPSAMLI BİR BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİF 316

EVOLUTION OF TECHNOLOGICAL LITERACY RESEARCH IN BALTIC COUNTRIES: A COMPREHENSIVE BIBLIOMETRIC PERSPECTIVE 317

BOYAMA KİTAPLARI İÇİN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ İLLÜSTRASYON ÜRETİMİNDE GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA VE OPTİMİZASYON SÜREÇLERİNE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM 339

AN APPROACH TO IMAGE GENERATION AND OPTIMIZATION PROCESSES IN AI-ASSISTED ILLUSTRATION PRODUCTION FOR COLORING BOOKS 340

UNİVERSAL DESİGN FOR LEARNİNG (UDL) MODELİNİN MÜASİR TƏHSİLDƏ TƏTBİQİ 356

APPLICATION OF THE UNIVERSAL DESIGN FOR LEARNING (UDL) MODEL IN MODERN EDUCATION 357

İNKLÜZİV TƏHSİLDƏ TƏRBİYƏ PROSESİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ 359

FEATURES OF THE EDUCATİONAL PROCESS İN İNCLUSİVE EDUCATİON 360

İBTIDAI SINIF ŞAGIRDLƏRININ OXUYUB-ANLAMA BACARIQLARININ INKIŞAF ETDIRILMƏSI YOLLARI 361

ÖZEL EĞİTİM İHTİYAÇLARI OLAN ÇOCUKLARIN AİLE ORTAMINDA KAPSAYICI OLARAK DESTEKLENMESİ 367

INCLUSIVE SUPPORT FOR CHILDREN WITH SPECIAL EDUCATIONAL NEEDS IN THE FAMILY ENVIRONMENT 368

İLKOĞRETİM ÖĞRENCİLERİNDE SENSÖRİMOTOR ENTEGRASYON VE SEREBELLO-KORTİKAL NÖRONAL DÖNGÜLERİN KOĞNİTİF DÜZENLEME VE DİKKAT AKTARIMI ÜZERİNDEKİ NÖROBİYOLOJİK ROLÜ 369

THE NEUROBIOLOGICAL ROLE OF SENSORY INTEGRATION AND CEREBELLO-CORTICAL NEURONAL LOOPS IN COGNITIVE REGULATION AND ATTENTIONAL SHIFTING IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS 370

YER ÜZƏRİNDƏ HƏYATIN ƏMƏLƏ GƏLMƏSİ VƏ YAŞAYIŞ UĞRUNDA MÜBARİZƏ PROSESİNƏ KLASSİK VƏ SİNERGETİK BAXIŞLAR 376

CLASSICAL AND SYNERGETIC VIEWS ON THE PROCESS OF THE FORMATION OF LIFE ON EARTH AND THE STRUGGLE FOR SUBSISTENCE 377

NEYROPEDAQOGIKANIN KOQNİTİV ASPEKTLƏRİ 381

COGNITIVE ASPECTS OF NEUROPEDAGOGY 382

ORTHOGRAPHİC NORMS OF MODERN AZERBAİJANİ LANGUAGE AND METHODOLOGİCAL CHALLENGES IMPOSED BY THE DİGİTAL ERA 387

BUL CƏBRİ VƏ ŞENNON PARÇALANMA TEOREMİ 392

COMPUTER-MEDIATED COMMUNICATION 396
AZƏRBAYCAN DİLİ TƏLİMİNDƏ EKSKURSİYA VƏ MÜŞAHİDƏLƏRDƏN İSTİFADƏNİN ƏHƏMİYYƏTİ 399
MÜASİR İNFORMATİKA TƏDRİSİNDƏ KVANT HESABLAMALARI VƏ KİBER TƏHLÜKƏSİZLİK KONSEPSİYALARININ İNTEQRASİYASI: METODOLOJİ YANAŞMALAR VƏ STRATEJİ MƏQSƏDLƏR 401
ON THE SO-CALLED CASES OF VERBS OF RUGGLES' UNIVERSAL LANGUAGE 405
AN ANALYSIS OF THE POEM *ABOVE THE DOCK* BY T.E. HULME 412
AN ANALYSIS OF THE POEM *BESIDES THE AUTUMN POETS SING* BY EMILY DICKINSON ... 417
AN ANALYSIS OF THE POEM *NOVEMBER NIGHT* BY ADELAIDE CRAPSEY 422
İNFORMASİYA TEXNOLOGİYALARI: ANLAYIŞI, STRUKTURU VƏ MÜASİR İNKİŞAF İSTİQAMƏTLƏRİ 426
SÜNİ İNTELEKT VƏ MƏNTİQİ-RİYAZİ TƏFƏKKÜR: NƏZƏRİ ƏSASLAR VƏ MÜASİR ALQORİTMLƏR 433
RƏQƏMSAL İNFORMASİYA EKOSİSTEMİNDƏ FƏRDİ MƏLUMATLARIN TƏHLÜKƏSİZLİYİ: ARQUİTEKTURA, SIFIR GÜVƏN MODELİ VƏ HÜQUQİ-TEXNİKİ MEXANİZMLƏR 436
UŞAQ ŞƏXSİYYƏTİNİN İNKİŞAFINDA BƏDİİ ƏDƏBİYYATIN MULTİDİSİPLİNAR TƏSİRİ VƏ STRATEJİ MƏNƏVİ-PSİXOLOJİ ROLU 440
TƏHSİLDƏ RƏQƏMSAL TRANSFORMASİYA: RİYAZİYYATIN TƏDRİSİNDƏ SÜNİ İNTELLEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ VƏ METODOLOJİ MODELLƏR 445
BÜYÜK DİL MODELLERİNİN (LLM) GÖREV TABANLI BİLİŞİM EĞİTİMİNDE KULLANIMI VE OTOMATİK KOD ANALİZİ MEKANİZMALARININ ETKİNLİĞİ 448
THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION ON THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF BIOGEOCENOSES 454
THE INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE FORMATION OF BIOGEOCENOSES IN THE SOIL–ECOLOGICAL SYSTEM 463
BEYOND THE EUROPEAN FRAME: SOCIOCULTURAL ANTHROPOLOGY, MOBILITY, AND THE POLITICS OF BELONGING 472
EDUCATIONAL INEQUALITY IN THE AGE OF GENERATIVE AI: A SOCIOLOGY OF ACCESS, AUTHORITY, AND LEARNING 503
MİF VE MİFOLOJİ DÜŞÜNCE BOYUTLARI: SU SUDA QALAR TUTUMLARI 533
(MƏSƏLƏYƏ TİPOLOJİ YANAŞMA TEORİSİ) 533
DIMENSIONS OF MYTH AND MYTHOLOGICAL THOUGHT: CAPACITIES OF WATER IN WATER 535
"KİTABİ-DEDE QORQUD" EPOSUNDA DASTAN POETİZMİ: 556
BƏDİİ LİRİZMİN SÖZ, MƏNA VƏ ÜSLUB İZLƏMLƏRİ 556

EPİC POETİCS İN THE "KİTABİ-DEDE QORQUD": MANİFESTATİONS OF ARTİSTİC LYRİCİSM İN WORD, MEANİNG, AND STYLE 558
QARABAĞ UĞRUNDA SÖZLƏ DÖYÜŞƏN ŞAİR 574
A POET FIGHTING WITH WORDS FOR KARABAK 575
TƏRBİYƏ PROSESİNDƏ GENDER İDENTİKLİYİNİN NƏZƏRƏ ALINMASININ ÜSTÜNLÜKLƏRİ 583
THE BENEFITS OF CONSIDERING GENDER IDENTITY IN THE EDUCATIONAL PROCESS 596
MİRZƏ İBRAHİMOVUN HƏYATI VƏ HEKAYƏ YARADICILIĞI 597
THE LİFE AND STORY CREATİVİTY OF MİRZA IBRAHİMOV 597
ZOOM YORGUNLUĞUNUN DİL KÜLTÜRÜNE ETKİSİ 602
THE IMPACT OF ZOOM FATIGUE ON LANGUAGE CULTURE 604
NİZAMİ GƏNCƏVİNİN "SİRLƏR XƏZİNƏSİ" POEMASINDA "DÜNYANIN MƏŞƏQQƏTİ" (XIII SÖHBƏT) BÖLMƏSİNİN NƏZƏRİ TƏHLİLİ 606
A THEORETİCAL ANALYSİS OF THE SECTİON "THE TRİBULATİONS OF THE WORLD" (13TH DİSCOURSE) İN NİZAMİ GANJAVİ'S POEM *THE TREASURY OF MYSTERİES* 607
LİNQVİSTİK TƏHLİLİN FƏNDAXİLİ VƏ FƏNLƏRARASI İNTEQRASİYANIN 610
QURULMASINDA ROLU 610
THE ROLE OF LINGUISTIC ANALYSIS IN BUILDING INTERDISCIPLINARY AND INTERDISCIPLINARY INTEGRATION 611
"İNTİBAH" ROMANI TÜRK ƏDƏBİYYATININ BƏDİİ NÜMUNƏSİ KİMİ 612

KOLİSTİN KAYNAKLI DENEYSEL BÖBREK HASAR MODELİNDE İNCELENEN BAZI İMMÜNOHİSTOKİMYASAL PARAMETRELER

Doç. Dr., Nurhan AKARAS

Aksaray Üniversitesi, Tıp Fakültesi , Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı, Aksaray, TÜRKİYE,

nurhanakaras@aksaray.edu.tr, 0000-0002-8457-9448

Özet

Kolistin, çoklu ilaç dirençli Gram-negatif bakteriyel enfeksiyonların tedavisinde özellikle diğer antibiyotik seçeneklerinin sınırlı olduğu durumlarda kullanılan önemli bir antibiyotiktir. Bununla birlikte, klinik kullanımını kısıtlayan en önemli yan etkilerinden biri nefrotoksisitedir. Kolistin kaynaklı böbrek hasarının temelinde oksidatif stres, inflamatuvar yanıt, mitokondriyal fonksiyon bozukluğu, hücresel apoptoz ve tübüler hasar gibi çok sayıda mekanizmanın rol oynadığı bildirilmektedir. Bu nedenle kolistin kaynaklı deneysel böbrek hasarı modellerinde histopatolojik değişikliklerin yanı sıra, hasarın hücresel ve moleküler mekanizmalarını ortaya koymak amacıyla immünohistokimyasal belirteçlerin değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, kolistin uygulaması ile oluşturulan deneysel böbrek hasarı modelinde böbrek dokusunda meydana gelen hücresel ve moleküler değişikliklerin çeşitli immünohistokimyasal parametreler aracılığıyla değerlendirilmesini incelemektir. Kolistin uygulamasına bağlı olarak böbrek dokusunda inflamasyon, oksidatif stres ve apoptotik süreçlerle ilişkili immünreaktivitede artış; antioksidan savunma ve hücresel koruyucu mekanizmalarla ilişkili belirteçlerde ise değişiklikler meydana gelmesi beklenmektedir. Deneysel modelde kolistin uygulanan hayvanlardan elde edilen böbrek dokuları histopatolojik incelemenin yanı sıra immünohistokimyasal yöntemlerle değerlendirilebilir. İmmünohistokimyasal bulguların histopatolojik değerlendirmeler ile birlikte ele alınması, kolistin nefrotoksisitesinin mekanizmalarının daha ayrıntılı biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayabilir. Sonuç olarak, immünohistokimyasal belirteçlerin kullanılması kolistin kaynaklı böbrek hasarının erken dönemde ortaya çıkan hücresel değişikliklerinin belirlenmesi ve nefrotoksisite mekanizmalarının anlaşılması açısından önemli bir araştırma yaklaşımı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Apoptoz, böbrek hasarı, immünohistokimya, kolistin

SOME IMMUNOHISTOCHEMICAL PARAMETERS EXAMINED IN THE COLISTIN-INDUCED EXPERIMENTAL KIDNEY INJURY MODEL

Assoc. Prof. Dr., Nurhan AKARAS

Department of Histology and Embryology, Faculty of Medicine, Aksaray University, Aksaray, TURKEY,

nurhanakaras@aksaray.edu.tr, 0000-0002-8457-9448

Abstract

Colistin is a crucial antibiotic used to treat multidrug-resistant Gram-negative bacterial infections, particularly when other antibiotic options are limited. However, nephrotoxicity is one of the primary side effects limiting its clinical use. Numerous mechanisms—including oxidative stress, inflammatory response, mitochondrial dysfunction, cellular apoptosis, and tubular damage—are reported to underlie colistin-induced renal injury. Therefore, in experimental models of colistin-induced renal injury, it is important to evaluate immunohistochemical markers alongside histopathological changes to elucidate the cellular and molecular mechanisms of the damage. This study aims to examine the cellular and molecular changes occurring in renal tissue within an experimental model of colistin-induced renal injury by assessing various immunohistochemical parameters. Colistin administration is expected to lead to increased immunoreactivity associated with inflammation, oxidative stress, and apoptotic processes in renal tissue, as well as alterations in markers related to antioxidant defense and cellular protective mechanisms. In the experimental model, renal tissues obtained from colistin-treated animals can be evaluated using immunohistochemical methods in addition to histopathological examination. Integrating immunohistochemical findings with histopathological assessments may contribute to a more detailed elucidation of the mechanisms underlying colistin nephrotoxicity. In conclusion, the use of immunohistochemical markers offers a significant research approach for identifying early-stage cellular changes associated with colistin-induced renal injury and for understanding the mechanisms of nephrotoxicity.

Keywords: Apoptosis, colistin, immunohistochemistry, renal injury,

GİRİŞ

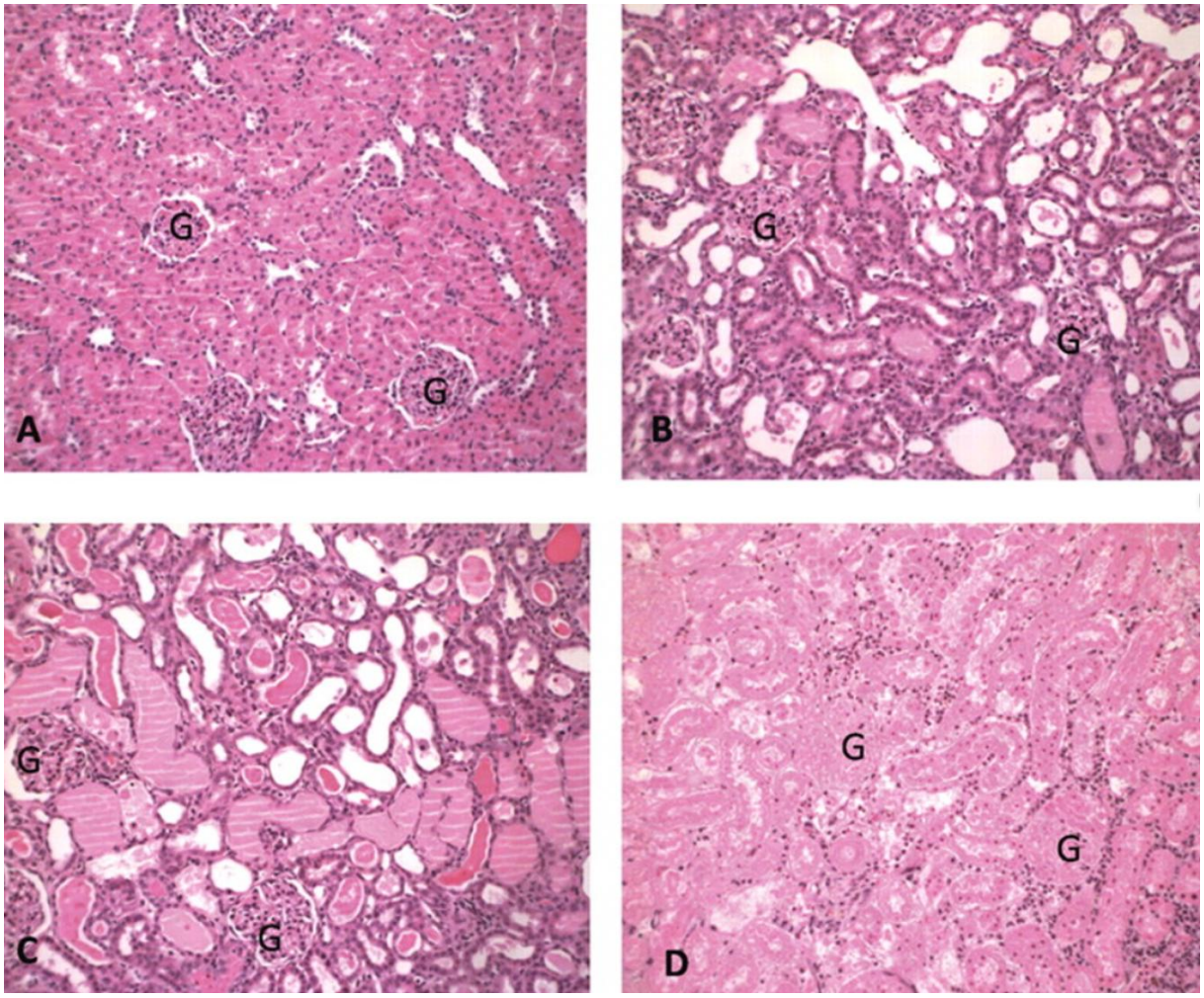
Kolistin (veya polimiksin E), Japonya'da Koyama (Koyama, 1950) tarafından *Bacillus polymyxa* var. *colistinus*'tan izole edilmiştir. Kimyasal açıdan bakıldığında kolistin, polimiksin B ile ortak bir yapısal iskeleti paylaşır: Amino ucundan bir yağ asidi kuyruğu ile açillenmiş bir tripeptit yan zincirine sahip, halkalı bir heptapeptitdir. Polimiksin B'de 6. konumda D-fenilalanin bulunurken, kolistinde bu konumda D-lösin yer alır. Kolistin, bakterisidal etkilerini esas olarak Gram-negatif bakterilerin hücre zarı bütünlüğünü bozarak gösterir; lipopolisakkarit (LPS) ile elektrostatik etkileşim ve katyonik yer değiştirme (Ca++ ve Mg++) yoluyla zarın stabilitesini sarsıp geçirgenliğini artırır, bu da hücre içeriğinin sızmasına ve hücre ölümü yollarının tetiklenmesine yol açar. Kolistinin diğer bakterisidal mekanizmaları arasında gram-negatif bakterilerin endotoksini olan LPS'nin nötralizasyonu ve/veya bakteriyel solunumun inhibisyonu yer alabilir (Yu ve ark. 2015; Deris ve ark. 2014).

Klinik uygulamada kolistin, inaktif bir ön ilaç olan sodyum kolistin metansülfonat (CMS) formunda parenteral yolla verilir; CMS, vücut içinde (in vivo), CMS'den daha toksik olan aktif antibakteriyel ajan kolistine dönüşür (Bergen ve ark.2026; Lİ ve ark. 2005). CMS uygulaması, hem deney hayvanlarında hem de insanlarda nefrotoksisite ile ilişkilendirilmiştir. Günümüzde önerilen CMS dozaj rejimlerini alan hastalarda nefrotoksisite oranları sıklıkla %45 ila %55 civarındadır (Yousef ve ark. 2011). Kolistine bağlı nefrotoksisitenin mekanizması henüz tam olarak bilinmemekle birlikte, bu durumun CMS'nin toplam dozu ve tedavi süresiyle ilişkili olduğu ve genellikle tedavinin kesilmesiyle geri döndüğü görülmektedir (Wallace ve ark. 2008; Hartzell ve ark. 2009). Geri döndürülebilir olmasına rağmen nefrotoksisite, günümüzde CMS'nin klinik kullanımını etkileyen ve dozu sınırlayan önemli bir advers etkidir

Kolistin Kaynaklı Nefrotoksisite Modellerinde Histopatolojik ve İmmunohistokimyasal Belirteçler

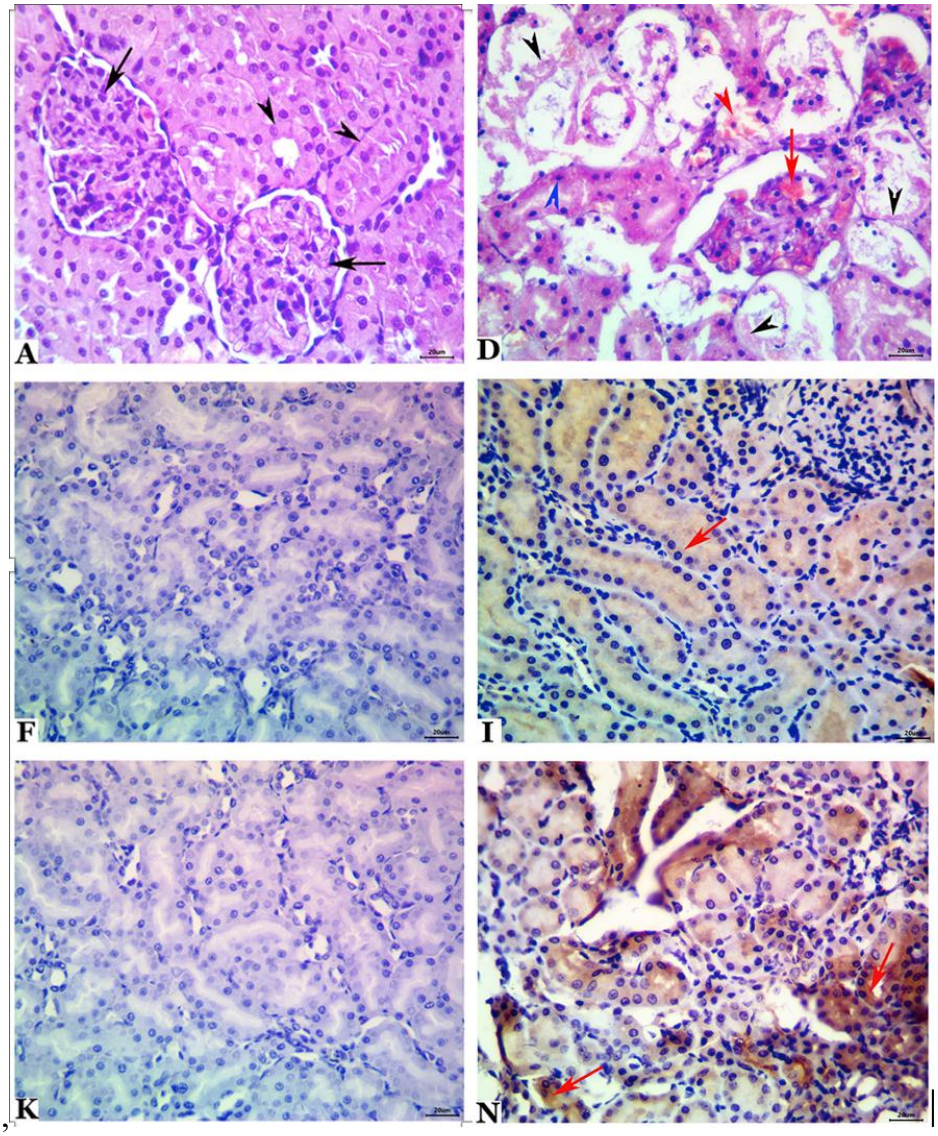
Kolistin nefrotoksisitesinin klinik belirtileri arasında kreatinin klirensinde azalmanın yanı sıra potansiyel proteinüri, silindirüri (idrarda silindirlerin varlığı) veya oligüri (düşük idrar çıkışı) yer alır (Yousef ve ark. 2011). Bununla birlikte, hayvan modellerinde kapsamlı bir şekilde rapor edilen kolistin tedavisiyle ilişkili histolojik anormalliklerin değerlendirilmesi klinik ortamda uygulanabilir olmasa da kolistin nefrotoksisitesini teşhis etmenin en doğru yolu gibi görünmektedir. 7 gün boyunca kolistin uygulanan sıçanların böbreklerinde; enflamatuar yanıt veya fibröz skarlaşma bulgusu olmaksızın tübüler dilatasyon, epitel hücre vakuolizasyonu ve çok sayıda silindir içeren tübüler epitel hücre nekrozu gözlenir (Ghlissi ve ark. 2013). Kolistin nefrotoksisitesinin erken tespiti için en iyi biyobelirtece ilişkin veriler sınırlıdır.

Hematoksilen-Eosin



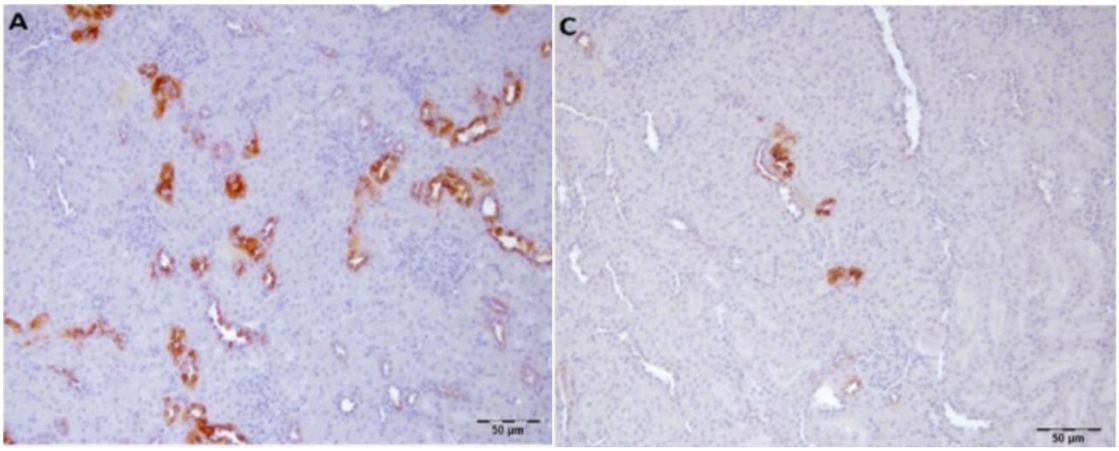
Şekil 1. Normal renal korteks (A); tübüler dilatasyon, belirgin çekirdekler ve az sayıda soluk tübüler silindir ile birlikte hafif akut tübüler hasar ve evre 1 lezyonlar gösteren kolistin grubu sıçan böbreği (B); tübüler epitel hücrelerinde nekroz ve çok sayıda tübüler silindir ile birlikte şiddetli akut tübüler hasar ve evre 2 lezyonlar gösteren kolistin grubu sıçan böbreği (C); tübüller ve glomerüllerde nekroz ve/veya enfarktüs ile seyreden akut kortikal nekroz ve evre 3 lezyonlar gösteren kolistin grubu sıçan böbreği (D) (Yousef ve ark. 2011).

Kaspaz-3 ve Bcl-2



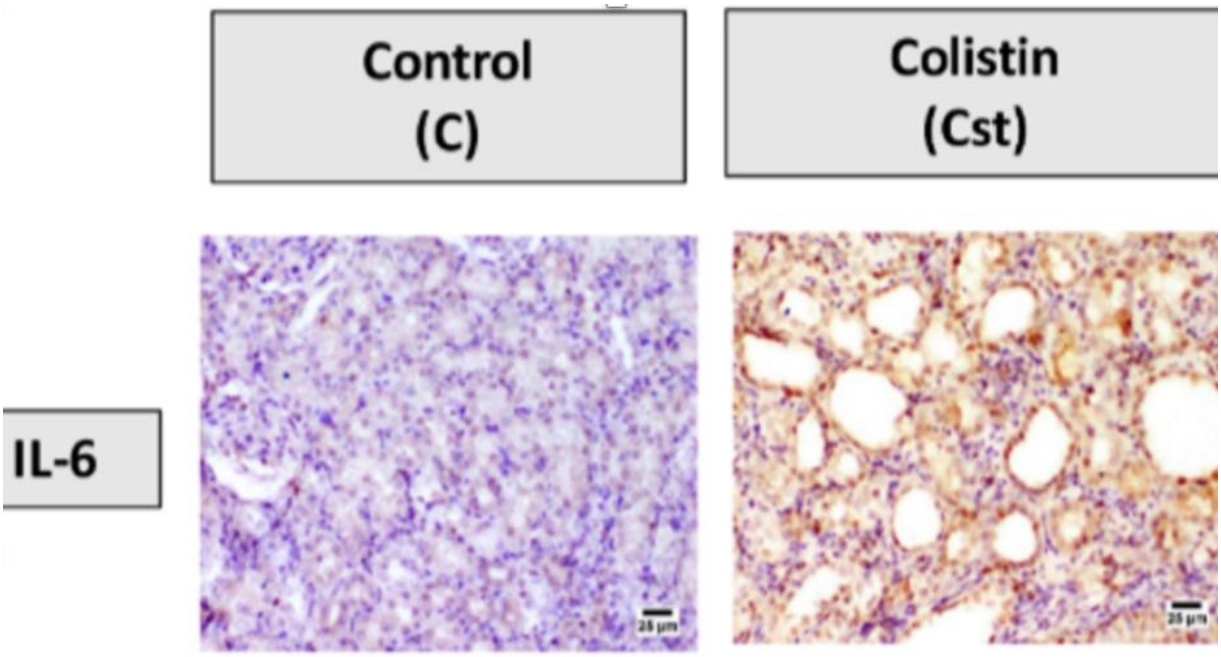
Şekil 2. Kontrol (A) glomerüllerin (oklar) ve renal tübüllerin (ok başları) normal histolojik yapısını gösteren H&E boyalı renal kesitlerin fotomikrografı. Kolistin uygulanan sıçanlarda vasküler konjesyon (kırmızı ok), damar dışına çıkmış eritrositler (kırmızı ok başı), interstisyel mononükleer hücre infiltrasyonu (mavi ok), perivasküler ödem (mavi ok başı), tübüler silendirler (siyah ok) (D). Bcl-2 (kırmızı oklar) immünoekspresyonunu gösteren renal doku fotomikrografları: kontrol grubunda negatif (F), kolistin uygulanan grupta hafif (I). Kaspaz-3 (kırmızı oklar) immünoekspresyonunu gösteren renal doku fotomikrografları: kontrol (K) ve kolistin uygulanan grupta orta düzeyde (N) (Edrees ve ark. 2018).

Kalbindin D28K ve Sistatin C



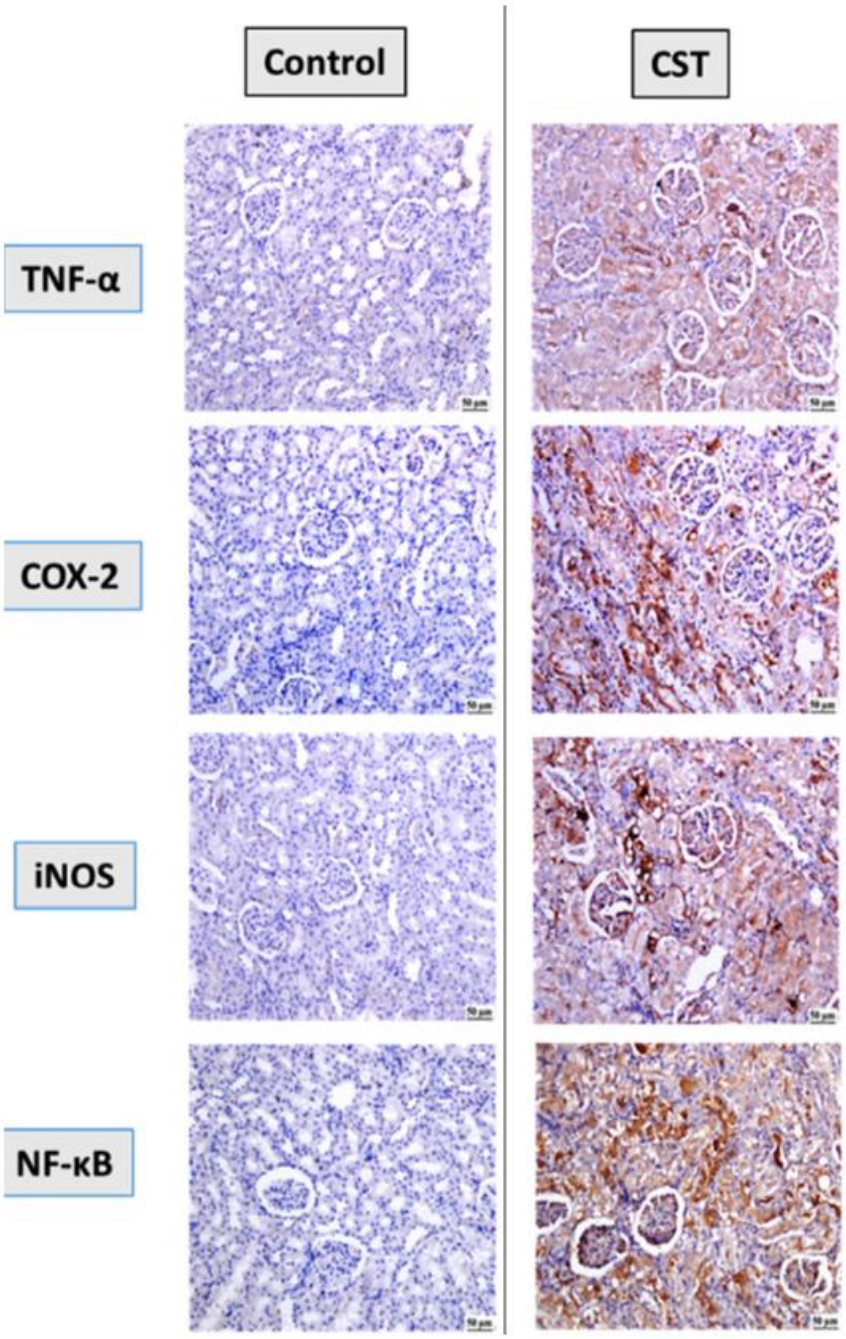
Şekil 3. Sıçan böbrek kesitlerinde kalbindin D28K ve sistatin C immünopozitifliği. (A) Kontrol grubunda yoğun kalbindin D28K (kahverengi renkli) ve hafif sistatin C (kırmızı renkli) immünopozitifliği. (C) Kolistin grubunda hafif kalbindin D28K (kahverengi renkli) ve sistatin C (kırmızı renkli immünopozitifliği (Hanedan ve ark. 2018).

IL-6



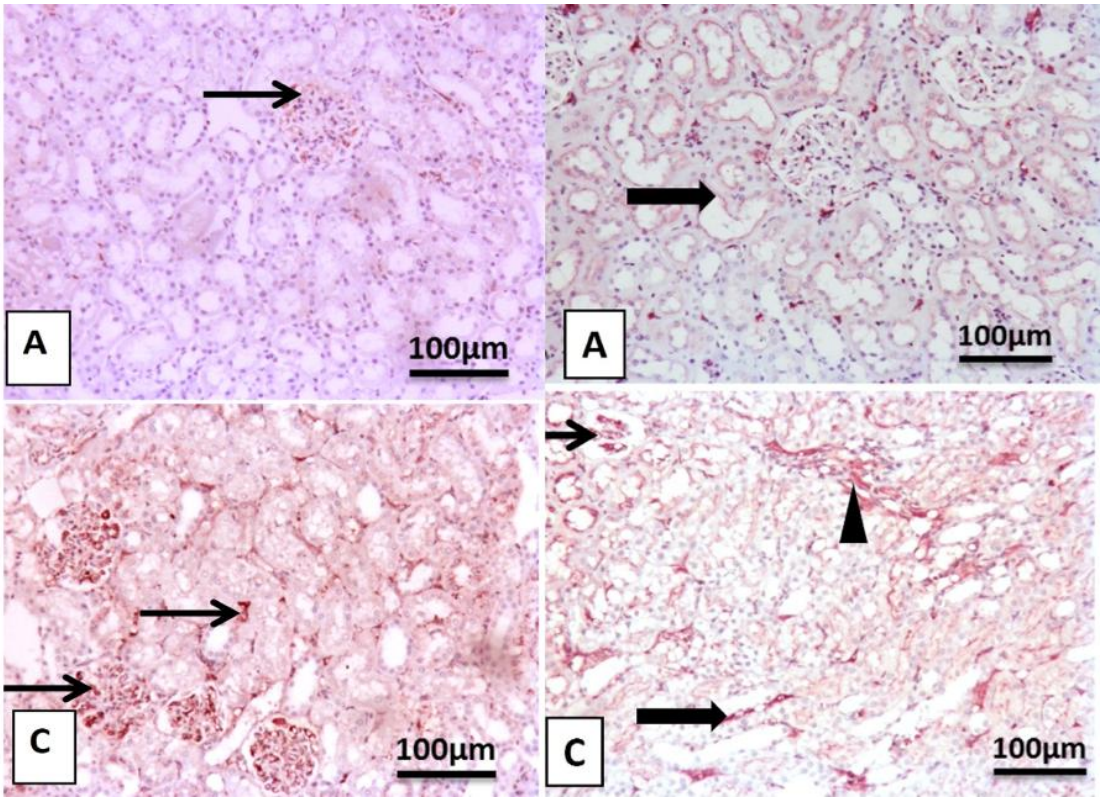
Şekil 4. Kolistin' in IL-6 ekspresyonu üzerindeki etkisi (Nasrullah ve ark. 2022).

TNF-α, COX-2, iNOS ve NF-κB



Şekil 5. Kolistin (CST)' in tümör nekroz faktörü-alfa (TNF-α), siklooksijenaz-2 (COX-2), indüklenebilir nitrik oksit sentaz (iNOS) ve nükleer faktör-kappa B (NF-κB) gibi inflamasyon belirteçlerinin immünohistokimyasal reaktivitesi üzerindeki etkileri (Nasrullah ve ark. 2025).

LC3B ve P62



Şekil 6. LC3B ve P62 ekspresyonunun kontrol (A) ve Kolistin (C) gruplarında görüntüsü (Taha ve ark.2024)

SONUÇ

Sonuç olarak, kolistin uygulamasının böbrek dokusunda tübüler hasar, oksidatif stres, inflamasyon ve apoptoz ile ilişkili immünohistokimyasal değişikliklere yol açabileceği; incelenen immünohistokimyasal parametrelerin kolistin kaynaklı renal hasarın ortaya konulması ve hasarın altında yatan hücresel mekanizmaların değerlendirilmesinde önemli göstergeler olabileceği düşünülmektedir. Bu bulgular, kolistin nefrotoksisitesinin yalnızca histopatolojik değişikliklerle değil, aynı zamanda inflamatuvar, oksidatif ve apoptotik süreçlerin birlikte değerlendirilmesiyle daha kapsamlı şekilde ortaya konulabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Bergen, P. J., Li, J., Rayner, C. R., & Nation, R. L. (2006). Colistin methanesulfonate is an inactive prodrug of colistin against Pseudomonas aeruginosa. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, *50*(6), 1953-1958.

Deris, Z. Z., Akter, J., Sivanesan, S., Roberts, K. D., Thompson, P. E., Nation, R. L., ... & Velkov, T. (2014). A secondary mode of action of polymyxins against Gram-negative bacteria involves the inhibition of NADH-quinone oxidoreductase activity. *The Journal of antibiotics*, *67*(2), 147-151.

Edrees, N. E., Galal, A. A., Monaem, A. R. A., Beheiry, R. R., & Metwally, M. M. (2018). Curcumin alleviates colistin-induced nephrotoxicity and neurotoxicity in rats via attenuation of oxidative stress, inflammation and apoptosis. *Chemico-biological interactions*, *294*, 56-64.

Ghlissi, Z., Hakim, A., Mnif, H., Ayadi, F. M., Zeghal, K., Rebai, T., & Sahnoun, Z. (2013). Evaluation of colistin nephrotoxicity administered at different doses in the rat model. *Renal failure*, *35*(8), 1130-1135.

Hanedan, B., Ozkaraca, M., Kirbas, A., Kandemir, F. M., Aktas, M. S., Kilic, K., ... & Bilgili, A. (2018). Investigation of the effects of hesperidin and chrysin on renal injury induced by colistin in rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *108*, 1607-1616.

Hartzell, J. D., Neff, R., Ake, J., Howard, R., Olson, S., Paolino, K., ... & Wortmann, G. (2009). Nephrotoxicity associated with intravenous colistin (colistimethate sodium) treatment at a tertiary care medical center. *Clinical infectious diseases*, *48*(12), 1724-1728.

Koyama, Y. (1950). A new antibiotic'Colistin'produced by spore-foeming soil bacteria. *J. antibiotics*, *3*, 457-458.

Li, J., Nation, R. L., Milne, R. W., Turnidge, J. D., & Coulthard, K. (2005). Evaluation of colistin as an agent against multi-resistant Gram-negative bacteria. *International journal of antimicrobial agents*, *25*(1), 11-25.

Nasrullah, M. Z., Eljaaly, K., Neamatallah, T., Fahmy, U. A., Alamoudi, A. J., Bakhsh, H. T., & Abdel-Naim, A. B. (2022). Omeprazole prevents colistin-induced nephrotoxicity in rats: emphasis on oxidative stress, inflammation, apoptosis and colistin accumulation in kidneys. *Pharmaceuticals*, *15*(7), 782.

Nasrullah, M. Z., Fahmy, U. A., Abdel-Naim, A. B., Babekir, E. Y., Alhothaly, A. H., Elmesilhy, A. M., ... & Hofni, A. (2025). Celastrol Mitigates Colistin-Induced Renal Toxicity in Rats via Modulating Nrf-2/HO-1 and NF-κB Signaling Pathways. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, *39*(12), e70641.

Taha, M., Abdelbagi, O., Baokbah, T. A., Bagadood, R. M., Jalal, N. A., Obaid, R., ... & Qusty, N. F. (2024). Insights into the protective effect of omega-3 nanoemulsion against colistin-induced nephrotoxicity in experimental rats: regulation of autophagy and necroptosis via AMPK/mTOR and RIPK1/RIPK3/MLKL signaling pathways. *Renal Failure*, *46*(2), 2429686.

Wallace, S. J., Li, J., Nation, R. L., Rayner, C. R., Taylor, D., Middleton, D., ... & Turnidge, J. D. (2008). Subacute toxicity of colistin methanesulfonate in rats: comparison of various intravenous dosage regimens. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, *52*(3), 1159-1161.

Yousef, J. M., Chen, G., Hill, P. A., Nation, R. L., & Li, J. (2011). Melatonin attenuates colistin-induced nephrotoxicity in rats. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, *55*(9), 4044-4049.

Yu, Z., Qin, W., Lin, J., Fang, S., & Qiu, J. (2015). Antibacterial mechanisms of polymyxin and bacterial resistance. *BioMed research international*, *2015*(1), 679109.

BORTEZOMİB KAYNAKLI SİYATİK SİNİR HASARINA İMMÜNOHİSTOKİMYASAL YAKLAŞIM

Doç. Dr., Nurhan AKARAS

Aksaray Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı, Aksaray, TÜRKİYE,

nurhanakaras@aksaray.edu.tr, 0000-0002-8457-9448

Özet

Bortezomib, özellikle hematolojik malignitelerin tedavisinde yaygın olarak kullanılan bir proteazom inhibitörü olup, antikanser etkinliğinin yanı sıra çeşitli nörolojik yan etkilere neden olabilmektedir. Bortezomib tedavisinin klinik açıdan önemli komplikasyonlarından biri periferik nöropatidir. Bortezomib kaynaklı periferik nöropati; ağrı, parestezi, uyuşma ve duyu kayıpları gibi semptomlarla seyredebilmekte ve tedavi sürecinde hastaların yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nörotoksik etkinin altında yatan hücresel ve moleküler mekanizmaların tam olarak aydınlatılması, bortezomib kaynaklı sinir hasarının önlenmesi ve tedavisine yönelik yeni yaklaşımların geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Deneysel hayvan modelleri, bortezomibin periferik sinir dokusu üzerindeki etkilerinin histopatolojik ve immünohistokimyasal düzeyde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bortezomibin proteazom aktivitesini inhibe etmesi sonucunda hücre içi protein homeostazının bozulması, oksidatif stresin artması, mitokondriyal fonksiyonların etkilenmesi ve nöroinflamatuvar süreçlerin tetiklenmesi periferik sinir hasarının oluşumunda rol oynayabilecek mekanizmalar arasında değerlendirilmektedir. Özellikle uzun ve metabolik açıdan yüksek gereksinime sahip periferik sinir liflerinin bu değişikliklere duyarlı olabileceği düşünülmektedir. Siyatik sinir, periferik sinir hasarının deneysel olarak değerlendirilmesinde anatomik özellikleri ve kolay diseksiyon edilebilmesi nedeniyle sık kullanılan modellerden biridir.

Sonuç olarak, bortezomib kaynaklı siyatik sinir hasarının yalnızca histopatolojik değişiklikler üzerinden değil, aynı zamanda nöronal hasar, miyelin bütünlüğü, inflamasyon, apoptotik süreçler ve hücresel stres açısından immünohistokimyasal olarak değerlendirilmesi, bortezomibin nörotoksik etkilerinin altında yatan mekanizmaların daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Bortezomib, Nörotoksisite, Siyatik Sinir

IMMUNOHİSTOCHEMİCAL APPROACH TO BORTEZOMİB-INDUCED SCİATİC NERVE DAMAGE

Assoc. Prof. Dr., Nurhan AKARAS

Department of Histology and Embryology, Faculty of Medicine, Aksaray University, Aksaray, TURKEY, nurhanakaras@aksaray.edu.tr, 0000-0002-8457-9448

Abstract

Bortezomib is a proteasome inhibitor widely used, particularly in the treatment of hematological malignancies; however, alongside its anticancer efficacy, it can cause various neurological side effects. Peripheral neuropathy is one of the clinically significant complications of bortezomib therapy. Bortezomib-induced peripheral neuropathy can manifest with symptoms such as pain, paresthesia, numbness, and sensory loss, potentially adversely affecting patients' quality of life during treatment. Fully elucidating the cellular and molecular mechanisms underlying this neurotoxic effect is crucial for developing new approaches to prevent and treat bortezomib-induced nerve damage. Experimental animal models enable the assessment of bortezomib's effects on peripheral nerve tissue at histopathological and immunohistochemical levels. Mechanisms potentially involved in the development of peripheral nerve damage include the disruption of intracellular protein homeostasis, increased oxidative stress, impaired mitochondrial function, and the triggering of neuroinflammatory processes resulting from bortezomib's inhibition of proteasome activity. It is hypothesized that peripheral nerve fibers—particularly those that are long and have high metabolic demand may be especially susceptible to these changes. The sciatic nerve is a frequently used model for the experimental assessment of peripheral nerve damage due to its anatomical characteristics and ease of dissection.

In conclusion, evaluating bortezomib-induced sciatic nerve damage not only through histopathological changes but also via immunohistochemical assessment of neuronal damage, myelin integrity, inflammation, apoptotic processes, and cellular stress may contribute to a more comprehensive understanding of the mechanisms underlying the neurotoxic effects of bortezomib.

Keywords: Bortezomib, Neurotoxicity, Sciatic Nerve

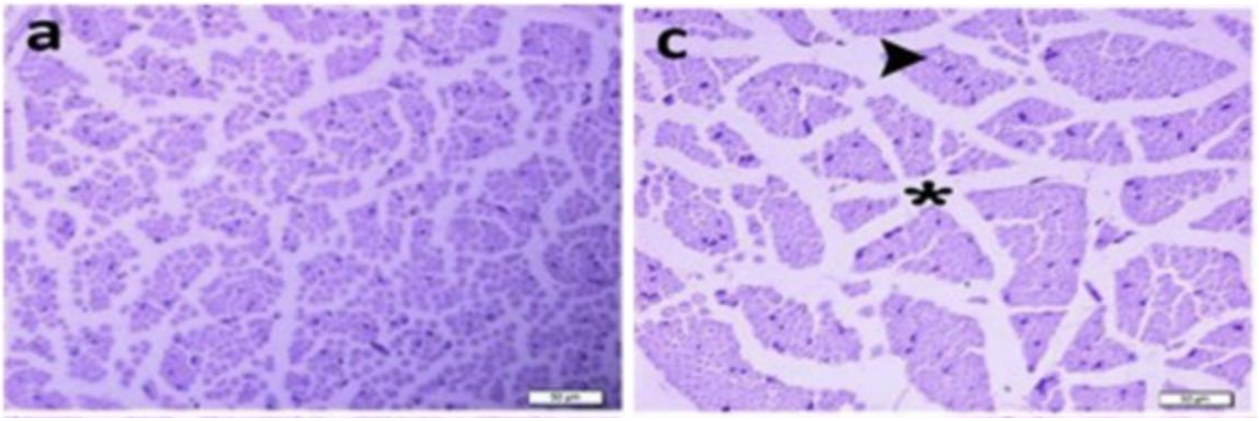
GİRİŞ

Kemoterapiye bağlı periferik nöropati (CIPN), kanser kemoterapisinin yaygın ve doz sınırlayıcı bir komplikasyonu olup, aksi takdirde başarılı olacak bir tedavinin dozunun azaltılmasına veya tedavinin sonlandırılmasına sıkça yol açan bir nedendir (Paice, 2010; Windebank ve Grisold, 2008). Önerilen düzeyleri aşan dozlarla uygulanan agresif tedaviler CIPN insidansını büyük ölçüde artırmaktadır; ayrıca diyabet veya daha önce alınan kemoterapi gibi nedenlerle halihazırda semptomatik veya asemptomatik sinir hasarı bulunan hastalar daha yüksek risk altındadır (Argyriou ve ark., 2012; Cavaletti and Jakubowiak, 2010; Lanzani ve ark., 2008). Sıçanlarda yürütülen CIPN (kemoterapiye bağlı periferik nöropati) çalışmaları, farklı antikanser mekanizmalarına sahip kemoterapötiklerin birbirine çok benzer kronik ağrılı periferik nöropatilere yol açtığını da ortaya koymaktadır (Xiao ve Bennett, 2012; Zheng ve ark., 2011). CIPN için mitotoksisite hipotezinin ortaya atılmıştır. Söz konusu hipotez; primer afferent duyusal nöronlardaki mitotoksik etkinin kalıcı bir enerji açığına yol açtığını ve bu durumun, duyusal afferentlerin epidermis içindeki uç dallanmalarında (en yüksek enerji gereksinimine sahip nöronal bölme olan intraepidermal sinir lifleri - IENF) spontan deşarja ve dejenerasyona neden olduğunu öne sürmektedir (Bennett ve ark., 2011; Flatters ve Bennett, 2006;; Jin ve ark., 2008; Siau ve ark., 2006).

Bortezomib, multipl miyelom tedavisinde kemoterapide yaygın olarak kullanılan bir proteazom inhibitörüdür. Bortezomibin en öenmli yan etkisi, sıklıkla şiddetli periferik nöropatiye yol açması ve bu nedenle doz sınırlayıcı bir özellik taşımasıdır. Bortezomib kaynaklı periferik nöropati (BIPN), hastaların %35–52'sinde görülür (hastaların %8–14'ünde ≥3. derece) ve başlıca hipoestezi ve ağrılı parestezi ile karakterizedir (Richardson, ve ark. 2006; Cavaletti ve Jakubowiak, 2010; Corso ve ark. 2010). Biyokimyasal ve moleküler analizler ile BINP' in altında yatan mekanizmalar açığa kavuşturulmaya çalışılsada histopatolojik ve immunohistokimyasal analizler bu mekanizmaların tam olarak anlaşılmasında önemli ölçüde katkı sunacaktır. Sunulan çalışmada Bortezomib kaynaklı siyatik sinir hasarında kulllanılan bazı histopatolojik ve immünohistokimyasal parametreler gösterilmiştir.

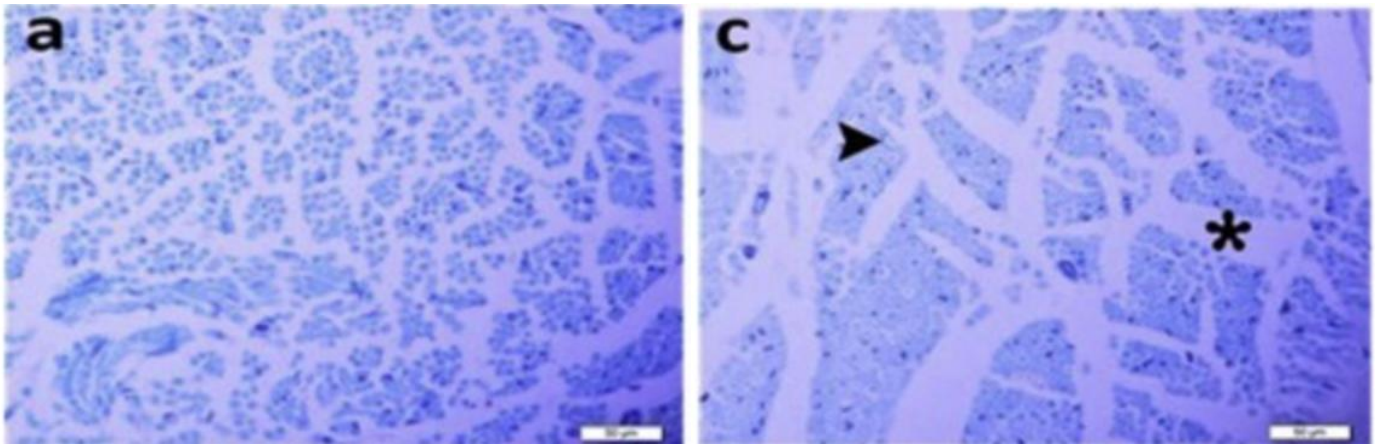
Bortezomib Kaynaklı Siyatik Sinir Hasarında Histopatoloji ve İncelenen Bazı İmmünohistokimyasal Parametreler

Hematoksilen-Eosin



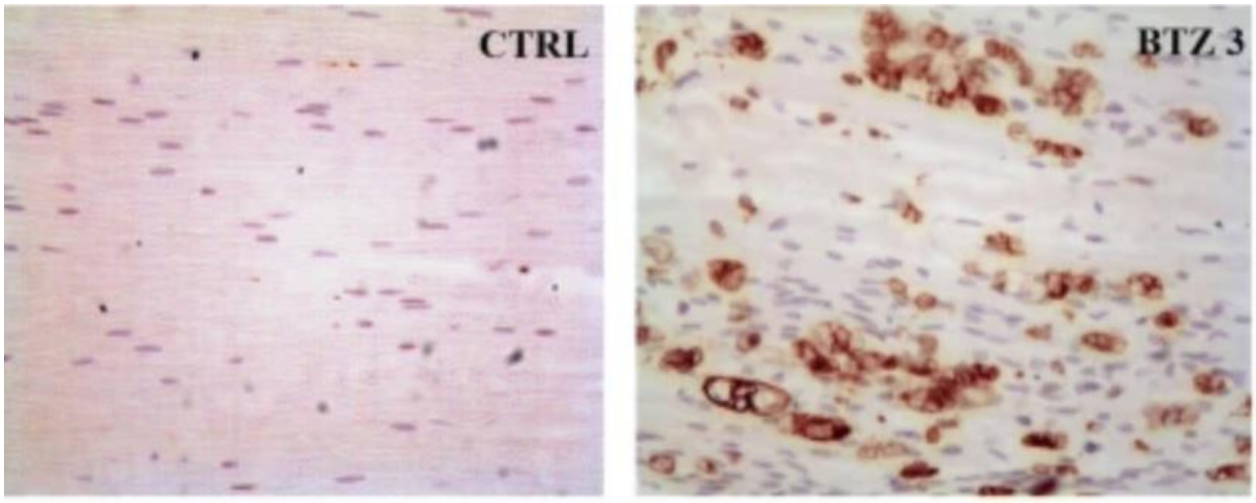
Şekil 1. Kontrol (A) ve Bortezomib (C) gurubu siyatik sinirin hematoksilen-eosin ile boyanmış histopatolojik görünümü (Yardım ve ark. 2022).

Toluidin Mavisi



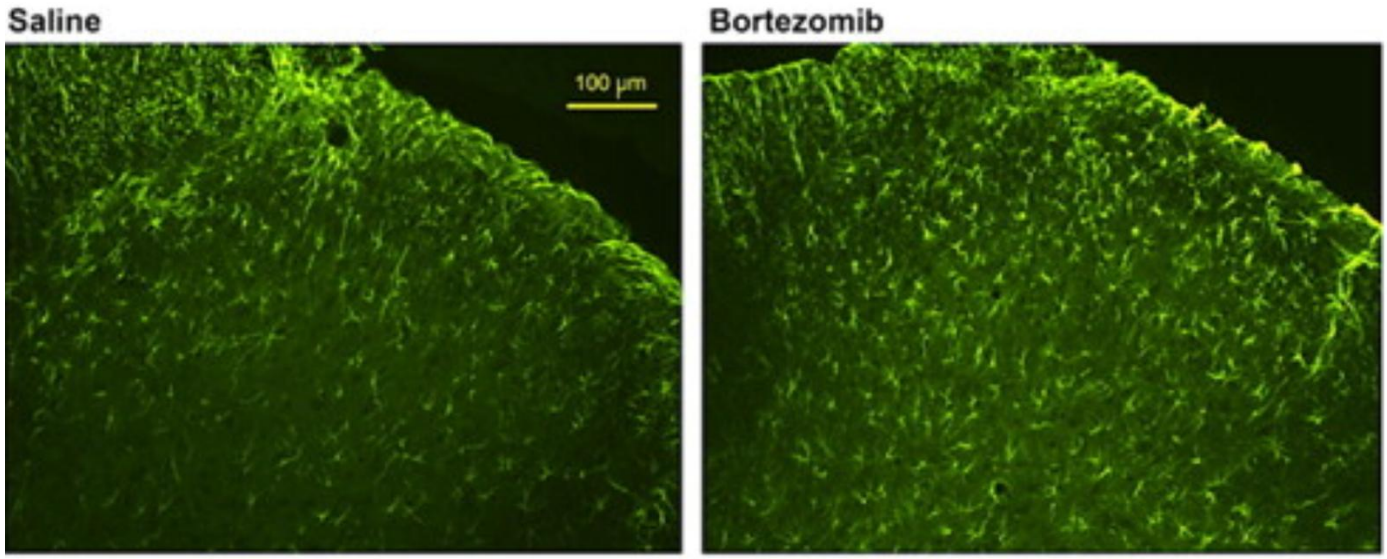
Şekil 2. Kontrol (A) ve Bortezomib (C) gurubu siyatik sinirin Toluidin Mavisi ile boyanmış histopatolojik görünümü (Yardım ve ark. 2022).

CD68



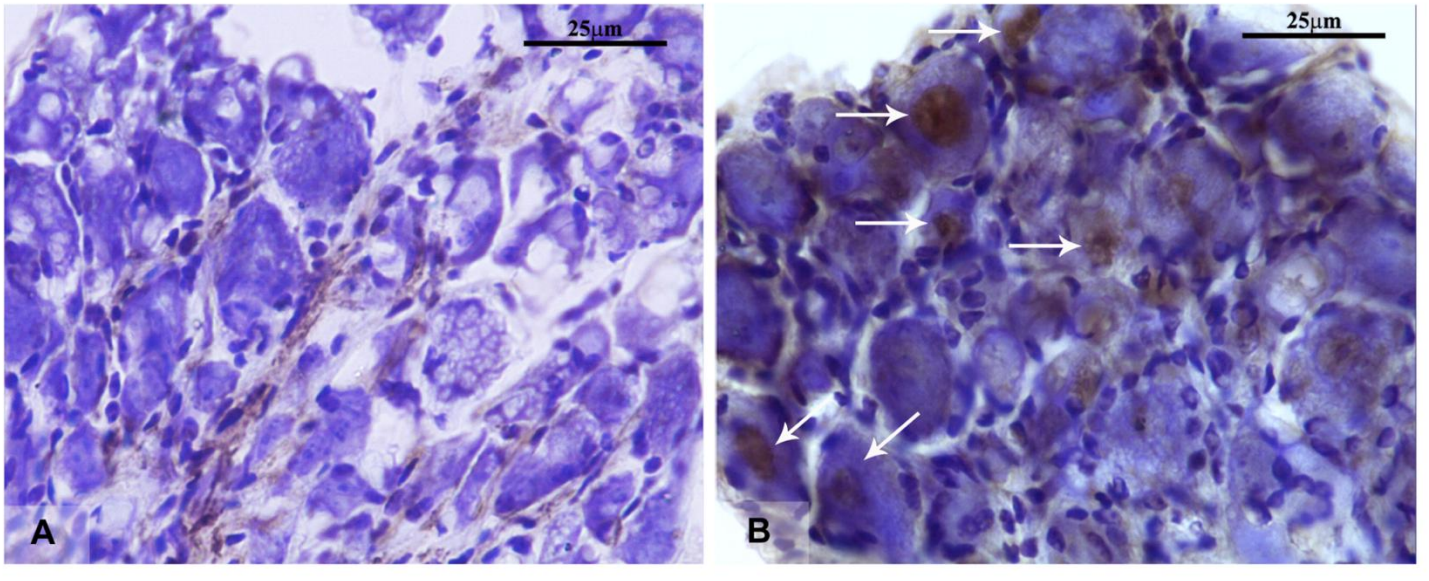
Şekil 3. Bortezomib' in siyatik sinir CD 68 ekspresyonu üzerine etkisi (Meregalli ve ark. 2018)

GFAP



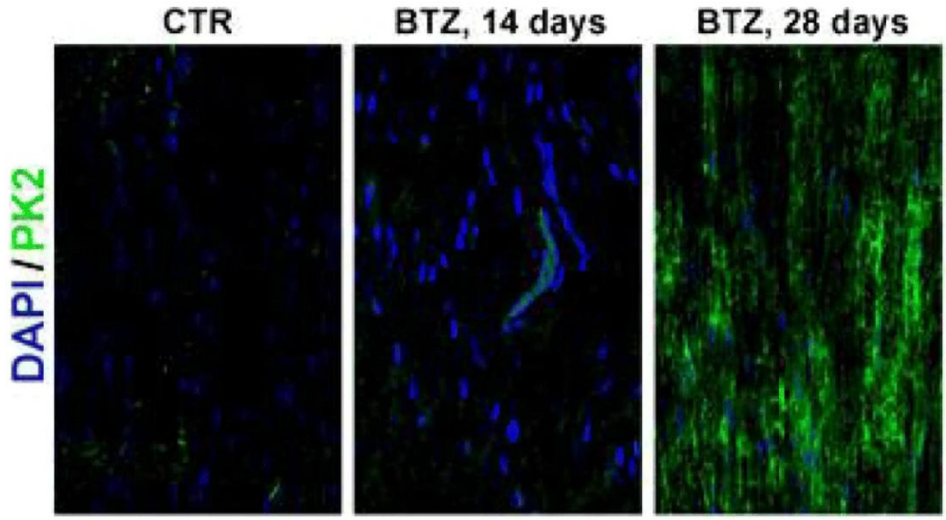
Şekil 4. Bortezomib' in siyatik sinir GFAP ekspresyonu üzerine etkisi (Robinson ve Dougherty. 2015).

ATF6



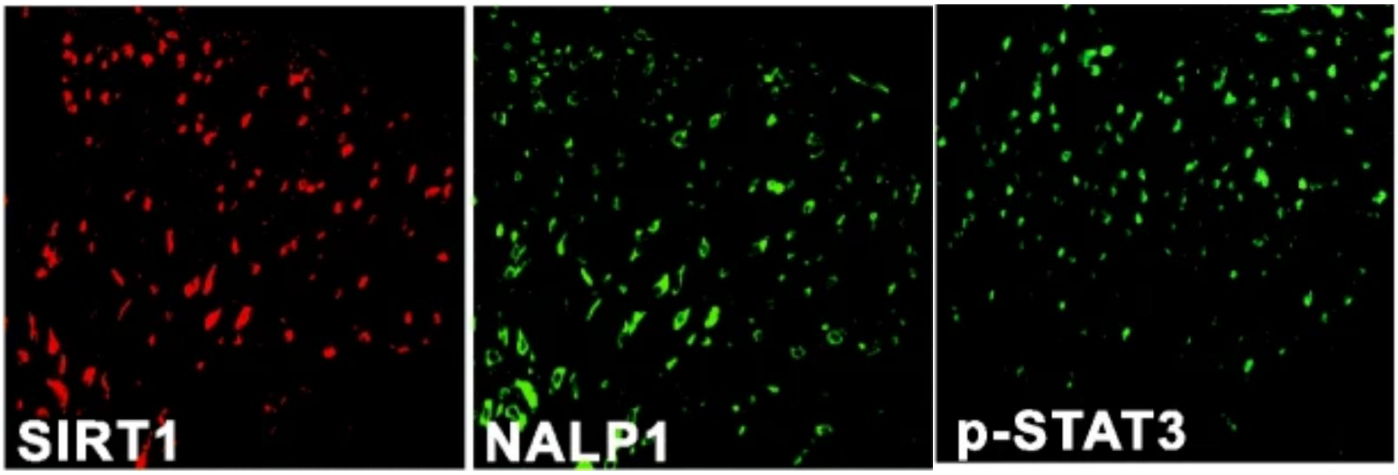
Şekil 5. Bortezomib' in siyatik sinir ATF ekspresyonu üzerine etkisi (A: kontrol, B: Bortezomib, (Carozzi v e ark. 2013).

PK2



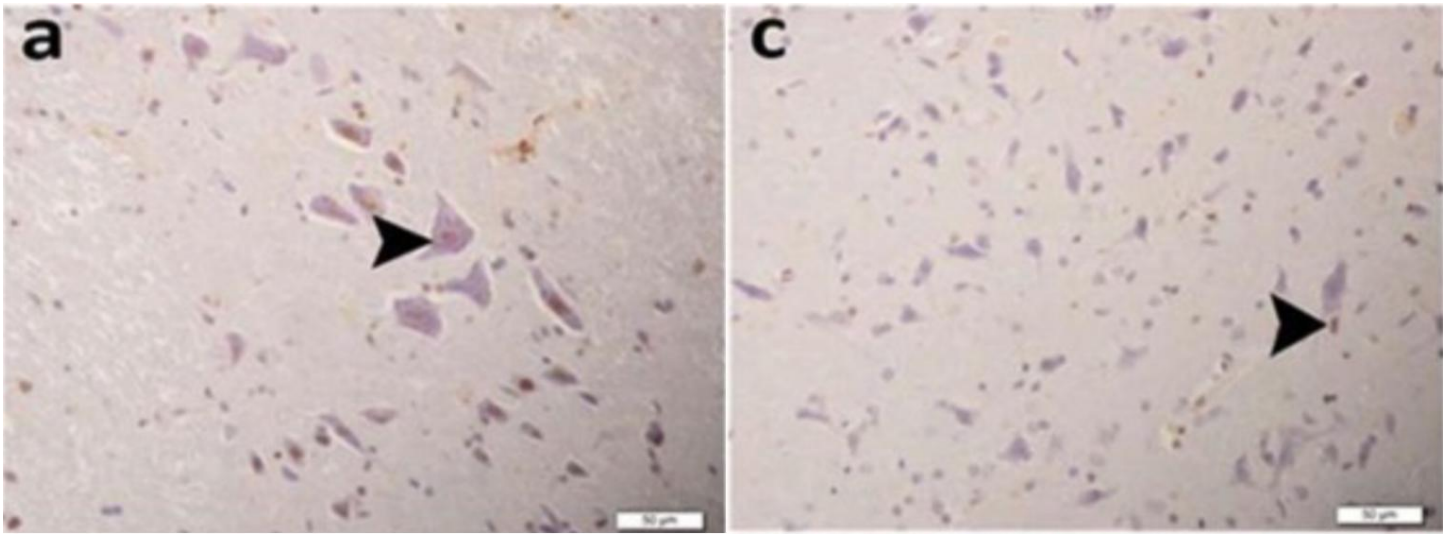
Şekil 6. Bortezomib' in siyatik sinir PK2 ekspresyonu üzerine etkisi (Moschetti ve ark. 2019).

SIRT1, NALP1 ve p-STAT3



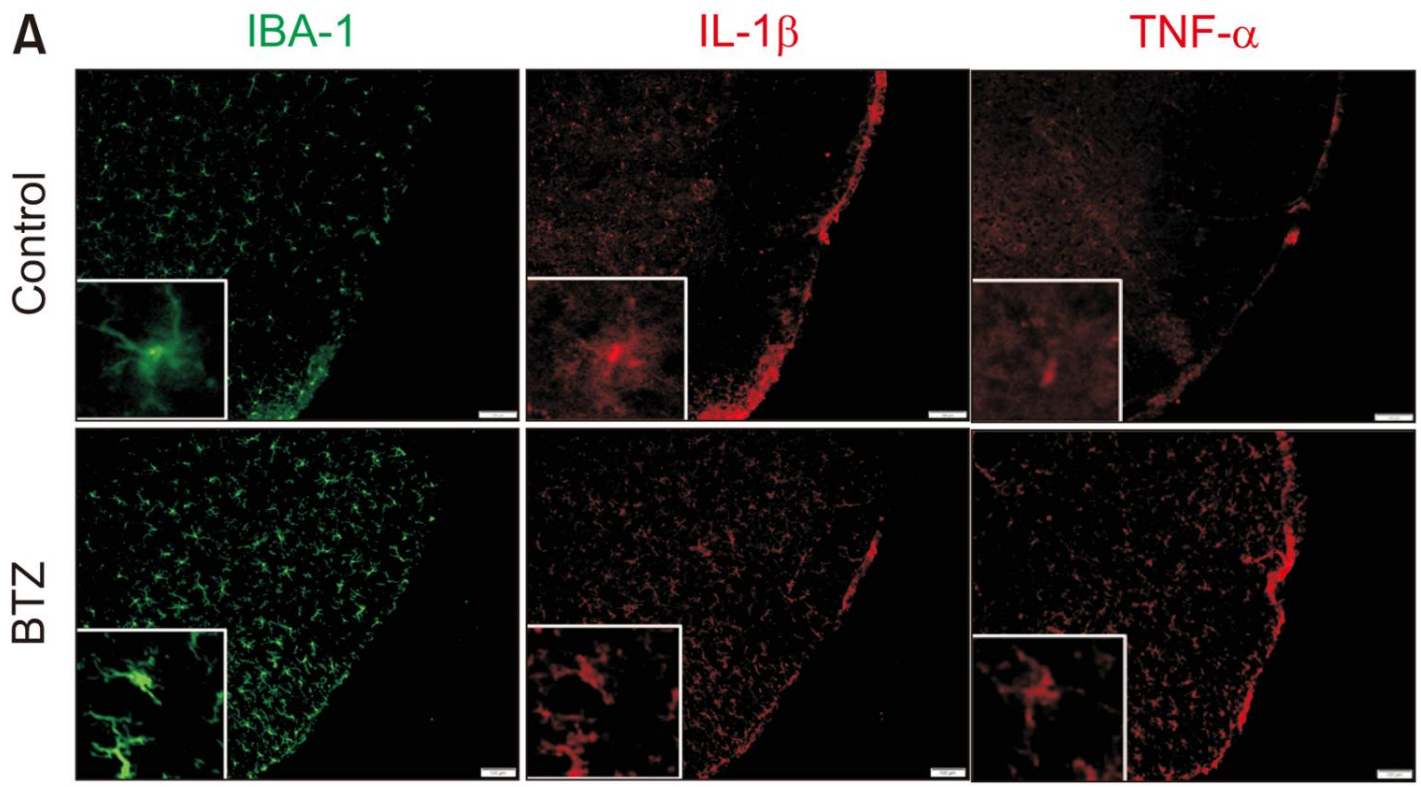
Şekil 7. Bortezomib' in siyatik sinir SIRT1, NALP1ve p-STAT3 ekspresyonu üzerine etkisi (Chen ve ark. 2018).

CREP



Şekil 8. Bortezomib' in siyatik sinir CREP ekspresyonu üzerine etkisi (a: kontrol, c: Bortezomib; Yardım ve ark. 2022).

IBA-1, IL-1β ve TNF-α



Şekil 9. Bortezomib' in siyatik sinir IBA-1, IL-1β ve TNF-α ekspresyonu üzerine etkisi (Gu ve ark. 2026).

SONUÇ

İmmünohistokimyasal değerlendirmeler, bortezomibin siyatik sinir üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde önemli bir yöntem olup, sinir hasarının oluşumunda rol oynayan hücresel ve moleküler mekanizmaların ortaya konulmasına katkı sağlayabilir. Bu kapsamda incelenen immünohistokimyasal belirteçlerde meydana gelen değişikliklerin, bortezomib kaynaklı nörotoksisitenin patofizyolojik süreçleriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Özellikle nöronal bütünlüğün bozulması, glial hücre aktivasyonu, inflamasyon, oksidatif stres ve apoptotik hücre ölümü ile ilişkili belirteçlerdeki değişikliklerin birlikte değerlendirilmesi, periferik sinir hasarının daha kapsamlı biçimde anlaşılmasını sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Argyriou, A. A., Bruna, J., Marmiroli, P., & Cavaletti, G. (2012). Chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity (CIPN): an update. *Critical reviews in oncology/hematology*, *82*(1), 51-77.

Bennett, G. J., Liu, G. K., Xiao, W. H., Jin, H. W., & Siau, C. (2011). Terminal arbor degeneration–a novel lesion produced by the antineoplastic agent paclitaxel. *European Journal of Neuroscience*, *33*(9), 1667-1676.

Carozzi, V. A., Renn, C. L., Bardini, M., Fazio, G., Chiorazzi, A., Meregalli, C., ... & Dorsey, S. G. (2013). Bortezomib-induced painful peripheral neuropathy: an electrophysiological, behavioral, morphological and mechanistic study in the mouse. *PloS one*, *8*(9), e72995.

Cavaletti, G., & Jakubowiak, A. J. (2010). Peripheral neuropathy during bortezomib treatment of multiple myeloma: a review of recent studies. *Leukemia & lymphoma*, *51*(7), 1178-1187.

Cavaletti, G., & Jakubowiak, A. J. (2010). Peripheral neuropathy during bortezomib treatment of multiple myeloma: a review of recent studies. *Leukemia & lymphoma*, *51*(7), 1178-1187.

Chen, K., Fan, J., Luo, Z. F., Yang, Y., Xin, W. J., & Liu, C. C. (2018). Reduction of SIRT1 epigenetically upregulates NALP1 expression and contributes to neuropathic pain induced by chemotherapeutic drug bortezomib. *Journal of neuroinflammation*, *15*(1), 292.

Corso, A., Mangiacavalli, S., Varettoni, M., Pascutto, C., Zappasodi, P., & Lazzarino, M. (2010). Bortezomib-induced peripheral neuropathy in multiple myeloma: a comparison between previously treated and untreated patients. *Leukemia research*, *34*(4), 471-474.

Flatters, S. J., Xiao, W. H., & Bennett, G. J. (2006). Acetyl-L-carnitine prevents and reduces paclitaxel-induced painful peripheral neuropathy. *Neuroscience letters*, *397*(3), 219-223.

Gu, L., Lv, X., Cao, S., & Feng, Y. (2026). Gastrodin alleviates bortezomib-induced peripheral neuropathy by inhibiting NF-κB/NLRP3 pathway-mediated microglial inflammation. *The Korean Journal of Pain*, *39*(2), 246-259.

Jin, H. W., Flatters, S. J., Xiao, W. H., Mulhern, H. L., & Bennett, G. J. (2008). Prevention of paclitaxel-evoked painful peripheral neuropathy by acetyl-L-carnitine: effects on axonal mitochondria, sensory nerve fiber terminal arbors, and cutaneous Langerhans cells. *Experimental neurology*, *210*(1), 229-237.

Lanzani, F., Mattavelli, L., Frigeni, B., Rossini, F., Cammarota, S., Petrò, D., ... & Cavaletti, G. (2008). Role of a pre-existing neuropathy on the course of bortezomib-induced peripheral neurotoxicity. *Journal of the peripheral nervous system*, *13*(4), 267-274.

Meregalli, C., Marjanovic, I., Scali, C., Monza, L., Spinoni, N., Galliani, C., ... & Cavaletti, G. (2018). High-dose intravenous immunoglobulins reduce nerve macrophage infiltration and the severity of bortezomib-induced peripheral neurotoxicity in rats. *Journal of neuroinflammation*, *15*(1), 232.

Moschetti, G., Amodeo, G., Maftei, D., Lattanzi, R., Procacci, P., Sartori, P., ... & Franchi, S. (2019). Targeting prokineticin system counteracts hypersensitivity, neuroinflammation, and tissue damage in a mouse model of bortezomib-induced peripheral neuropathy. *Journal of neuroinflammation*, *16*(1), 89.

Paice, J. A. (2011). Chronic treatment-related pain in cancer survivors. *Pain*, *152*(3), S84-S89.

Richardson, P. G., Briemberg, H., Jagannath, S., Wen, P. Y., Barlogie, B., Berenson, J., ... & Amato, A. A. (2006). Frequency, characteristics, and reversibility of peripheral neuropathy during treatment of advanced multiple myeloma with bortezomib. *Journal of Clinical Oncology*, *24*(19), 3113-3120.

Robinson, C. R., & Dougherty, P. M. (2015). Spinal astrocyte gap junction and glutamate transporter expression contributes to a rat model of bortezomib-induced peripheral neuropathy. *Neuroscience*, *285*, 1-10.

Siau, C., Xiao, W., & Bennett, G. J. (2006). Paclitaxel-and vincristine-evoked painful peripheral neuropathies: loss of epidermal innervation and activation of Langerhans cells. *Experimental neurology*, *201*(2), 507-514.

Windebank, A. J., & Grisold, W. (2008). Chemotherapy-induced neuropathy. *Journal of the peripheral nervous system*, *13*(1), 27-46.

Xiao, W. H., & Bennett, G. J. (2012). Effects of mitochondrial poisons on the neuropathic pain produced by the chemotherapeutic agents, paclitaxel and oxaliplatin. *Pain*, *153*(3), 704-709.

Yardim, A., Gur, C., Comakli, S., Ozdemir, S., Kucukler, S., Celik, H., & Kandemir, F. M. (2022). Investigation of the effects of berberine on bortezomib-induced sciatic nerve and spinal cord damage in rats through pathways involved in oxidative stress and neuro-inflammation. *Neurotoxicology*, *89*, 127-139.

Zheng, H., Xiao, W. H., & Bennett, G. J. (2011). Functional deficits in peripheral nerve mitochondria in rats with paclitaxel-and oxaliplatin-evoked painful peripheral neuropathy. *Experimental neurology*, *232*(2), 154-161.

MULTIMODALITY IMAGING AND DEFERRED STENTING IN AN ANTERIOR STEMI COMPLICATED BY CORONARY ECTASIA AND A RARE CIRCUMFLEX-TO-SUPERIOR VENA CAVA FISTULA

Halil İbrahim TANRISEVEN, MD[1]

[1]Erzincan Binali Yıldırım University Mengücek Gazi Training and Research Hospital, Department of Cardiology, halilibrahimtanriseven@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6915-2876

Abstract

The concurrent presentation of diffuse coronary artery ectasia (CAE) and a congenital coronary-venous fistula is an infrequent clinical entity that complicates the management of acute ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI). While CAE predisposes the vessel to sluggish intra-luminal flow and thrombosis, a fistula diverts blood away from the myocardial capillary network into low-pressure chambers, potentially exacerbating ischemia via the coronary steal phenomenon. This report describes the management of an acute anterior STEMI complicated by diffuse CAE and a large fistula extending from the circumflex (Cx) artery to the superior vena cava (SVC), utilizing deferred stenting and multimodality imaging. A 69-year-old hypertensive male presented with an acute anterior STEMI. Coronary angiography revealed an ectatic left main coronary artery and Cx, alongside a high-flow fistula originating from the Cx. A significant thrombotic lesion was present at the ostium of the infarct-related left anterior descending (LAD) artery, with a total distal occlusion. Distal flow was secured via balloon angioplasty and stenting. To prevent distal embolization from the substantial ostial thrombus burden, stenting of the ostial lesion was deferred, and a 48-hour tirofiban infusion was initiated. Control angiography 48 hours later confirmed complete thrombus resolution. A stent was implanted across the residual 90% stenosis, and TIMI III flow was achieved following post-dilatation. On the tenth day, coronary computed tomography angiography (CCTA) definitively mapped the fistula, demonstrating its drainage into the SVC. In cases presenting with severe ectasia and significant thrombus, a deferred stenting strategy combined with potent antithrombotic therapy is an effective approach. Furthermore, CCTA is an essential imaging modality for the precise anatomical diagnosis of complex fistulas.

Keywords: STEMI, coronary ectasia, coronary-venous fistula, deferred stenting, CCTA

1. INTRODUCTION

Coronary artery fistulas (CAFs) are anomalous connections between coronary arteries and cardiac chambers or major thoracic vessels (4). The concurrent presentation of diffuse coronary artery ectasia (CAE) and CAF is an infrequent clinical entity (2). In the setting of an acute ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI), this combination presents significant hemodynamic and interventional challenges for clinicians.

1.1. Theoretical Framework

CAE leads to sluggish coronary blood flow and turbulence, which significantly increases the risk of thrombus formation (2). Concurrently, CAFs can cause a "coronary steal" phenomenon, where blood flow is diverted from the high-resistance myocardial capillary bed into lower-pressure systems, thereby exacerbating myocardial ischemia (1, 2). The presence of both pathologies during a STEMI elevates the risk of distal embolization and the no-reflow phenomenon during immediate percutaneous coronary intervention (PCI).

2. METHOD

This case report evaluates a 69-year-old male patient with a history of hypertension who presented to the emergency department with acute anterior STEMI. The diagnostic evaluation relied on invasive coronary angiography during the acute phase, followed by coronary computed tomography angiography (CCTA) for detailed anatomical assessment. The intervention strategy utilized a deferred stenting approach, supported by the intravenous administration of glycoprotein IIb/IIIa inhibitors (tirofiban), to safely manage the high thrombus burden observed during the initial procedure.

3. RESULTS

Initial coronary angiography revealed an ectatic left main coronary artery and circumflex (Cx) artery. A high-flow fistula originating from the Cx was observed; due to two-dimensional angiographic overlap, it was initially suspected to drain into the right atrium. The infarct-related left anterior descending (LAD) artery exhibited a total distal occlusion and a significant ostial thrombotic lesion. Distal patency was secured with balloon angioplasty and the deployment of two overlapping drug-eluting stents (DES). Because immediate stenting of the ostial lesion carried a high risk of distal embolization due to the substantial thrombus, the stenting procedure was deferred. A 48-hour intravenous tirofiban infusion was initiated.

Control angiography after 48 hours demonstrated complete resolution of the thrombus. A 4.5x24 mm DES was deployed at the residual 90% ectatic stenosis. To ensure adequate stent apposition within the dilated vessel, post-dilatation was performed with a 5.0x10 mm non-compliant balloon, achieving standard TIMI III flow. Echocardiography revealed a left ventricular ejection fraction of 38%.

3.1. CCTA and Multimodality Imaging Findings

On the tenth day, CCTA was performed to precisely delineate the fistula's anatomy. The CCTA demonstrated that the fistula originated from the mid-Cx, traversed the posterior mediastinum, and drained directly into the superior vena cava (SVC), correcting the initial invasive angiographic impression. An incidental azygos lobe variant was also identified as a concomitant anatomical finding.

4. CONCLUSION, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

The management of STEMI in the presence of CAE and a large CAF requires tailored therapeutic strategies. Immediate stenting in ectatic vessels with a high thrombus burden carries an elevated risk of stent malapposition, distal embolization, and subsequent acute myocardial infarction (2, 3). In this case, the deferred stenting strategy, combined with potent antithrombotic therapy, proved effective in resolving the thrombus and allowing for safe stent deployment.

Furthermore, reliance solely on two-dimensional invasive angiography can lead to the misinterpretation of complex fistulous tracts. CCTA provides essential high-resolution anatomical data for the accurate assessment of such anomalies (4). It is recommended that patients presenting with severe ectasia and large fistulas receive thorough clinical follow-up and appropriate antithrombotic therapy to mitigate the risk of future ischemic or thrombotic events (3).

REFERENCES

1. Achim, A., Johnson, N. P., Liblik, K., Burckhardt, A., Krivoshei, L., & Leibundgut, G. (2023). Coronary steal: how many thieves are out there?. *European Heart Journal*, 44(30), 2805-2814.
2. Aldajani, A., Kadoya, Y., Small, G., & Chow, B. J. W. (2026). Triple-vessel coronary cameral fistula as a cause of diffuse coronary artery ectasia: Diagnostic insights from coronary CT angiography. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, 20, e1-e2.
3. Meng, L., Zhang, P., Peng, F., & Wang, P. (2022). Acute myocardial infarction after surgical closure of coronary artery fistula: Importance of anticoagulant therapy. *JACC: Case Reports*, 4(12), 738-741.
4. Wu, S., Fares, M., Zellers, T. M., Jyothinagaram, M., & Reddy, S. R. V. (2023). Diagnosis and management of congenital coronary artery fistulas in infants and children. *Current Cardiology Reports*, 25, 1921-1932.

IATROGENIC COMMON FEMORAL ARTERY OCCLUSION INDUCED BY A VASCULAR CLOSURE DEVICE: SUCCESSFUL ENDOVASCULAR RESCUE

Prof. Dr. Hüsnü DEĞİRMENCİ[1], Assoc. Prof. Dr. Muharrem Said COŞGUN[2], Spec. Dr. Halil İbrahim TANRISEVEN[3]

[1]Erzincan Binali Yıldırım University Mengücek Gazi Training and Research Hospital, Department of Cardiology, husnudegirmeci334@gmail.com, 0000-0003-0618-7227

[2]Erzincan Binali Yıldırım University Mengücek Gazi Training and Research Hospital, Department of Cardiology, drsaidcosgun2009@hotmail.com, 0000-0003-1042-9954

[3]Erzincan Binali Yıldırım University Mengücek Gazi Training and Research Hospital, Department of Cardiology, halilibrahimtanriseven@gmail.com, 0000-0002-6915-2876

Abstract

Vascular closure devices (VCDs) facilitate early ambulation after endovascular procedures but carry rare, limb-threatening risks, including major vessel occlusion [10]. We present a 56-year-old female with iatrogenic left common femoral artery (CFA) occlusion subsequent to plug-based VCD deployment, successfully managed via a crossover endovascular approach. The patient initially presented with intermittent claudication and underwent successful right superficial femoral artery stenting via a left CFA access. The access site was secured using an Angio-Seal VCD. Discharged asymptomatically on a triple antithrombotic regimen, she returned one month later with severe left leg claudication that had commenced immediately upon her first post-procedural mobilization. Peripheral angiography revealed complete left CFA occlusion at the previous VCD deployment site. Utilizing a right CFA crossover approach, the occluded segment was successfully crossed with dedicated guidewires, and balloon angioplasty with stenting was performed to restore full antegrade flow. The patient was discharged safely with full clinical recovery. Despite high efficacy in achieving hemostasis, VCDs can precipitate complete vessel occlusion [7]. Routine assessment of distal limb perfusion via Doppler ultrasonography immediately following VCD deployment is crucial for early recognition and prompt percutaneous rescue, preventing long-term ischemic morbidity.

Keywords: Vascular closure device, Angio-Seal, femoral artery occlusion, endovascular rescue, iatrogenic complication.

1. INTRODUCTION

The common femoral artery (CFA) is the primary access site for most percutaneous endovascular interventions [6, 10]. To improve patient comfort, expedite ambulation, and reduce the length of hospital stays, vascular closure devices (VCDs) are widely utilized as alternatives to traditional manual compression [1, 8]. VCDs are broadly classified into active (suture-based) and passive (plug- or sealant-based) approximators based on their closure mechanisms [1, 5].

While VCDs generally have high success rates, their use is not devoid of risks. Rare but limb-threatening complications such as hematomas, pseudoaneurysms, vessel infections, distal embolization, and total vessel occlusion have been well-documented in the literature [2, 6, 7]. High-risk patient profiles, including female sex, calcified vessel anatomy, small femoral artery diameter, and the concurrent use of potent antithrombotic or anticoagulant therapies (e.g., triple therapy), significantly elevate the risk of device failure and complications [2, 4, 9].

1.1. Theoretical Framework

Acute or subacute arterial occlusions associated with passive, plug-based devices (such as the Angio-Seal) are typically related to the intravascular anchor component [7]. If the anchor catches on posterior wall calcifications or atherosclerotic plaques during deployment or withdrawal, it can prevent adequate compaction of the collagen plug, cause focal intimal dissection, or lead to complete intravascular deployment, resulting in total luminal occlusion [3, 7]. Additionally, patients with a shallow femoral artery depth are at a significantly higher risk of experiencing puncture-site complications with passive VCDs [5].

2. METHOD

A 56-year-old female patient with a known history of deep vein thrombosis and chronic venous insufficiency presented with severe, lifestyle-limiting intermittent claudication. Following evaluation, a diagnostic peripheral angiography was planned. The procedure was performed via a left CFA crossover approach, identifying a hemodynamically significant lesion in the right superficial femoral artery (SFA). Successful percutaneous transluminal angioplasty and stenting were performed on the right SFA.

At the end of the intervention, the left CFA access site was closed using an Angio-Seal VCD. Immediate hemostasis was achieved. The patient remained asymptomatic during observation and was discharged the next day on a triple antithrombotic regimen consisting of aspirin, clopidogrel, and a direct oral anticoagulant (DOAC).

3. RESULTS

One month after discharge, the patient returned to the outpatient clinic reporting bilateral leg pain and severe claudication in her left leg. A detailed clinical history revealed that her left leg claudication had started immediately during her first mobilization attempt at home following the initial hospital discharge. Peripheral angiography was performed to evaluate the previous access site, which demonstrated a total occlusion of the left CFA exactly at the site of the Angio-Seal deployment. Distal perfusion to the left lower extremity was maintained solely by weak collateral circulation originating from the profunda femoris artery.

3.1. Endovascular Rescue Procedure

To treat the iatrogenic occlusion, an endovascular rescue strategy was performed using a right CFA crossover approach. The totally occluded segment in the left CFA was successfully crossed using dedicated peripheral guidewires. Balloon angioplasty and stenting were performed, achieving complete restoration of antegrade flow (TIMI 3). The new right CFA access was secured with a VCD without any issues, and the patient showed a full clinical recovery.

4. CONCLUSION, DISCUSSION AND SUGGESTIONS

VCDs are highly efficient in shortening hemostasis time; for instance, the Angio-Seal device has been reported to achieve hemostasis in an average of 1.3 minutes [8]. However, mechanism-specific failures, such as the intravascular anchor interacting with calcified plaques, pose critical risks of acute occlusion or distal embolization [3, 7]. Anatomical factors like female gender, small vessel diameter, and shallow artery depth are significant independent predictors of such complications [4, 5, 9].

This case demonstrates that endovascular crossover rescue is a highly effective, minimally invasive alternative to open surgical endarterectomy for managing iatrogenic total CFA occlusions [7]. To minimize the incidence of VCD-related occlusions, the routine use of real-time ultrasound guidance during CFA puncture and VCD deployment is strongly recommended [7]. Simple maneuvers, such as rotating the device 180 degrees if resistance is felt against the posterior wall, can prevent intravascular deployment [7]. Furthermore, assessing distal limb perfusion with Doppler ultrasound immediately following hemostasis is essential to detect subclinical flow limitations and prevent long-term ischemic morbidity.

REFERENCES

[1] Bhogal, S., & Waksman, R. (2022). Vascular Closure: the ABC's. *Current Cardiology Reports*, 24, 355-364.

[2] Kim, E., Sebastiao, B. G., Lee, A., Ande, S., & Shankar, J. (2023). Safety and effectiveness of vascular closure devices in interventional radiological procedures. *Interventional Neuroradiology*, 29(5), 525-531.

[3] Lasam, G., Oaks, J. B., & Brensilver, J. (2017). Angio-Seal embolization: A rare etiology of an acute distal limb ischemia. *Case Reports in Vascular Medicine*, 2017, 9613863.

[4] Martinho, S., Jorge, E., Marinho, V., Baptista, R., Costa, M., & Gonçalves, L. (2024). The MANTA vascular closure device in transfemoral TAVI: a real-world cohort. *REC: Interventional Cardiology*, 6(1), 7-12.

[5] Okamoto, T., Kotsugi, M., Sasaki, H., et al. (2024). Passive Approximator Vascular Closure Device Use in Patients with Shallow Femoral Artery Depth Increases Puncture-site Complications in Neuroendovascular Treatment. *World Neurosurgery*, 188, e305-e311.

[6] Saleem, T., & Baril, D. T. (2023). Vascular Access Closure Devices. *StatPearls*.

[7] Shariq, M., Bellam Premnath, K., Saleh, A. T., & Coker, J. (2023). Complications with the use of Angio-Seal vascular closure device and their management. *Journal of Clinical Imaging Science*, 13, 26.

[8] Shukla, P., Himanshu, K., Mohammed, A., et al. (2026). From Compression to Closure: Efficacy and safety of Vascular closure devices (VCD) versus manual compression. *Journal of the Saudi Heart Association*, 38(1), 5.

[9] Thakker, R., Iturrizaga, J. C., & Abu Sharifeh, T. (2023). Vascular Closure Devices after Femoral Arteriotomy: Insight in High-Risk Patients. *Journal of the American Heart Association*, 12, e028501.

[10] Uno, T., Misaki, K., Tsutsui, T., Kamide, T., & Nakada, M. (2024). Comparative analysis of vascular closure devices for neuroendovascular procedures using Perclose versus Angioseal. *Heliyon*, 10, e39975.

LUTEOLİN UYGULAMASININ BEYİN İSKEMİ-REPERFÜZYON HASARINDA NÖROLOJİK FONKSİYONLAR ÜZERİNE ETKİSİ

Lubeyda Solmaz, Rasim Moğulkoç. Abdülkerim Kasım Baltacı

Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı-Konya

Özwt

Amaç: Beyin iskemi-reperfüzyon (İ/R) hasarı, reperfüzyonun sağlanmasına rağmen oksidatif stres, inflamasyon, hücre ölümü ve kan-beyin bariyeri bütünlüğünün bozulması gibi ikincil mekanizmalar aracılığıyla nörolojik hasarın devam etmesine neden olabilir. Luteolinin deneysel serebral İ/R modelinde nörolojik fonksiyonlar üzerindeki etkilerini araştırmak amaçlandı.

Gereç ve Yöntem: Deney hayvanları Kontrol, SHAM, İ/R ve İ/R + luteolin (Lut) olmak üzere dört gruba ayrıldı. İ/R grubunda serebral iskemi ve bunu takiben reperfüzyon oluşturulurken, luteolin grubuna İ/R ile birlikte luteolin uygulandı. Nörolojik fonksiyonlar deneyin 1. ve 7. günlerinde nörolojik skor kullanılarak değerlendirildi. Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi.

Bulgular: Kontrol grubunun nörolojik skorları 1. ve 7. günlerde 0,00 ± 0,00 olarak bulundu. SHAM grubunda skor 0,33 ± 0,16 idi. İ/R grubunda nörolojik skor 1. günde 2,60 ± 1,08 ve 7. günde 1,60 ± 0,84 iken, İ/R + Lut grubunda sırasıyla 1,78 ± 0,61 ve 0,78 ± 0,03 olarak belirlendi. Böylece luteolin verilen grupta ortalama nörolojik skor, İ/R grubuna kıyasla 1. günde yaklaşık %31,5, 7. günde ise %51,3 daha düşük bulundu. Kaynak verilerde p değerleri bulunmadığından bu farklılıklar için istatistiksel anlamlılık ileri sürülmemiştir.

Sonuç: Bulgular, luteolin uygulamasının serebral İ/R sonrasında oluşan nörolojik fonksiyon kaybını azaltma potansiyeline sahip olduğunu düşündürmektedir. Özellikle 7. gündeki daha düşük nörolojik skor, luteolinin nörolojik fonksiyonların korunması veya iyileşme sürecinin desteklenmesi ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Bu gözlem, luteolinin serebral İ/R modellerinde nörolojik skor ve infarkt alanını azalttığını bildiren deneysel literatürle uyumludur.

Anahtar Kelimeler: Luteolin; serebral iskemi; reperfüzyon; nöroproteksiyon; nörolojik skor; oksidatif stres

GİRİŞ

İskemik beyin hasarında kan akımının yeniden sağlanması canlı dokunun korunması açısından temel öneme sahip olmakla birlikte, reperfüzyon süreci çeşitli ikincil hasar mekanizmalarıyla ilişkili olabilir. Deneysel literatürde oksidatif stres ve inflamasyon serebral İ/R hasarında önemli mekanizmalar olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla yalnızca kan akımının yeniden sağlanması değil, reperfüzyon sonrasında ortaya çıkan hücresel ve moleküler hasarın sınırlandırılması da nörolojik fonksiyonların korunması açısından önem taşımaktadır.

Luteolin doğal bir flavonoid olup serebral iskemi ve İ/R hasarındaki potansiyel nöroprotektif etkileri farklı deneysel modellerde incelenmiştir. Li ve arkadaşlarının serebral İ/R sıçan modeli ve OGD/R hücre modeliyle gerçekleştirdikleri çalışmada luteolin tedavisi hücre içi ROS ve MDA düzeylerini azaltmış, GSH/GSSG oranı ile SOD aktivitesini artırmış ve serebral İ/R uygulanan sıçanlarda nörolojik skor ile infarkt alanını azaltmıştır. Araştırmacılar bu etkileri NRF2 ile ilişkili antioksidan yanıtın güçlendirilmesi ve ferroptozun inhibisyonu ile ilişkilendirmiştir.

Luteolinin nöroprotektif etkileri yalnızca oksidatif stres ile sınırlı görünmemektedir. Li ve arkadaşları MCAO/R sıçan modelinde luteolin uygulamasının infarkt alanı ve proinflamatuvar sitokin düzeylerini azalttığını; hasarlı hipokampal bölgede nöroinflamasyon ve otofajideki değişiklikleri iyileştirdiğini bildirmiştir. Bu çalışmadaki bulgular luteolinin etkilerinde PPARγ ile ilişkili mekanizmaların rol oynayabileceğini göstermektedir.

Kan-beyin bariyerinin korunması da luteolinin nöroprotektif etkisine katkıda bulunabilecek diğer bir mekanizmadır. Yakın tarihli deneysel bir çalışmada luteolin, iskemik inme modelinde serebral infarkt alanı ve nöronal apoptozu azaltmış, beyin su içeriği ile Evans Blue ekstravazasyonunu düşürmüş ve sıkı bağlantı proteinlerinin degradasyonuna karşı koruyucu etki göstermiştir. Çalışmada bu etkinin LRP1 ve MMP9 ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, luteolin uygulamasının deneysel beyin iskemi-reperfüzyon hasarında nörolojik fonksiyonlar üzerine olan etkisini, erken ve daha ileri dönemde elde edilen nörolojik skorlar üzerinden değerlendirmektir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma S.Ü. Deneysel Tıp Araştırma Merkezinden alınan 32 adet erkek Wistar albino türü sıçan üzerinde gerçekleştirildi. Aynı kurulun etik kurulu çalışmayı onayladı. Deney Grupları aşağıdaki şekilde oluşturuldu.

Çalışmada deney hayvanları dört gruba ayrıldı:

1. **Kontrol grubu:** İskemi-reperfüzyon uygulanmayan hayvanlar.
2. **SHAM grubu:** Cerrahi işlem uygulanmakla birlikte İ/R hasarı oluşturulmayan hayvanlar.

3. **İ/R grubu:** Serebral iskemi ve ardından reperfüzyon uygulanan hayvanlar.
4. **İ/R + Lut grubu:** İ/R oluşturulmasının yanı sıra luteolin tedavisi uygulanan hayvanlar.

Nörolojik Değerlendirme

Deney hayvanlarının nörolojik fonksiyonları 1. ve 7. günlerde nörolojik skor kullanılarak değerlendirildi.

İstatistiksel Analiz

Veriler ortalama ± standart sapma (SD) olarak sunuldu. Mevcut veri dosyasında örneklem büyüklüğü, kullanılan istatistik testi ve p değerleri yer almadığından gruplar arasındaki farkların istatistiksel anlamlılığı hakkında sonuç bildirilmedi.

BULGULAR

İ/R uygulamasının ardından nörolojik skorların kontrol ve SHAM gruplarına kıyasla belirgin şekilde daha yüksek ortalama değerlere ulaştığı görüldü. İ/R grubunda ortalama nörolojik skor 1. günde **2,60 ± 1,08**, 7. günde ise **1,60 ± 0,84** olarak belirlendi. Buna karşılık luteolin uygulanan İ/R grubunda skorlar 1. günde **1,78 ± 0,61**, 7. günde **0,78 ± 0,03** olarak bulundu.

Tablo 1. Deney gruplarında nörolojik skorlar

Grup	1. Gün	7. Gün
Kontrol	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
SHAM*	0,33 ± 0,16	0,33 ± 0,16
İ/R	2,60 ± 1,08	1,60 ± 0,84
İ/R + Lut	1,78 ± 0,61	0,78 ± 0,03

Veriler Ortalama ± SD olarak verilmiştir.

İ/R + Lut grubunun ortalama nörolojik skoru, tedavi uygulanmayan İ/R grubuna göre 1. Günde **%31,5**, 7. günde ise **%51,3** daha düşük düzeydeydi. Bu hesaplamalar ortalamalar arasındaki tanımlayıcı farklılığı göstermekte olup istatistiksel anlamlılık ifade etmez.

Ayrıca İ/R grubunda 1. günden 7. güne nörolojik skorun 2,60'tan 1,60'a düştüğü, luteolin grubunda ise 1,78'den 0,78'e gerilediği görüldü. Bulgular luteolin uygulanan hayvanların özellikle 7. gündeki ortalama skorlarının İ/R grubundan daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

TARTIŞMA

Bu çalışmanın temel bulgusu, serebral İ/R hasarına maruz bırakılan deney hayvanlarında luteolin uygulamasının daha düşük ortalama nörolojik skorlarla birliktelik göstermesidir. İ/R grubunda 1. günde 2,60 ± 1,08 olan skorun luteolin uygulamasıyla 1,78 ± 0,61'e; 7. günde ise 1,60 ± 0,84'ten 0,78 ± 0,03'e düşmesi, luteolinin serebral İ/R sonrası fonksiyonel nörolojik sonuçları iyileştirme potansiyelini desteklemektedir. İstatistiksel test sonuçları mevcut olmadığından bu aşamada bu farklılıkların "anlamlı" olduğu söylenmemelidir.

Çalışmamızdaki gözlemi özellikle destekleyen bulgu Li ve arkadaşları tarafından yayımlanan deneysel çalışmadan gelmektedir. Araştırmacılar serebral İ/R sıçanlarında luteolin tedavisinin nörolojik skoru ve beyin infarkt alanını anlamlı şekilde azalttığını bildirmişlerdir. Aynı çalışmada luteolin OGD/R koşullarında ROS ve MDA seviyelerini azaltırken SOD aktivitesini ve GSH/GSSG oranını artırmış; SLC7A11, NRF2 ve GPX4 protein düzeylerini yükseltmiştir. NRF2 inhibitörü ML385'in luteolin etkisini tersine çevirmesi, NRF2 aracılı antioksidan savunmanın bu koruyucu etkide önemli olabileceğine ilişkin deneysel kanıt sağlamıştır. Bu sonuçlar bizim çalışmamızdaki nörolojik skor azalmasını açıklayabilecek olası mekanizmalardan birinin oksidatif stres ve ferroptozun baskılanması olabileceğini düşündürmektedir. Ancak mevcut çalışmamızda bu yolaklar ölçülmediği için bu açıklama doğrudan mekanistik bulgumuz olarak değil, literatüre dayalı olası bir mekanizma olarak değerlendirilmelidir.

İnflamatuvar yanıt da serebral İ/R hasarında luteolinin hedeflerinden biri olabilir. MCAO/R modelinde luteolin uygulamasının infarkt alanını ve proinflamatuvar sitokin düzeylerini azalttığı, hasarlı hipokampal bölgede nöroinflamasyon ve otofaji üzerine koruyucu etkiler gösterdiği bildirilmiştir. Aynı araştırmada PPARγ inhibitörü kullanımının luteolinin nöroprotektif etkilerini maskelemesi, PPARγ aktivasyonunun sürece katkıda bulunabileceğini göstermiştir.

Luteolinin etkilerinin kan-beyin bariyerinin korunması üzerinden de gelişebileceğine ilişkin artan deneysel kanıt bulunmaktadır. Li ve arkadaşları luteolinin iskemik inme modelinde infarkt alanı ve nöronal apoptozu azalttığını, beyin su içeriği ve Evans Blue sızıntısını düşürdüğünü ve sıkı bağlantı proteinlerinin degradasyonuna karşı koruyucu özellik gösterdiğini bildirmiştir. Araştırmacılar mekanizmanın LRP1 inhibisyonu ve bunun ardından MMP9 ekspresyonundaki azalmayla ilişkili olabileceğini öne sürmektedir.

Luteolinin bir türevi olan luteolin-7-O-β-D-glukuronid ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar da mevcut sonuçları destekleyen veriler sunmaktadır. Bu bileşiğin MCAO sıçan modelinde nörolojik defisit skorunu, infarkt hacmini ve beyin su içeriğini iyileştirdiği bildirilmiştir.

Birlikte değerlendirildiğinde mevcut bulgular, luteolinin serebral İ/R sonrasındaki nörolojik fonksiyon kaybına karşı koruyucu bir potansiyele sahip olabileceğine işaret etmektedir. Literatürde tanımlanan antioksidan/NRF2-ferroptoz ekseni, antiinflamatuvar etkiler, PPARγ ile ilişkili düzenleme ve kan-beyin bariyerinin korunması, mevcut nörolojik bulguları açıklayabilecek biyolojik mekanizmalar olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu mekanizmaların doğrudan bu deneyde gösterildiği ileri sürülmemelidir.

SONUÇ

Bu çalışmada beyin İ/R hasarı sonrasında luteolin uygulanan grupta nörolojik skorların tedavi uygulanmayan İ/R grubundan daha düşük olduğu gözlendi. Fark luteolin grubunda 7. günde daha belirgin hale gelmiş ve ortalama skor İ/R grubuna kıyasla yaklaşık %51 oranında daha düşük bulunmuştur.

Literatürde luteolinin serebral İ/R hasarında nörolojik skor ve infarkt alanını azaltabildiğinin ve antioksidan savunma, inflamasyon, ferroptoz ve kan-beyin bariyeri bütünlüğüyle ilişkili mekanizmaları etkileyebildiğinin gösterilmiş olması mevcut bulgularla biyolojik olarak uyumludur.

Sonuç olarak verilerimiz, luteolinin beyin iskemi-reperfüzyon hasarı sonrasında nörolojik fonksiyonların korunmasına katkı sağlayabilecek potansiyel bir nöroprotektif ajan olduğunu düşündürmektedir.

Kaynaklar

1. Li H, Li JX, Zeng YD, Liu WH, Zheng CX, Dai SS, et al. **Luteolin ameliorates ischemic/reperfusion injury by inhibiting ferroptosis.** *Metabolic Brain Disease*. 2025. doi:10.1007/s11011-025-01588-9.
2. Li L, Pan G, Fan R, Li D, Guo L, Ma L, et al. **Luteolin alleviates inflammation and autophagy of hippocampus induced by cerebral ischemia/reperfusion by activating PPAR gamma in rats.** *BMC Complement Med Ther*. 2022;22:176. doi:10.1186/s12906-022-03652-8.
3. Tan L, Liang C, Wang Y, Jiang Y, Zeng S, Tan R. **Pharmacodynamic Effect of Luteolin Micelles on Alleviating Cerebral Ischemia Reperfusion Injury.** *Pharmaceutics*. 2018;10(4):248. doi:10.3390/pharmaceutics10040248.
4. Fan X, Song J, Zhang S, Lu L, Lin F, Chen Y, et al. **Luteolin-7-O-β-D-Glucuronide Attenuated Cerebral Ischemia/Reperfusion Injury: Involvement of the Blood-Brain Barrier.** *Biomedicines*. 2024;12(6):1366. doi:10.3390/biomedicines12061366.
5. Fan X, Lin F, Chen Y, Dou Y, Li T, Jin X, et al. **Luteolin-7-O-β-D-glucuronide Ameliorates Cerebral Ischemic Injury: Involvement of RIP3/MLKL Signaling Pathway.** *Molecules*. 2024;29(7):1665. doi:10.3390/molecules29071665.
6. Li JM, Yu JY, Sun T, Fan ML, Liu QQ, Li X, et al. **Luteolin Improves BBB Integrity Following Ischemic Stroke Injury by Downregulating the Expression of LRP1 and MMP9.** *Phytother Res*. 2026;40(8):4898-4912. doi:10.1002/ptr.70121.

RARE EXTRANEURAL CUTANEOUS AND SCALP METASTASIS OF PRIMARY IDH-WILDTYPE GLIOBLASTOMA HARBORING A PTEN EXON 5 MUTATION: A CASE REPORT

Assoc. Prof. Dr. İbrahim İBİLOĞLU

Department of Pathology, Faculty of Medicine, Dicle University, Diyarbakir, Turkey,

iibiloglu@gmail.com, 0000-0002-6536-4185

ABSTRACT

Glioblastoma (GBM) is an aggressive, high-grade Central Nervous System (CNS) malignancy characterized by extensive local infiltration and high recurrence rates. Extraneural metastasis (ENM) is exceptionally rare, occurring in approximately 0.4%–0.5% of cases due to physiological barriers such as the blood–brain barrier and the lack of lymphatic channels within the brain parenchyma. Cranial surgical interventions and molecular alterations represent major predisposing factors for extra-CNS dissemination.

We report a case of a 43-year-old male initially diagnosed with glioblastoma in 2022 who underwent primary surgical resection, radiotherapy, and temozolomide chemotherapy. In 2024, follow-up magnetic resonance imaging revealed a 6.5 cm recurrent cerebellar lesion accompanied by tumor recurrence extending directly through the craniectomy site into the scalp. Clinically, the patient presented with progressive acneiform papules evolving into erythematous and verrucous cutaneous/scalp lesions around the surgical scar. DNA-based Next-Generation Sequencing (NGS) identified a pathogenic somatic PTEN Exon 5 missense mutation (c.406T>C, p.C136R) with a variant allele frequency (VAF) of 39%. Integrated neuropathological evaluation confirmed a recurrent IDH-wildtype glioblastoma (CNS WHO Grade 4).

Surgical disruption of anatomical barriers facilitates direct tumor seeding into vascular and cutaneous/subcutaneous lymphatic channels. Concurrently, PTEN loss and subsequent PI3K/Akt/mTOR pathway hyperactivation promote anoikis resistance, cellular motility, and adaptation to extra-CNS microenvironments. Compared to typical ENM sites such as lungs, lymph nodes, and bones, primary scalp and cutaneous dissemination remains exceedingly rare.

This case underscores the importance of monitoring surgical scar sites for soft-tissue or cutaneous changes in long-surviving GBM patients. Integrating genomic profiling is essential for understanding the molecular driver mechanisms behind extraneural metastasis and identifying potential targeted therapeutic avenues in high-grade gliomas.

Keywords: Glioblastoma, IDH-wildtype, extraneural metastasis, cutaneous metastasis, *PTEN* mutation, next-generation sequencing.

DISTRIBUTION OF METASTATIC BRAIN TUMORS IN DIYARBAKIR REGION: A 13-YEAR RETROSPECTIVE STUDY

Assoc. Prof. Dr. İbrahim İBİLOĞLU

Department of Pathology, Faculty of Medicine, Dicle University, Diyarbakir, Turkey,

iibiloglu@gmail.com, 0000-0002-6536-4185

Central Nervous System (CNS) metastases represent one of the most severe complications of systemic malignancies, carrying high morbidity. The incidence of these secondary neoplasms originating from non-CNS tissues has been increasing as a result of advances in diagnostic modalities and systemic therapies. This study presents the epidemiology, clinicopathological features, and regional data distribution of CNS metastatic tumors in light of the literature and current patient series.

A total of 65 cases with metastatic central nervous system tumors were retrieved from the archives of the Department of Pathology, Faculty of Medicine, Dicle University, covering the period between 2013 and 2026. Patient age, sex, histological type, primary tumor sources, and anatomical localizations within the central nervous system were categorized.

Male patients had a significantly higher mean age compared to female patients ($p = 0.0261$), with peak incidences occurring in the 5th decade for females and the 6th decade for males. Male patients constituted the majority of cases with primary lung tumors (78.1%), whereas female patients predominated among those with primary breast tumors (93.3%; $p < 0.001$). Furthermore, patients with primary lung tumors (59.81± 8.19 years) were significantly older than patients with primary breast tumors (47.87±11.81 years; $p = 0.0008$).

The age, sex, and primary tumor site distributions of metastatic CNS tumors in this study were consistent with the literature. The most common primary sources metastasizing to the CNS were lung carcinomas, followed by breast and renal tumors. No prominent lateralization was observed. Carcinoma metastasis was the most frequent histopathological type, followed by high-grade neuroendocrine carcinoma metastasis, both aligning with published data. Anatomical localizations in order of frequency were the frontal, parietal, and temporal lobes, followed by the cerebellum. This study contributes to understanding the epidemiological characteristics of CNS metastatic tumors in Diyarbakir and surrounding regions and their distribution relative to international series.

Keywords: Central nervous system, metastasis, tumor

AKUAKÜLTÜRDE ALTERNATİF YEM KAYNAKLARININ MUKOZAL BARİYER VE BAĞIRSAK İMMÜNOLOJİSİ ÜZERİNDEKİ MOLEKÜLER YANSIMALARI

[1]Arş. Gör.Dr. Enes ÜSTÜNER / [2]Prof. Dr. Mustafa ÖZ

[1] Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Sucul Hayvan Hastalıkları Anabilim Dalı, Aksaray, Türkiye ORCID: 0000-0002-3837-5049

[2] Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Sucul Hayvan Hastalıkları Anabilim Dalı, Aksaray, Türkiye ORCID: 0000-0001-5264-7103

Özet

Küresel su ürünleri yetiştiriciliği sektörü, sınırlı deniz kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak amacıyla geleneksel balık ununu karasal bitkisel proteinler, böcek unları ve tek hücre proteinleri gibi sürdürülebilir hammaddelerle ikame etme sürecindedir. Ancak, rasyonlardaki bu radikal değişimlerin balık fizyolojisi üzerindeki etkileri, yalnızca yem dönüşüm oranı (FCR) ve spesifik büyüme oranı (SGR) gibi klasik zooteknik parametrelerle değerlendirildiğinde subklinik düzeydeki patolojiler gözden kaçmaktadır. Bu "kara kutu" yaklaşımı, fenotipik büyüme kayıpları ve klinik mortalite şekillenene kadar mukozal bariyer hasarını, hücresel inflamasyonu ve mikrobiyal disbiyozu saptamakta yetersiz kalmaktadır. Soya küspesi başta olmak üzere alternatif bitkisel kaynaklarda yoğun olarak bulunan saponinler, fitik asit ve izoflavonlar gibi anti-besinsel faktörler (ANF'ler); karnivor balık türlerinde bağırsak mukozasında şiddetli enteropatiyi tetiklemektedir. Moleküler düzeyde incelendiğinde bu süreç; Toll-benzeri reseptörler (TLR), NOD-benzeri reseptörler (NLR) ve RIG-I-benzeri reseptörler (RLR) gibi patojen tanıma mekanizmalarının aşırı uyarılmasıyla başlamakta, ardından NF-κB ve JAK-STAT sinyal kaskadlarının aktivasyonu ile pro-inflamatuvar sitokinlerin (*tnf-α*, *il-1β*, *il-6*, *il-8*) kontrolsüz regülasyonuna yol açmaktadır. Eşzamanlı olarak, okludin, klaudinler ve zonula occludens-1 (ZO-1) gibi sıkı bağlantı (tight junction) proteinlerinin gen ekspresyon düzeyleri baskılanmakta, mukus salgılayan kadehsi (goblet) hücre morfolojisi bozulmakta ve epitel geçirgenliği artmaktadır. Bağırsak bariyerinin yapısal çöküşü, mikrobiyota kompozisyonunda disbiyoza neden olarak yararlı bakterilerin azalmasına ve lümendeki bakteriyel lipopolisakkaritlerin (LPS) dolaşıma sızmasına zemin hazırlamaktadır. Bu derleme çalışması; alternatif yem kaynaklarının balık bağırsağındaki patojen tanıma reseptörleri, pro-inflamatuvar sinyal yolakları, epitel bariyer bütünlüğü ve mikrobiyota dengesi üzerindeki moleküler etkilerini kapsamlı bir şekilde sentezlemekte ve hassas akuakültür besleme stratejileri için hücresel düzeyde bir biyolojik çerçeve sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Mukozal Bariyer, Enteropati, Sıkı Bağlantı Proteinleri, Bağırsak İmmünolojisi, Disbiyoz, Alternatif Protein Kaynakları

MOLECULAR IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE FEED SOURCES ON MUCOSAL BARRIER AND GUT IMMUNOLOGY IN AQUACULTURE

Abstract

The global aquaculture sector is undergoing a critical dietary transition, replacing conventional marine-derived fishmeal with terrestrial plant proteins, insect meals, and single-cell proteins to alleviate pressure on finite marine resources. However, evaluating the physiological implications of these dietary shifts solely through conventional zootechnical metrics, such as Feed Conversion Ratio (FCR) and Specific Growth Rate (SGR), conceals underlying sub-clinical pathologies. This empirical "black box" approach fails to detect mucosal barrier compromise, cellular inflammation, and microbial dysbiosis until overt phenotypic losses and mortality manifest. Anti-nutritional factors (ANFs) predominantly saponins, phytic acid, and isoflavones present in soybean meal trigger severe enteropathy in carnivorous teleost species. At the molecular level, this enteropathy is initiated by the hyperactivation of pattern recognition receptors (PRRs), including Toll-like (TLR), NOD-like (NLR), and RIG-I-like receptors (RLR), which stimulate NF-κB and JAK-STAT signaling cascades, driving the upregulation of pro-inflammatory cytokines (*tnf-α*, *il-1β*, *il-6*, *il-8*). Concurrently, the transcriptional expression of key tight junction proteins, such as occludin, claudin isoforms, and zonula occludens-1 (ZO-1), is significantly suppressed, accompanied by goblet cell exhaustion and increased paracellular permeability. This structural disintegration of the intestinal barrier disrupts microbial homeostasis, fostering dysbiosis and facilitating the systemic translocation of bacterial lipopolysaccharides (LPS). This review comprehensively synthesizes the molecular perturbations induced by alternative feedstuffs on pattern recognition cascades, mucosal integrity, tight junction regulation, and the gut microbiota, establishing a mechanistic framework essential for developing robust precision aquafeed formulations.

Keywords: Mucosal Barrier, Enteropathy, Tight Junction Proteins, Gut Immunology, Dysbiosis, Alternative Protein Sources

1. Giriş

Modern su ürünleri yetiştiriciliği, dünya genelinde hızla artan hayvansal protein talebini karşılarken, geleneksel rasyonların temel taşı olan balık unu ve balık yağı gibi sınırlı pelajik kaynaklara bağımlılığı minimize etmek zorundadır (New & Wijkström, 2002). Sektörel sürdürülebilirliğin temini amacıyla balık ununun yerini büyük ölçüde karasal bitkisel proteinler, işlenmiş hayvansal yan ürünler, böcek unları ve tek hücre proteinleri almaktadır (Fan vd., 2022; Li vd., 2023; Öz vd., 2026a). Bununla birlikte, balık yağının karasal bitkisel yağlarla ikame edilmesi, yetiştiricilik balıklarının fileto kalitesinde EPA ve DHA gibi esansiyel n-3 uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin azalmasıyla nitelenen ilerleyici bir "besinsel erozyona" yol açmaktadır (Öz & Üstüner, 2026b). Rasyon bileşimindeki bu köklü metamorfoz, özellikle yüksek oranda bitkisel protein ve türevlerinin kullanıldığı karma yemlerde, balık gastrointestinal fizyolojisi üzerinde çok boyutlu stres faktörlerinin birikmesine zemin hazırlamaktadır (Öz, 2025; Öz & Üstüner, 2026d). Nitekim organizmanın maruz kaldığı subklinik fizyolojik baskı ve oksidatif stres dinamikleri, fenotipik büyüme parametrelerinde henüz belirgin bir gerileme görülmediği evrelerde dahi doku düzeyinde metabolik değişimleri başlatabilmektedir (Öz, 2025; Öz & Üstüner, 2026d).

Karasal bitki kaynaklı hammaddeler, yapılarında balıkların evrimsel süreçte adapte olmadığı çeşitli anti-besinsel faktörleri (ANF) barındırmaktadır. Başta soya küspesi olmak üzere çeşitli baklagillerde yer alan saponinler, fitik asit, tanenler, tripsin inhibitörleri ve izoflavonlar; besin maddelerinin biyoyararlanımını sınırlandırmanın ötesinde bağırsak epitel hücreleri ve mukozal immünite üzerinde doğrudan toksik ve yıkıcı etkiler oluşturmaktadır (He vd., 2020; Zhang vd., 2021c). Endüstriyel ölçekte balık besleme denemeleri ve yem kalite kontrolleri uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak Yem Dönüşüm Oranı (FCR) ve Spesifik Büyüme Oranı (SGR) gibi fenotipik ve ekonomik modelleme parametrelerine dayandırılmıştır. Ancak bu geleneksel yaklaşım, organizmayı bir "kara kutu" olarak ele almakta ve yemin sindirim kanalından emilimi ile somatik büyüme arasındaki karmaşık biyolojik süreçleri göz ardı etmektedir (Öz & Üstüner, 2026e).

Son yıllarda gerçekleştirilen transkriptomik ve moleküler çalışmalar; balıkların zooteknik performanslarında henüz ölçülebilir bir gerileme ya da klinik hastalık tablosu şekillenmeden çok önce, bağırsak mukozasında hücresel düzeyde hasarın başladığını açıkça göstermektedir. Hayvanlar normal büyüme eğrisi sergilerken dahi, intestinal dokularda NF-κB ve TNF-α gibi yangısal kaskadların aktive olduğu ve besin emiliminden sorumlu taşıyıcı genlerin transkripsiyonel düzeyde baskılandığı tespit edilmiştir (Zhang vd., 2021c). Dahası, rasyon içeriklerine verilen moleküler ve immünolojik tepkiler, balığın genetik profiline ve soy hattına göre de değişkenlik göstermektedir; nitekim gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) izojenik hatlarının tamamen

bitkisel diyetleri metabolize etme ve enerjiyi koruma kapasitelerinin genetik varyasyonlara bağlı olarak farklılaştığı gösterilmiştir (Callet vd., 2021). Bu durum, balık besleme biliminin ampirik deneme-yanılma yöntemlerinden uzaklaşarak, mukozal bariyer stabilitesini ve bağırsak immünitesini mekanistik bir temelde inceleyen moleküler biyoloji yaklaşımlarına yönelmesini zorunlu kılmaktadır. Bu derleme, alternatif yem bileşenlerinin teleost bağırsak mukozasında tetiklediği immünolojik yolakları, epitel bariyer proteinlerindeki regülasyonları ve mikrobiyota eksenindeki hücresel değişimleri bütüncül bir bakış açısıyla ele almayı amaçlamaktadır.

2. Soya Küspesi Kaynaklı Enteropatinin Moleküler Etyolojisi: Patojen Tanıma Reseptörleri ve Pro-inflamatuvar Sinyal Kaskadları

Alternatif yem bileşenleri arasında yer alan soya küspesi ve türevleri, karnivor balık türlerinde yaygın olarak "soya küspesi kaynaklı enterit" (Soybean Meal-Induced Enteritis, SBMIE) olarak tanımlanan non-enfeksiyöz subakut veya kronik bir yangısal sendroma neden olmaktadır (He vd., 2020; Kortner vd., 2012). SBMIE'nin hücresel düzeydeki başlangıcı, soya fasulyesinde bulunan saponin gibi biyoaktif bileşenlerin bağırsak epiteliyle doğrudan teması neticesinde konakçının patojen tanıma reseptörleri (PRR'ler) sistemini uygunsuz biçimde uyarmasıyla tetiklenir (He vd., 2020; Kiron vd., 2020). Yüksek çözünürlüklü transkriptomik veriler, SBMIE tablosunda bağırsak dokusunda Toll-benzeri reseptörler (TLR'ler; özellikle *tlr2*, *tlr5b*), NOD-benzeri reseptörler (NLR'ler; örneğin *nod1*) ve RIG-I-benzeri reseptörlerin (RLR'ler) transkripsiyonel seviyelerinde kuvvetli bir yukarı regülasyon (up-regulation) gerçekleştiğini belgelemektedir (He vd., 2020; Öz & Üstüner, 2026c, 2026e; Zhang vd., 2021c; Zheng vd., 2024).

PRR aktivasyonunu takiben hücre içi sinyal iletimi; MyD88 adaptör proteini aracılığıyla nükleer faktör kappa B (NF-κB) yoluna, mitojenle aktive olan protein kinaz (MAP3K1/MAPK) kaskadına ve Janus kinaz/sinyal transduseri ve transkripsiyon aktivatörü (JAK-STAT; *jak1/2b*, *stat1/5a*) mekanizmalarına iletilmektedir (He vd., 2020; Öz vd., 2026b; Seibel vd., 2022; Tan vd., 2019). Bu sinyal ağlarının nükleer translokasyonu, pro-inflamatuvar sitokin fırtınasının transkripsiyonel olarak indüklenmesiyle sonuçlanmaktadır. Hibrit orfoz (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂), Atlantik somonu (*Salmo salar*), kalkan (*Scophthalmus maximus*) ve levrek türlerinde soya küspesi tüketimi sonrasında; tümör nekroz faktörü-alfa (*tnf-α*), interlökin-1 beta (*il-1β*), interlökin-6 (*il-6*), interlökin-8 (*il-8*), interlökin-17 (*il-17*) ve koloni uyarıcı faktör 1 (*csf1*) gibi yangı mediyatörlerinin mRNA ifadelerinde dramatik artışlar saptanmıştır (He vd., 2020; Kiron vd., 2020; Król vd., 2016; Öz vd., 2025b; Pang vd., 2023; Tan vd., 2019; Üstüner vd., 2026a; Zhang vd., 2021b). Özellikle hibrit orfozların karaciğer ve bağırsak dokularında yapılan transkriptomik analizler, soya küspesi tüketiminin

bağışıklık genlerinde ciddi sapmalara yol açarak hücresel homeostazı bozduğunu açıkça göstermektedir (Pang vd., 2024).

Eşzamanlı olarak, doku homeostazını ve immün toleransı korumakla görevli anti-inflamatuvar sitokinler olan interlökin-4 (*il-4*), interlökin-10 (*il-10*) ve transforme edici büyüme faktörü-beta 1 (*tgf-β1*) genlerinin ekspresyon düzeylerinde belirgin bir aşağı regülasyon (down-regulation) şekillenmektedir (He vd., 2020; Su vd., 2025; Zhang vd., 2018). Pro-inflamatuvar ve anti-inflamatuvar sinyaller arasındaki bu dengesizlik, bağırsak mukozasında kontrolsüz bir immün yanıta, lamina propriada lökosit infiltrasyonuna ve yerel doku yıkımına yol açmaktadır (Sahlmann vd., 2013; Zhang vd., 2021a). Ayrıca, kalsiyum homeostazı ve yangı regülasyonunda görevli *s100a* ailesi genlerinin (örneğin *s100i2*, *s100v2*) soya içeren diyetlerle beslenen alabalık ve Atlantik somonunda disregüle olması, hücresel stresin boyutunu ortaya koymaktadır (Blaufuss vd., 2019; Tsai vd., 2023).

Öte yandan, konakçının bu enteropatik yanıta karşı toleransı önemli ölçüde genetik zemin tarafından yönlendirilmektedir. Zebrabalığı (*Danio rerio*) modellerinde yürütülen araştırmalar, soya küspesi ve saponin maruziyetine dirençli hatlarda *aif1l*, *arid3c* ve *cst14b.2* genlerindeki tek nükleotid polimorfizmlerinin (SNP) yangısal yanıtı baskıladığını ve lipid katabolizmasını optimize ederek büyüme hızını koruduğunu göstermiştir (Ulloa vd., 2024; Valenzuela vd., 2021). Benzer biçimde, Avrupa levreği (*Dicentrarchus labrax*) seleksiyon hatlarında, düşük balık unlu rasyon tüketimine rağmen distal bağırsakta fizyolojik *il-1β*, *tnf-α* ve *il-10* transkripsiyon düzeylerini koruyabilen ve mikrobiyal kararlılığını sürdüren yabani tip genotiplerin varlığı belirlenmiştir (Torrecillas vd., 2023). Bu genetik varyasyonlar, soya küspesi kaynaklı enteropatinin evrensel tek bir biyolojik şablonla sınırlı olmadığını; tür, soy ve hatta bireysel genetik arka planın mukozal immünite yanıtlarında tayin edici olduğunu kanıtlamaktadır.

3. Bağırsak Epitel Bütünlüğü ve Sıkı Bağlantı (Tight Junction) Komplekslerinin Transkriptomik Regülasyonu

Bağırsak epiteli; besin maddelerinin emilimini gerçekleştirirken aynı zamanda lümende bulunan antijenlerin, toksinlerin ve fırsatçı patojenlerin steril iç ortama geçişini engelleyen son derece seçici ve dinamik bir fiziksel bariyerdir. Bu bariyerin mimari stabilitesi, enterositlerin apikolateral membranlarında yer alan sıkı bağlantı (tight junction - TJ) kompleksleri tarafından sağlanır. Soya küspesi ve benzeri alternatif protein kaynaklarının içerdiği ANF'ler, enterosit apoptozunu indükleyerek ve sıkı bağlantı proteinlerinin sentezini transkripsiyonel düzeyde baskılayarak mukozal mimaride ciddi morfolojik yıkımlara yol açmaktadır (He vd., 2020; Su vd., 2025; Zhang vd., 2021c).

Yapılan histopatolojik ve transkriptomik çalışmalar; yüksek soya küspesi içeren rasyonların kadehsi (goblet) hücre yoğunluğunda tükenmeye ve müsin biyosentezinde kritik düşüşe neden olduğunu doğrulamaktadır (He vd., 2020; Zhang vd., 2021b). Koruyucu mukus tabakasının incelmesiyle savunmasız kalan enterosit tabakasında; hücresel adezyonu ve parasellüler geçirgenlik direncini yöneten zonula occludens-1 (*zo-1*), okludin (*occludin*) ve klaudin (*claudin-3*, *claudin-4*, *claudin-7*) genlerinin mRNA transkripsiyonu anlamlı düzeyde inhibe edilmektedir (Chen vd., 2024; Öz & Üstüner, 2026c; Öz vd., 2026b; Su vd., 2025; Tan vd., 2019; Zhang vd., 2021c). Sudak balığında (*Micropterus salmoides*), zeytin pisi balığında (*Paralichthys olivaceus*) ve sazan balığında (*Cyprinus carpio*); soya proteininin balık ununun yerini alması, villus boylarında kısalma, lamina propria kalınlaşması ve *zo-1* ile *occludin* gen ekspresyonlarında keskin azalmalarla sonuçlanmıştır (Chen vd., 2024; D. Xie vd., 2021; Su vd., 2025).

Sıkı bağlantı komplekslerinin bozulması, hücresel stres yolaklarının uyarılmasıyla doğrudan bağlantılıdır. Soya küspesi kaynaklı toksisite, enterositlerde endoplazmik retikulum stresini (ERS) tetikleyerek *grp78* ve *chop* genlerinin aşırı ekspresyonuna yol açmaktadır (Su vd., 2025). Eşzamanlı olarak, mitokondriyal ve ölüm reseptörü aracılı apoptotik kaskadların aktive olmasıyla kaspaz-3 (*caspase-3*), kaspaz-8 (*caspase-8*) ve kaspaz-9 (*caspase-9*) transkriptlerinde meydana gelen artış, bağırsak epitel hücrelerinin programlı hücre ölümüne sürüklenmesini hızlandırmaktadır (Chen vd., 2024; Su vd., 2025). Nitekim sucul organizmalarda toksisite ve metabolik stres kaynaklı şekillenen hücresel dejenerasyon ile apoptotik doku yıkımlarının, rasyonlara dahil edilen fonksiyonel fitobiyotikler ve antioksidan katkılarla belirgin düzeyde sınırlandırılabildiği ve doku rejenerasyonunun hızlandırılabildiği gösterilmiştir (Gümüş vd., 2026; Öz vd., 2024a, 2024b; Öz vd., 2026c; Üstüner vd., 2026a, 2026b).

Hücresel bütünlüğün ve sıkı bağlantıların kaybı iki temel patofizyolojik sonuca yol açmaktadır:

- **Artmış Parasellüler Geçirgenlik ve Antijen Translokasyonu:** Bozulan parasellüler aralıklar ("leaky gut" fenomeni), lümende bulunan bakteriyel parçalanma ürünlerinin, özellikle Gram-negatif kökenli endotoksinlerin (LPS), lamina propriaya ve oradan portal dolaşım yoluyla karaciğere ve sistemik dolaşıma transloke olmasına zemin hazırlar (He vd., 2020; Okyere & Hu, 2023; Üstüner vd., 2026c). Bu durum lokal enteriti aşarak sistemik kronik yangıyı ve hepatik metabolik bozuklukları tetikler.
- **Besin Maddesi Taşıyıcı Sistemlerinin Çöküşü:** Bağırsak epitelinin hasar görmesi, mikrovillus yüzey alanını daraltırken, fırçamsı kenar membranında yer alan esansiyel besin taşıyıcılarının gen ifadesini bastırır. Japon levreğinde (*Lateolabrax japonicus*) yapılan araştırmalar, soya ikameli yemlerin peptid taşıyıcısı 1 (*pept1*) ile nötr amino asit taşıyıcıları olan *lat1* ve *slc1a5* transkriptlerini anlamlı düzeyde düşürdüğünü,

bunun sonucunda protein ve amino asit emilim kapasitesinin çöktüğünü göstermiştir (Zhang vd., 2018). Buna karşın, rasyonlarda biyoyararlanımı yüksek biyoaktif nano-formülasyonların ve esansiyel iz elementlerin (özellikle selenyum ve bor) dengeli seviyelerde kullanımı; enterosit membran stabilitesini ve hücresel antioksidan kapasiteyi destekleyerek besin maddesi emilim etkinliğini, yem dönüşüm oranını (FCR) ve protein kullanımını anlamlı ölçüde restore edebilmektedir (Çelik vd., 2024; Dikel vd., 2026; Öz, 2025).

Bariyer fonksiyonunun transkriptomik ve morfolojik düzeyde çökmesi, balıkların yemden yararlanma kabiliyetini doğrudan baltalamakta ve sindirim kanalı kaynaklı enfeksiyonlara karşı konağı bütünüyle savunmasız bırakmaktadır.

4. Diyetle İndüklenen Mikrobiyal Disbiyoz ve Konak İmmünostabilitesi Arasındaki Çift Yönlü Etkileşim

Teleost balıklarının bağırsak mikrobiyotası; besin maddelerinin enzimatik parçalanması, esansiyel metabolitlerin (örneğin kısa zincirli yağ asitleri - SCFA) üretimi, mukozal epitelin beslenmesi ve patojenlerin kolonizasyon direnci ile engellenmesi fonksiyonlarında hayati bir ekolojik filtre görevi üstlenir (Rai vd., 2025; Yukgehnaish vd., 2020). Yem formülasyonlarında balık ununun bitkisel kaynaklar, böcek unları (*Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*) veya tek hücre proteinleri ile değiştirilmesi, bağırsak lümenindeki substrat kompozisyonunu radikal olarak değiştirerek mikrobiyal ekosistem üzerinde güçlü bir seçici baskı oluşturmaktadır (Basto vd., 2020; Rimoldi vd., 2020, 2021).

Karasal bitkisel proteinlerin yüksek oranda dahil edildiği rasyonlar, bağırsak mikrobiyota kompozisyonunda alfa ve beta çeşitliliğinde azalma ile karakterize edilen belirgin bir mikrobiyal disbiyoza yol açmaktadır (Bera vd., 2023; Serra vd., 2021). Genomik ve metagenomik analizler, diyet değişimine en hassas yanıtı lümen içerisindeki digesta kaynaklı bakteriyel toplulukların verdiğini, mukozaya yerleşik "çekirdek" (core) mikrobiyotanın ise görece daha dirençli olduğunu ortaya koymaktadır (Rimoldi vd., 2020, 2021; Serra vd., 2021). Bitkisel protein kaynaklı disbiyoz sürecinde; konak sağlığını destekleyen Firmicutes, Bacteroidetes ve Fusobacteria filumlarının bağıl bolluğu gerilerken, bünyesinde çok sayıda fırsatçı patojeni barındıran Proteobacteria filumunun kontrolsüz şekilde genişlediği saptanmıştır (Li vd., 2024; Rimoldi vd., 2021; Serra vd., 2021).

Bu taksonomik kaymalar, bağırsak mikrobiyotasının fonksiyonel metabolik kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Normal koşullarda selülolitik, proteolitik ve amilolitik enzimler üreterek sindirime katkı sunan ve bütirat gibi SCFA sentezleyen yararlı mikroorganizmaların baskılanması, konak enterositlerinin birincil

enerji kaynağından mahrum kalmasına yol açmaktadır (Kong vd., 2024; Li vd., 2024; Öz vd., 2026a). Çim sazanında (*Ctenopharyngodon idellus*) gerçekleştirilen çok katmanlı omik analizler; Proteobacteria ile Fusobacteria/Firmicutes dengesinin bozulmasının, konakçının SCFA'ya duyarlı intestinal ve hepatik transkripsiyonel modülleri doğrudan etkilediğini ve lipid ile protein metabolizmasını bozduğunu belgelemiştir (Li vd., 2024). Benzer biçimde, fırsatçı bakterilerin artışı lümendeki serbest lipopolisakkarit (LPS) konsantrasyonunu yükselterek, Bölüm 2'de detaylandırılan TLR-NF-κB aracılı mukozal yangıyı sürekli olarak alevlendirmektedir (Bera vd., 2023; Öz & Üstüner, 2026d; Serra vd., 2021).

Son dönem araştırmaları, alternatif yem kaynaklarının neden olduğu bu disbiyotik ve yangısal tabloyu tersine çevirmek amacıyla çeşitli fonksiyonel katkı maddelerine odaklanmaktadır:

- **Prebiyotik Müdahaleler:** Galaktomannanlar, inulin, agavin ve *Aloe* kaynaklı polisakkaritlerin rasyona ilavesi; patojenik Vibrionales ve koliform popülasyonlarını baskılarken, bütirat üreten yararlı Lactobacillales ve Bacillales taksonlarını zenginleştirmekte ve mukozal bariyer yapısını restore etmektedir (Bera vd., 2023; De Marco vd., 2023; Öz & Üstüner, 2026e; Öz vd., 2026b; Rimoldi vd., 2020).
- **Kısa Zincirli Yağ Asidi Tuzları ve Türevleri:** Rasyona tributirin veya alanil-glutamin dipeptidi ilavesinin, sudak ve sazan balıklarında soya küspesi kaynaklı bağırsak lezyonlarını hafiflettiği, sıkı bağlantı ekspresyonlarını artırdığı ve mikrobiyotayı normalize ettiği bildirilmiştir (D. Xie vd., 2021; Zhao vd., 2023).
- **Faydalı Bakteriyel Fermentasyon Ürünleri:** Metanotrof bakteri ununun (*Methylococcus capsulatus*) kalkan rasyonlarına dahil edilmesi veya *Cetobacterium somerae* fermentasyon ürünlerinin kullanımı; soya kaynaklı enteritin yangısal parametrelerini hafifletmiş, immün toleransı pekiştirmiş ve mikrobiyota profilini stabilize etmiştir (M. Xie vd., 2021; Zheng vd., 2024).
- **Fitogenik Ekstraktlar ve Esansiyel Yağlar:** Rasyonlara enginar (*Cynara scolymus*) yaprağı ekstraktı veya anason (*Pimpinella anisum*) yağı gibi biyoaktif fitogenik kaynakların uygun dozlarda dahil edilmesi; sindirim enzim aktivitelerini uyararak yemden yararlanmayı (FCR) iyileştirmekte, bağırsak dokusunda hücresel antioksidan savunma sistemlerini (SOD, CAT, GPx) aktive ederek enteropati kaynaklı yangısal ve oksidatif hasarları hafifletmektedir (Esen vd., 2025; Öz vd., 2026a; Tok vd., 2025).

Bu bulgular, balık bağırsak mikrobiyomunun pasif bir sindirim bileşeni olmadığını; mukozal bariyer gen ekspresyonları ve konakçı immünostabilitesi ile sürekli, dinamik ve çift yönlü bir iletişim halinde olduğunu göstermektedir. Bu karmaşık etkileşim ağının gerçek zamanlı olarak izlenmesi, sürdürülebilir Mavi Dönüşüm hedefleriyle uyumlu rasyon optimizasyonlarının yapılması ve subklinik patolojilerin erkenden öngörülmesinde

ise biyosensörler, dijital ikizler ve yapay zekâ tabanlı prediktif karar destek sistemleri kilit bir rol üstlenmektedir (Öz & Üstüner, 2026a; Öz vd., 2025a).

5. Sonuç

Sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği hedefi doğrultusunda rasyonlarda balık unu ikamesi amacıyla alternatif ham madde kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Ancak bu dönüşüm sürecinde, yem formülasyonlarının başarısını sadece FCR ve SGR gibi geleneksel zooteknik parametrelerle ölçen ampirik modeller, bağırsak dokusunda şekillenen subklinik moleküler yıkımları göz ardı etmektedir. Moleküler düzeydeki kanıtlar; yüksek oranda karasal bitkisel protein ve ANF içeren yemlerin, patojen tanıma reseptörleri (TLR, NLR, RLR) ve ilişkili NF-κB ile JAK-STAT kaskadlarını uyararak şiddetli bir pro-inflamatuvar sitokin kaskadı başlattığını tartışmasız biçimde ortaya koymaktadır. Bu kronik yangı ortamı, sıkı bağlantı (tight junction) komplekslerinin (*zo-1*, *occludin*, *claudin*ler) transkripsiyonel çöküşü, goblet hücre kaybı, artmış parasellüler geçirgenlik ve mikrobiyal disbiyoz ile birleştiğinde, mukozal bariyer bütünlüğünü ortadan kaldırmaktadır.

Akuakültür sektörünün geleceğinde, alternatif protein kaynaklarının optimize edilmesi; mikrobiyota-konak etkileşimlerini düzenleyen, epitel bariyer bütünlüğünü koruyan ve immünolojik toleransı gözeten moleküler temelli hassas besleme (precision aquafeed) yaklaşımlarının benimsenmesine bağlıdır. Bu bağlamda, prebiyotikler, fonksiyonel organik asit türevleri ve fermente ürünler gibi koruyucu stratejilerin rasyonlara dahil edilmesi, alternatif hammaddelerin getirdiği patolojik riskleri hafifletmede vazgeçilmez araçlar sunmaktadır. Balık türlerinin genotipik yanıtlarının ve mukozal bariyer transkriptomunun dikkate alındığı çok boyutlu besleme modelleri, su ürünleri endüstrisinin hem ekolojik hem de biyolojik açıdan sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasını sağlayacaktır.

Kaynakça

Basto, A., Matos, E., & Valente, L. M. (2020). Nutritional value of different insect larvae meals as protein sources for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 521, 735085. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735085

Bera, A. K., Chowdhury, H., Ghatak, S., Malick, R. C., Chakraborty, N., Chakraborty, H. J., ... Das, B. K. (2023). Microbiome analysis reveals potential for modulation of gut microbiota through polysaccharide-based prebiotic feeding in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *Frontiers in Physiology*, 14, 1168284. https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1168284

Blaufuss, P. C., Gaylord, T. G., Sealey, W. M., & Powell, M. S. (2019). Effects of high-soy diet on S100 gene expression in liver and intestine of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 86, 764-771. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.020

Callet, T., Dupont-Nivet, M., Danion, M., Burel, C., Cluzeaud, M., Surget, A., ... Panserat, S. (2021). Why do some rainbow trout genotypes grow better with a complete plant-based diet? Transcriptomic and physiological analyses on three isogenic lines. *Frontiers in Physiology*, 12, 732321. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.732321

Çelik, M., Dikel, S., & Öz, M. (2024). Investigation of the effect of water and feed sourced boron on the growth performance and blood parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(6), e13104. https://doi.org/10.1111/jwas.13104

Chen, W., Gao, S., Chang, K., Zhang, Z., Zhao, N., & Huang, Y. (2024). Partial fishmeal replacement by soybean meal induces fish growth retardation and gut inflammation via gut mucosal barrier dysfunction and dysbiosis in largemouth bass. *Animal Feed Science and Technology*, 316, 116067. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116067

De Marco, G., Cappello, T., & Maisano, M. (2023). Histomorphological changes in fish gut in response to prebiotics and probiotics treatment to improve their health status: A review. *Animals*, 13(18), 2860. https://doi.org/10.3390/ani13182860

Dikel, S., Öz, M., Erşatır, M., Dikel, Ç., Üstüner, E., & Demirkol, O. (2026). Comparative effects of dietary inorganic and nano forms of selenium on growth, hematological, biochemical, and antioxidant responses in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical Animal Health and Production*, 58, 530. https://doi.org/10.1007/s11250-026-05330-0

Esen, R., Öz, M., & Dikel, S. (2025). Effects of artichoke (*Cynara scolymus*) leaf extract on the growth, blood, and biochemistry parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical Animal Health and Production*, 57(6), 284. https://doi.org/10.1007/s11250-025-04536-y

Fan, Z., Li, C., Wu, D., Li, J., Wang, L., Cao, D., ... Xie, S. (2022). Evaluation of four novel protein sources as alternatives to soybean meal for two specifications of cage-farmed grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) feeds: Effect on growth performance, flesh quality, and expressions of muscle-related genes. *Frontiers in Marine Science*, 9, 935651. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.935651

Gümüş, H., Dikel, S., & Öz, M. (2026). Mitigating deltamethrin-induced systemic toxicity in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) via dietary artichoke (*Cynara scolymus*) leaf extract: a multi-biomarker approach. *Aquaculture International*, 34(5), 158. https://doi.org/10.1007/s10499-026-02559-2

He, Y., Ye, G., Chi, S., Tan, B., Dong, X., Yang, Q., ... Zhang, S. (2020). Integrative transcriptomic and small RNA sequencing reveals immune-related miRNA–mRNA regulation network for soybean meal-induced enteritis in hybrid grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*♀× *Epinephelus lanceolatus*♂. *Frontiers in Immunology*, 11, 1502. https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01502

Kiron, V., Park, Y., Siriyappagouder, P., Dahle, D., Vasanth, G. K., Dias, J., ... Trichet, V. V. (2020). Intestinal transcriptome analysis reveals soy derivative-linked changes in Atlantic salmon. *Frontiers in Immunology*, 11, 596514. https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.596514

Kong, M., Zhao, W., Wang, C., Qi, J., Liu, J., & Zhang, Q. (2024). A well-established gut microbiota enhances the efficiency of nutrient metabolism and improves the growth performance of *Trachinotus ovatus*. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10), 5525. https://doi.org/10.3390/ijms25105525

Kortner, T. M., Skugor, S., Penn, M. H., Mydland, L. T., Djordjevic, B., Hillestad, M., ... Krogdahl, Å. (2012). Dietary soyasaponin supplementation to pea protein concentrate reveals nutrigenomic interactions underlying enteropathy in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *BMC Veterinary Research*, 8(1), 101. https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-101

Król, E., Douglas, A., Tocher, D. R., Crampton, V. O., Speakman, J. R., Secombes, C. J., & Martin, S. A. (2016). Differential responses of the gut transcriptome to plant protein diets in farmed Atlantic salmon. *BMC Genomics*, 17(1), 156. https://doi.org/10.1186/s12864-016-2474-0

Li, M., Liang, H., Yang, H., Ding, Q., Xia, R., Chen, J., ... Yao, Y. (2024). Deciphering the gut microbiome of grass carp through multi-omics approach. *Microbiome*, 12(1), 2. https://doi.org/10.1186/s40168-023-01716-1

Li, X., Wang, S., Zhang, M., Jiang, H., Qian, Y., Wang, R., & Li, M. (2023). Comprehensive analysis of metabolomics on flesh quality of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) fed plant-based protein diet. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1166393. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1166393

New, M. B., & Wijkström, U. N. (2002). Use of fishmeal and fish oil in aquafeeds: further thoughts on the fishmeal trap. *FAO Fisheries Circular* No. 975, Rome.

Okyere, S. K., & Hu, Y. (2023). An overview of the toxic effects and mechanisms of zearalenone, aflatoxins, and deoxynivalenol on intestinal integrity damage in humans and animals: A comprehensive review. *Venoms and Toxins*, 3(2), 105-121. https://doi.org/10.2174/2666121703666230605120559

Öz, M. (2025). Effects of boric acid on oxidative stress parameters, growth performance and blood parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biological Trace Element Research*, 203(3), 1647–1655. https://doi.org/10.1007/s12011-024-04276-4

Öz, M., Inanan, B. E., Üstüner, E., Karagoz, B., & Dikel, S. (2024a). Effects of dietary garlic (*Allium sativum*) oil on growth performance, haemato-biochemical and histopathology of cypermethrin-intoxicated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Medicine and Science*, 10(3), e1449. https://doi.org/10.1002/vms3.1449

Öz, M., & Üstüner, E. (2026a). Artificial intelligence for blue transformation: A review of predictive modeling and decision support systems in sustainable aquaculture. *Sustainable Development*, 1–18. https://doi.org/10.1002/sd.71290

Öz, M., & Üstüner, E. (2026b). Beyond the omega-3 bottleneck: Microalgal biorefineries as a sustainable paradigm for aquafeeds. *Algal Research*, 104700. https://doi.org/10.1016/j.algal.2026.104700

Öz, M., & Üstüner, E. (2026c). Nanotechnology-based immunostimulants in aquaculture: Mechanisms, advances and practical applications. *Veterinary Medicine and Science*, 12, e71158. https://doi.org/10.1002/vms3.71158

Öz, M., & Üstüner, E. (2026d). Nutritional detoxification strategies in aquaculture: bioactive feed additives mitigating oxidative stress and xenobiotic toxicity in fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 52(4), 104. https://doi.org/10.1007/s10695-026-01729-6

Öz, M., & Üstüner, E. (2026e). Omics technologies in aquafeed: unlocking the black box towards systems biology. *Functional & Integrative Genomics*, 26(1), 145. https://doi.org/10.1007/s10142-026-01937-6

Öz, M., Üstüner, E., & Bölükbaş, F. (2024b). Effects of dietary black cumin (*Nigella sativa* L.) oil on growth performance, hemato-biochemical and histopathology of cypermethrin-intoxicated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(1), 273–288. https://doi.org/10.1111/jwas.13005

Öz, M., Üstüner, E., & Çifci, S. (2026a). Medicinal and aromatic plant oils in aquafeeds: Mechanistic perspectives on growth promotion, immunomodulation, and stress resilience. *Aquaculture Nutrition*, 2026, 8992384. https://doi.org/10.1155/anu/8992384

Öz, M., Üstüner, E., Çifci, S., Budak, F., İleri, E., & Dikel, S. (2025a). Artificial intelligence for fish disease diagnosis and management: innovations, challenges, and One Health implications. *Aquaculture International*, 33(7), 652. https://doi.org/10.1007/s10499-025-02352-7

Öz, M., Üstüner, E., Çifci, S., Dikel, S., İleri, E., & Budak, F. (2026b). Innovative field applications of probiotics, prebiotics, and medicinal plant products for disease control in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, e70227. https://doi.org/10.1111/jfd.70227

Öz, M., Üstüner, E., & Dikel, S. (2026c). The protective role of dietary black cumin (*Nigella sativa* L.) oil against waterborne boric acid in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): hematological, biochemical, oxidative stress, and histopathological responses. *Aquaculture International*, 34(1), 19. https://doi.org/10.1007/s10499-025-02422-w

Öz, M., Üstüner, E., Jumayeva, M., & Dikel, S. (2025b). Dietary *Nigella sativa* oil confers protection against diazinon toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): a detoxification-based approach. *Veterinary Research Communications*, 49(5), 305. https://doi.org/10.1007/s11259-025-10861-2

Pang, A., Peng, C., Xie, R., Wang, Z., Tan, B., Wang, T., & Zhang, W. (2023). Effects of fermented soybean meal substitution for fish meal on intestinal flora and intestinal health in pearl gentian grouper. *Frontiers in Physiology*, 14, 1194071. https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1194071

Pang, A., Wang, T., Xie, R., Wang, Z., Xin, Y., Tan, B., & Zhang, W. (2024). Effects of soybean meal on immunity and transcriptomics of liver in pearl gentian grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀× *Epinephelus lanceolatus*♂). *Aquaculture Reports*, 35, 101969. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.101969

Rai, N., Kachore, A., Julka, J., Panigrahi, A., Das, S. P., & Nan, F.-H. (2025). Symbiotic strategies: deciphering the role of gut microbiota in the nutrition and metabolism of fish and shellfish. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 15, 1639426. https://doi.org/10.3389/fcimb.2025.1639426

Rimoldi, S., Antonini, M., Gasco, L., Moroni, F., & Terova, G. (2021). Intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) may be improved by feeding a *Hermetia illucens* meal/low-fishmeal diet. *Fish Physiology and Biochemistry*, 47(2), 365-380. https://doi.org/10.1007/s10695-020-00918-1

Rimoldi, S., Torrecillas, S., Montero, D., Gini, E., Makol, A., Valdenegro V, V., ... Terova, G. (2020). Assessment of dietary supplementation with galactomannan oligosaccharides and phytogenics on gut

microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed low fishmeal and fish oil based diet. *PloS One*, 15(4), e0231494. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231494

Sahlmann, C., Sutherland, B. J., Kortner, T. M., Koop, B. F., Krogdahl, Å., & Bakke, A. M. (2013). Early response of gene expression in the distal intestine of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during the development of soybean meal induced enteritis. *Fish & Shellfish Immunology*, 34(2), 599-609. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.11.031

Seibel, H., Chikwati, E., Schulz, C., & Rebl, A. (2022). A multidisciplinary approach evaluating soybean meal-induced enteritis in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fishes*, 7(1), 22. https://doi.org/10.3390/fishes7010022

Serra, C. R., Oliva-Teles, A., Enes, P., & Tavares, F. (2021). Gut microbiota dynamics in carnivorous European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed plant-based diets. *Scientific Reports*, 11(1), 447. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80123-5

Su, Z., Zhang, Y., Wei, C., Zhang, F., Wang, L., Li, Y., ... Mu, H. (2025). Effects of replacing fishmeal with soybean meal on intestinal histology, antioxidation, endoplasmic reticulum stress, inflammation, tight junction, and microbiota in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Animals*, 15(19), 2895. https://doi.org/10.3390/ani15192895

Tan, C., Zhou, H., Wang, X., Mai, K., & He, G. (2019). Resveratrol attenuates oxidative stress and inflammatory response in turbot fed with soybean meal based diet. *Fish & Shellfish Immunology*, 91, 130-135. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.05.023

Tok, S., Öz, M., & Dikel, S. (2025). Effects of dietary anise (*Pimpinella anisum* L.) oil on growth performance, blood parameters and muscle nutrient content of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Medicine and Science*, 11(4), e70443. https://doi.org/10.1002/vms3.70443

Torrecillas, S., Rimoldi, S., Montero, D., Serradell, A., Acosta, F., Fontanillas, R., ... Terova, G. (2023). Genotype x nutrition interactions in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effects on gut health and intestinal microbiota. *Aquaculture*, 574, 739639. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739639

Tsai, T.-Y., Hernandez, L. H. H., Gaylord, T. G., & Powell, M. S. (2023). Effects of dietary soybean meal inclusion on calcium-binding protein expression and inflammatory gene markers in liver and intestine of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Reports*, 30, 101624. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101624

Ulloa, P. E., Jilberto, F., Lam, N., Rincon, G., Valenzuela, L., Cordova-Alarcon, V., ... Elgueta, S. (2024). Identification of single-nucleotide polymorphisms in differentially expressed genes favoring soybean meal

tolerance in higher-growth zebrafish (*Danio rerio*). *Marine Biotechnology*, 26(4), 754-765. https://doi.org/10.1007/s10126-024-10332-9

Üstüner, E., Öz, M., & Çifci, S. (2026a). *Nigella sativa* oil ameliorates malathion-induced toxicity in Nile tilapia: a multi-systemic and molecular evaluation. *Fish Physiology and Biochemistry*, 52(4), 121. https://doi.org/10.1007/s10695-026-01745-6

Üstüner, E., Öz, M., & Dikel, S. (2026b). Beyond self-recovery: dietary artichoke leaf extract accelerates tissue regeneration and redox homeostasis in deltamethrin-intoxicated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International*, 34(4), 236. https://doi.org/10.1007/s10499-026-02638-4

Üstüner, E., Öz, M., İleri, E., & Dikel, S. (2026c). The accelerating role of microplastics as vectors for synthetic pyrethroids: a critical review of bioaccumulation and trophic transfer in aquaculture ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 198, 999. https://doi.org/10.1007/s10661-026-15850-9

Valenzuela, L., Pacheco, S., Rincón, G., Pavez, L., Lam, N., Hernández, A. J., ... Ravanal, M. C. (2021). Intestinal transcriptome analysis reveals enrichment of genes associated with immune and lipid mechanisms, favoring soybean meal tolerance in high-growth zebrafish (*Danio rerio*). *Genes*, 12(5), 700. https://doi.org/10.3390/genes12050700

Xie, D., Dai, Q., Xu, C., & Li, Y. (2021). Dietary tributyrin modifies intestinal function by altering morphology, gene expression and microbiota profile in common carp (*Cyprinus carpio*) fed all-plant diets. *Aquaculture Nutrition*, 27(2), 439-453. https://doi.org/10.1111/anu.13203

Xie, M., Zhou, W., Xie, Y., Li, Y., Zhang, Z., Yang, Y., ... Zhou, Z. (2021). Effects of *Cetobacterium somerae* fermentation product on gut and liver health of common carp (*Cyprinus carpio*) fed diet supplemented with ultra-micro ground mixed plant proteins. *Aquaculture*, 543, 736943. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736943

Yukgehnaish, K., Kumar, P., Sivachandran, P., Marimuthu, K., Arshad, A., Paray, B. A., & Arockiaraj, J. (2020). Gut microbiota metagenomics in aquaculture: factors influencing gut microbiome and its physiological role in fish. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1903-1927. https://doi.org/10.1111/raq.12416

Zhang, C., Rahimnejad, S., Wang, Y.-R., Lu, K., Song, K., Wang, L., & Mai, K. (2018). Substituting fish meal with soybean meal in diets for Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*): Effects on growth, digestive enzymes activity, gut histology, and expression of gut inflammatory and transporter genes. *Aquaculture*, 483, 173-182. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.10.029

Zhang, W., Tan, B., Deng, J., Dong, X., Yang, Q., Chi, S., ... Zhang, H. (2021a). Effects of high level of fermented soybean meal substitution for fish meal on the growth, enzyme activity, intestinal structure protein and immune-related gene expression and intestinal flora in juvenile pearl gentian grouper. *Aquaculture Nutrition*, 27(5), 1433-1447. https://doi.org/10.1111/anu.13280

Zhang, W., Tan, B., Deng, J., Dong, X., Yang, Q., Chi, S., ... Zhang, H. (2021b). Mechanisms by which fermented soybean meal and soybean meal induced enteritis in marine fish juvenile pearl gentian grouper. *Frontiers in Physiology*, 12, 646853. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.646853

Zhang, W., Tan, B., Deng, J., & Zhang, H. (2021c). Multiomics analysis of soybean meal induced marine fish enteritis in juvenile pearl gentian grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*♀×*Epinephelus lanceolatus*♂. *Scientific Reports*, 11(1), 23319. https://doi.org/10.1038/s41598-021-02685-6

Zhao, J., Yang, X., Qiu, Z., Zhang, R., Xu, H., & Wang, T. (2023). Effects of tributyrin and alanyl-glutamine dipeptide on intestinal health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed with high soybean meal diet. *Frontiers in Immunology*, 14, 1140678. https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1140678

Zheng, J., Zhang, W., Dan, Z., Cao, X., Gong, Y., Mai, K., & Ai, Q. (2024). Dietary methanotroph bacteria meal alleviates soybean meal-induced enteritis by improving immune tolerance and intestinal flora profile of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Fish & Shellfish Immunology*, 148, 109463. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109463

SU ÜRÜNLERİNDE BİYO-TEMELLİ HASTALIK YÖNETİMİNDE MUKOZAL BARİYER DİNAMİKLERİ: PROBİYOTİK, PREBİYOTİK VE FİTOBİYOTİKLERİN İMMÜNO-REGÜLATÖR YOLAKLARI

[1]Arş. Gör.Dr. Enes ÜSTÜNER / [2]Prof. Dr. Mustafa ÖZ

[1] Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Sucul Hayvan Hastalıkları Anabilim Dalı, Aksaray, Türkiye

ORCID: 0000-0002-3837-5049

[2] Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Sucul Hayvan Hastalıkları Anabilim Dalı, Aksaray, Türkiye

ORCID: 0000-0001-5264-7103

Özet

Yoğun su ürünleri yetiştiriciliğinde karşılaşılan enfeksiyöz patolojiler ve kemoterapötiklere karşı gelişen antimikrobiyal direnç, sucul organizmaların endojen savunma sistemlerini destekleyen biyo-temelli stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Teleost balıklarında deri, solungaç ve gastrointestinal kanalı çevreleyen mukozal yüzeyler, patojen invazyonuna karşı ilk savunma hattını oluşturmaktadır. Bu derleme çalışmasında probiyotikler, klasik prebiyotikler ve sekonder metabolit içeren fitobiyotiklerin mukozal bariyer bütünlüğü ve immünomodülasyon üzerindeki etki mekanizmaları hücresel ve moleküler düzeyde incelenmiştir. Patojen Tanıma Reseptörleri (PRR'ler) ve bağırsakla ilişkili lenfoid doku (GALT) üzerinden tetiklenen sinyal iletim kaskadları, lokal sitokin dengesini düzenlemekte ve ortak mukozal immün ağ aracılığıyla sistemik lökosit trafiğini ve mukozal immünoglobulin (IgT/sIgA) sekresyonunu stimüle etmektedir. Probiyotiklerin ürettiği kısa zincirli yağ asitleri (SCFA) enterosit proliferasyonunu ve sıkı bağlantı (*tight junction*) mimarisini desteklerken, fitokimyasalların *quorum quenching* ve membran permeabilizasyon aktiviteleri patojen kolonizasyonunu baskılamaktadır. Bununla birlikte, karnivor ve omnivor türler arasındaki anatomik ve fizyolojik tezatlar, endüstriyel yem işleme proseslerindeki termal stres ve kontrolsüz dozajlamanın yol açtığı mukozal yorgunluk, biyo-katkıların sahadaki biyoyararlanımını sınırlandırmaktadır. Bu kısıtların aşılmasında mikroenkapsülasyon teknikleri, postbiyotik yaklaşımlar ve çoklu-omiks validasyonlarının entegrasyonu, öngörülebilir ve sürdürülebilir bir balık sağlığı yönetimi için kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Mukozal İmmünite, Probiyotikler, Prebiyotikler, Fitobiyotikler, GALT, Balık Sağlığı

MUCOSAL BARRIER DYNAMICS IN BIO-BASED DISEASE MANAGEMENT IN AQUACULTURE: IMMUNO-REGULATORY PATHWAYS OF PROBIOTICS, PREBIOTICS, AND PHYTOGENICS

Abstract

Infectious outbreaks in intensive aquaculture and the global emergence of antimicrobial resistance have necessitated the implementation of sustainable bio-based strategies that bolster the endogenous mucosal defenses of aquatic organisms. In teleost fish, mucosal barriers encompassing the skin, gills, and gastrointestinal tract serve as the primary physiological shield against pathogenic colonization. This review provides a comprehensive molecular synthesis of the immunomodulatory and structural mechanisms governed by probiotics, prebiotics, and phytogenics across the mucosal interface. Pattern Recognition Receptors (PRRs) within the gut-associated lymphoid tissue (GALT) coordinate cellular cascades, modulating pro- and anti-inflammatory cytokines while directing systemic leukocyte trafficking and secretory immunoglobulin (IgT/sIgA) deployment via the common mucosal immune network. Concurrently, short-chain fatty acids (SCFAs) synthesized through metabolic cross-feeding reinforce enterocyte integrity and tight junction complexes, whereas phytogenic compounds inhibit pathogen proliferation via membrane permeabilization and quorum quenching. However, marked divergences between carnivorous and omnivorous gastrointestinal physiologies, combined with thermal denaturation during feed extrusion and mucosal exhaustion induced by empirical overdosing, compromise in vivo bioavailability. Resolving these real-world bottlenecks demands advanced biopolymer microencapsulation, the adoption of heat-stable postbiotics, and rigorous multi-omics validation to establish reproducible, biologically validated prophylactic health management frameworks in sustainable aquaculture.

Keywords: Mucosal Immunity, Probiotics, Prebiotics, Phytogenics, GALT, Fish Health

1. Giriş

Dünya nüfusundaki hızlı artışa paralel olarak hayvansal protein talebinin karşılanmasında akuakültür sektörü stratejik bir gıda güvencesi bileşeni haline gelmiştir (FAO, 2024). Ancak yetiştiricilik sistemlerinin yoğunlaşması; yüksek stoklama yoğunlukları, operasyonel manipülasyonlar ve dinamik çevresel parametre dalgalanmaları nedeniyle sucul canlılar üzerinde belirgin bir kronik stres baskısı oluşturmaktadır (Das vd., 2017; Üstüner vd., 2026a). Bu fizyolojik stres yükü, nöroendokrin mekanizmaları aktive ederek balık bağışıklık sisteminde immünsüpresyona yol açmakta ve popülasyonları bakteriyel, viral ve paraziter enfeksiyon salgınlarına karşı savunmasız kılmaktadır (Ciji & Akhtar, 2021; Dawood vd., 2018). Söz konusu kayıpların engellenmesinde onlarca yıldır geleneksel bir koruma ve sağaltım aracı olarak kullanılan antibiyotiklerin, küresel ölçekte kullanım hacminin 2030 yılına kadar artış göstermesi beklenmektedir (Mulchandani vd., 2023). Ne var ki bilinçsiz ve yoğun kemoterapötik kullanımı, patojen bakterilerde antimikrobiyal direnç (AMR) gelişimine, sucul ekosistemlerde kalıntı birikimine ve gıda zinciri üzerinden insan sağlığını tehdit eden zoonotik risklere zemin hazırlamaktadır (Qu vd., 2025; Yuan vd., 2023).

Bu ekolojik ve klinik kısıtlamalar, modern akuakültürde kemoterapötiklere bağımlılığı azaltan biyo-temelli koruyucu stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Söz konusu fonksiyonel katkıların başında probiyotikler, klasik prebiyotikler, sinbiyotik formülasyonlar ve tıbbi aromatik bitkilerden elde edilen fitobiyotik ürünler yer almaktadır (Banerjee & Ray, 2017; Madhulika vd., 2025). Canlı mikroorganizmalar olan probiyotikler, konakçı bağırsak florasını stabilize ederek, antimikrobiyal metabolitler salgılayarak ve patojenleri yarışmacı dışlama (*competitive exclusion*) yoluyla bertaraf ederek koruma sağlamaktadır (Dawood vd., 2018). Sindirilemeyen karbonhidrat yapıları olan oligosakkarit formundaki prebiyotikler ise faydalı mikrobiyota üyeleri için seçici fermantasyon substratı vazifesi görerek mukozal bariyeri ve sindirim kapasitesini pekiştirmektedir (Davani-Davari vd., 2019; Wee vd., 2024). Literatürde sıklıkla kavramsal bir karmaşaya konu olan fitobiyotik türevleri ise prebiyotiklerin bir alt dalı olmayıp; fenolikler, flavonoidler ve esansiyel yağlar gibi biyoaktif ikincil metabolitleri sayesinde mikrobiyotayı beslemek yerine doğrudan bakterisidal, anti-inflamatuvar, antioksidan ve immünostimülatör farmakolojik etkiler sergilemektedir (Öz, Üstüner, & Çifci, 2026; Wei vd., 2022; Zhu, 2020). Laboratuvar koşullarında elde edilen umut verici in vitro inhibisyon zonu verilerine rağmen, bu fonksiyonel ürünlerin ticari saha uygulamalarında belirgin performans tutarsızlıkları sergilediği görülmektedir (Calcagnile vd., 2024; Öz vd., 2026a; Rahayu vd., 2024). Statik agar plak modelleri; konakçı mukozasının karmaşık moleküler yapısını, yerleşik mikrobiyotanın kolonizasyon direncini ve değişken çevresel abiyotik faktörleri simüle etmekte yetersiz kalmaktadır. Nitekim in vitro testlerde *Vibrio* spp. veya *Saprolegnia parasitica*'ya karşı

güçlü antagonizma gösteren çeşitli probiyotik suşların, sucul konakçılardaki in vivo enfeksiyon denemelerinde koruyucu etkinlik gösteremediği deneysel olarak kanıtlanmıştır (Fregeneda-Grandes vd., 2023; Thompson vd., 2022). Benzer şekilde ortam tuzluluğu gibi çevresel kısıtlar, suşun canlılığı sürse dahi in vivo antimikrobiyal metabolit sentezini baskılayabilmektedir (Mirbakhsh vd., 2022). Bu doğrultuda, biyo-katkıların ampirik ve salt fenotipik gözlemlerle değerlendirilmesi sahadaki başarısızlıkların nedenlerini aydınlatamamaktadır. Bu mini-derlemenin amacı; probiyotik, prebiyotik ve fitobiyotiklerin balık mukozal arayüzündeki hücresel ve reseptör aracılı immünomodülatör yolaklarını, kolonizasyon biyokimyasını ve konakçı beslenme fizyolojisinden kaynaklanan biyoyararlanım bariyerlerini bütüncül bir mekanistik çerçevede tartışmaktır.

2. Gastrointestinal Mukozal Arayüz ve Reseptör Aracılı İmmün Uyarım Yolakları

Teleost balıklarının gastrointestinal kanalı yalnızca besin maddelerinin sindirimi ve emiliminden sorumlu bir organ olmayıp, sürekli su ve antijen maruziyeti altında bulunan en aktif immünolojik arayüzlerden biridir (Luan vd., 2023). Balık mukozası; dinamik bir mukus tabakası, enterositlerden oluşan mekanik epitel bariyeri ve lamina propriada konuşlanmış lenfoid hücrelerin organize ettiği bağırsakla ilişkili lenfoid doku (GALT) mimarisine sahiptir. Mukozal immün homeostazın sürdürülmesinde ve patojen invazyonunun engellenmesinde, epitel hücreleri ve mukozal lökositler üzerinde eksprese edilen Patojen Tanıma Reseptörleri (PRR'ler), özellikle de Toll-benzeri reseptörler (TLR'ler) kritik bir biyolojik iletim merkezi olarak işlev görür (Banafsha & Reddy, 2025; Latif vd., 2020).

Lümene uygulanan probiyotik mikroorganizmaların hücre duvarı bileşenleri (peptidoglikan, lipoteikoik asit) veya prebiyotik oligosakkarit yapıları, Mikroorganizma İlişkili Moleküler Desenler (MAMP'lar) olarak PRR'ler tarafından spesifik biçimde tanınır (Nurzhanova vd., 2021). Bu moleküler bağlanma, hücre içi sinyal iletim kaskadlarını aktive ederek nükleer faktör kappa B (NF-κB) ve mitojenle aktive olan protein kinaz (MAPK) yolakları üzerinden sitokin ekspresyon profillerini düzenler. Söz gelimi *Micropterus salmoides* diyetine *Pediococcus acidilactici* B49 suşunun ilave edilmesi; sistemik fagositozu, lizozim sekresyonunu ve pro-inflamatuvar sitokinlerden interlökin-8 (*il-8*) düzeylerini anlamlı biçimde yukarı regüle ederken, kontrolsüz doku hasarını sınırlayan dönüştürücü büyüme faktörü beta (*tgf-β*) ekspresyonunu dengelemekte ve spesifik hümoral yanıt belirteci olan IgM sentezini artırmaktadır (Soto-Dávila vd., 2024; Üstüner, Öz, & Çifci, 2026; Wang vd., 2025). Benzer şekilde gama-aminobütirik asit (GABA) sentezleme yeteneğine sahip *Enterococcus lactis* A1 veya fitobiyotiklerle kombine edilen laktik asit bakterileri, mukozal yüzeyde süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz gibi antioksidan enzimleri uyarırken bağırsak villus boyunu uzatarak koruyucu epitel yüzey alanını genişletmektedir (Dikel vd., 2026; Hou vd., 2025). Nitekim fenolik asit ve flavonoidce zenginleştirilmiş

fitobiyotik uygulamalarının, enterosit absorbsiyon kapasitesini artırarak dolaşımdaki glukoz ve kolesterol dengesini optimize ettiği, hemoglobin konsantrasyonu ile eritrosit dayanıklılığını desteklediği gösterilmiştir (Esen vd., 2025).

Mukozal bariyer bütünlüğünün mekanik sağlamlığı, enterositler arasındaki parasellüler geçişi sınırlandıran sıkı bağlantı (*tight junction*) protein kompleksleri (okludin, klaudin ve zonula okludens) tarafından tayin edilir. Prebiyotik uygulamaları (mannan-oligosakkaritler [MOS], frukto-oligosakkaritler [FOS] ve ksilooligosakkaritler [XOS]), bu bağlantı proteinlerinin transkripsiyonel aktivasyonunu doğrudan teşvik ederek epitel geçirgenliğini azaltmakta ve patojenik endotoksinlerin lamina propriaya translokasyonunu engellemektedir (Elsabagh vd., 2018; Wang vd., 2022). Özellikle maya hücre duvarı kaynaklı β-glukan yapıları, monosit ve makrofaj yüzeylerindeki Dectin-1 benzeri reseptörlere affinite göstererek dolaşımdaki fagositer aktiviteyi ve solunum patlaması (*respiratory burst*) tepkilerini tetiklemekte; benzer şekilde mikroalgal fonksiyonel bileşenler de hücresel savunmayı pekiştirmektedir (Öz & Üstüner, 2026a; Zhu vd., 2023). Akdeniz levreği (*Dicentrarchus labrax*) ve çipura (*Sparus aurata*) gibi türlerde prebiyotik desteğinin kompleman kaskadını ve lizozim aktivitesini stimüle etmesi, mannoz reseptörleri aracılığıyla patojenlerin aglütine edilerek yüzeyden uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır (Carbone & Faggio, 2016; Guerreiro vd., 2018; Ringø vd., 2010; Song vd., 2014).

Bağırsak mukozasında gerçekleşen bu immünomodülatör uyarımın en dikkat çekici yönü, etkisinin yalnızca lokal gastrointestinal kanalla sınırlı kalmamasıdır. Teleost balıklarında tanımlanan Ortak Mukozal İmmün Ağ (*Common Mucosal Immune Network*) prensibi gereğince; bağırsak-deri ve bağırsak-solungaç mukozal aksları boyunca yoğun bir hücre trafiği gerçekleşmektedir. GALT kompartımanında MAMP'lar ve fitobiyotik etken maddelerle karşılaşarak duyarlılaşan (*primed*) antijen sunucu hücreler ve lenfositler, sistemik vasküler dolaşıma katılarak uzak mukozal dokular olan solungaç ve epidermise göç etmektedir (Banafsha & Reddy, 2025; Latif vd., 2020). Bu hücresel göç kaskadı neticesinde, bağırsak kaynaklı uyarımlar deride ve solungaç filamentlerinde mukus salgısını, epidermal lizozim ve peroksidaz üretimini artırmakta; teleostlara özgü mukozal immünoglobulin olan IgT (memeli sIgA analoğu) sekresyonunu en üst düzeye çıkarmaktadır (Bledsoe vd., 2022; De Marco vd., 2023; Wang vd., 2020). Nitekim *Bacillus cereus* NY5 ve *Alcaligenes faecalis* Y311 suşlarının su ortamına ilavesi dahi nil tilapyasında (*Oreochromis niloticus*) üç farklı mukozal dokuda (bağırsak, solungaç, deri) eşzamanlı immün enzim artışı ve mikrobiyal reorganizasyon meydana getirmektedir (Wang vd., 2020). Bu veriler, doğru kurgulanmış biyolojik katkıların mukozal arayüzü çok yönlü bir sistemik kalkan haline dönüştürdüğünü doğrulamaktadır.

3. Biyokimyasal Antagonizma ve Kolonizasyon: SCFA Sentezinden Quorum Quenching Mekanizmalarına

Probiyotik ve prebiyotiklerin mukozal yüzeylerde kalıcı ya da geçici bir hakimiyet kurarak patojenleri etkisiz hale getirmesi, temelde metabolik çapraz besleme (*metabolic cross-feeding*) mekanizmasıyla yönetilen biyokimyasal bir süreçtir (Ringø vd., 2020). Sinbiyotik yaklaşımlarda konakçı tarafından hidrolize edilemeyen kompleks oligosakkarit zincirleri, lümende konuşlanan laktik asit bakterileri (*Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*) ve *Bacillus* suşları tarafından fermente edilir (Banafsha & Reddy, 2025; Zeng vd., 2023). Bu enzimatik fermantasyon reaksiyonlarının başlıca son ürünleri asetat, propiyonat ve bütirat gibi kısa zincirli yağ asitleridir (SCFA). Sentezlenen SCFA havuzu iki temel biyolojik fonksiyon icra eder: Birincisi, lüminal mikroçevrenin pH düzeyini düşürerek asidik koşullara duyarlı *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio anguillarum* ve *Pseudomonas plecoglossicida* gibi patojenlerin enzimatik dengesini bozmak ve üremelerini baskılamaktır (Saba vd., 2024; Soto-Dávila vd., 2024). İkincisi ise başta bütirat olmak üzere kolonosit ve enterositler tarafından doğrudan birincil substrat olarak kullanılarak hücresel ATP havuzunu desteklemek, apoptozu engellemek ve epitel villus morfolojisini rejenere etmektir (Dawood vd., 2020; Gaffar vd., 2023).

Fitobiyotikler (tıbbi bitki ekstraktları ve uçucu yağlar) ise mikrobiyotayı besleyen fermentatif birer substrat olmak yerine, patojenlere karşı doğrudan kimyasal antagonizma uygulayan sekonder metabolit cephaneliği sunmaktadır (Zhu, 2020). Sarımsak (*Allium sativum*), çörek otu (*Nigella sativa*), enginar (*Cynara scolymus*), anason (*Pimpinella anisum*) ve kekik (*Origanum vulgare*) gibi bitkilerden elde edilen esansiyel yağ ve ekstreler; timol, karvakrol, allisin ve timokinon gibi lipofilik fenolik yapılar açısından zengindir (Esen vd., 2025; Öz, Inanan, vd., 2024; Öz, Üstüner, & Dağar, 2026; Öz, Üstüner, vd., 2024; Rashidian vd., 2021; Tok vd., 2025). Bu biyoaktif moleküller, Gram-negatif bakterilerin hidrofobik dış membranına integre olarak fosfolipid çift katmanının akışkanlığını ve yapısal bütünlüğünü bozar. Membran permeabilizasyonu sonucunda bakteriyel hücre içi iyonlar (potasyum, hidrojen) ve hücresel ATP dışarı sızar; hücre içi proton itici güç çöker ve patojenik lizis gerçekleşir (Andriani & Aisyah, 2025; Thangadurai & Puvaneswari, 2022; Yousefi vd., 2025).

Bitkisel biyoaktif bileşiklerin sağladığı bir diğer ileri düzey biyokimyasal baskılama mekanizması ise bakteriyel iletişim sistemlerinin engellenmesi, yani quorum quenching olgusudur. Bakteriyel patojenler (*Vibrio* spp. ve *Aeromonas* spp.), konak dokusuna tutunma, hücre dışı proteaz salgılama ve koruyucu biyofilm tabakası oluşturma gibi virülans aktivitelerini hücre yoğunluğuna duyarlı otoindükleyici sinyal molekülleri (asil-homoserin laktonlar - AHL) aracılığıyla koordine eder. Kurkumin (*Curcuma longa*) ve çeşitli polifenolik fraksiyonların, bu otoindükleyici moleküllerin reseptörlerine bağlanarak haberleşme kaskadını kestiği ve

patojenlerin toksin gen ekspresyonunu susturduğu saptanmıştır (Afonso vd., 2021; Ghosh vd., 2025; Guo vd., 2023). Bu durum literatürde kolaylaştırılmış dışlama (*facilitated exclusion*) olarak adlandırılan sinerjik bir tablo doğurur: Fitokimyasalların patojen biyofilmlerini parçalaması ve virülansı kırması, eşzamanlı olarak uygulanan faydalı probiyotik suşların mukozal epiteldeki serbest adezyon reseptörlerine steril bir alanda tutunmasına olanak tanımaktadır (Jossefa vd., 2024; Öz vd., 2026a; Vijayaram vd., 2024).

Bununla birlikte, fitobiyotik uygulamalarının sistemik immün parametreler ve ksenobiyotik detoksifikasyon yolakları üzerinde belirgin regülatör etkileri bulunmaktadır (Öz & Üstüner, 2026e). Yapılan araştırmalar; *Oreochromis niloticus* ve karnivor modellerde sipermetrin, diazinon, deltametrin ve su kaynaklı borik asit gibi akuatik toksik ajanların tetiklediği şiddetli lipit peroksidasyonu (MDA artışı), solungaç ödemi, nöromusküler hasar ve hepatosit nekrozunun, diyete ilave edilen sarımsak yağı, enginar yaprağı ekstraktı veya çörek otu yağı müdahaleleriyle belirgin ölçüde hafifletildiğini bildirilmiştir (Çelik vd., 2024; Gümüş vd., 2026; Öz, 2025; Öz, Inanan, vd., 2024; Öz, Üstüner, vd., 2024; Öz, Üstüner, & Dikel, 2026; Öz, Üstüner, Jumayeva, vd., 2025; Üstüner, Öz, & Dikel, 2026). Bu biyoaktif katkılar; kanda ve kas dokusunda toplam antioksidan kapasiteyi (TAS) yükseltip süperoksit dismutaz (SOD) ve glutatyon peroksidaz (GPx) aktivasyonunu yeniden tesis ederek ksenobiyotiklerin yol açtığı membran yıkımını sınırlandırmaktadır (Gümüş vd., 2026; Öz, 2025). Benzer şekilde *Danio rerio* modelinde *Allium hirtifolium* ekstraktının sinbiyotiklerle kombine edilmesi hümoral mukus lizozim düzeylerini katlayarak *Aeromonas hydrophila* invazyonuna direnci maksimize etmiştir (Ghafarifarsani vd., 2021). Dolayısıyla fitobiyotik-probiyotik aksı, hem biyokimyasal mikrop öldürücü hem de mukozal savunmayı takviye edici çift yönlü bir kalkan inşa etmektedir.

4. Konakçı Beslenme Ekolojisi, Gastrointestinal Engeller ve Biyoyararlanım Zorlukları

Fonksiyonel katkıların sahadaki etkinliğini sınırlayan en temel etkenlerden biri, hedef sucul türlerin beslenme ekolojisi ve sindirim kanalı morfolojilerindeki radikal varyasyonlardır. Akuakültürde yetiştirilen türler karnivor, omnivor ve herbivor olmak üzere son derece farklı gastrointestinal anatomilere ve mikrobiyal kompozisyonlara sahiptir (Calcagnile vd., 2024). Atlantik somonu (*Salmo salar*), levrek (*Dicentrarchus labrax*) ve çipura (*Sparus aurata*) gibi üst trofik düzeydeki karnivor balıklar; kısa bir bağırsak yapısına, hidroklorik asit ve pepsin sekresyonu ile karakterize pH 2.0–3.5 seviyelerine ulaşan son derece asidik gerçek bir mideye ve hızlı gastrointestinal geçiş süresine sahiptir (Bledsoe vd., 2022; Cathers vd., 2022). Bu fizyolojik koşullar, yemle serbest formda verilen korumasız probiyotik hücreler için ölümcül bir gastrik bariyer oluşturmaktadır. Asidik ortamda hücre zarı parçalanan veya enzim inaktivasyonuna uğrayan allokton suşlar, terapötik eşik olan kolonize edici konsantrasyona ulaşamadan lümenden atılmaktadır (Sun vd., 2023; Valle Vargas vd., 2025).

Buna karşın aynalı sazan (*Cyprinus carpio*) ve diğer Cyprinidae üyeleri gibi midesiz (agastrik) omnivor türler, anatomik olarak genişlemiş bir bağırsak bulbusuna, lümen boyunca alkali/nötr pH değerlerine (pH 6.8–7.5) ve uzun retansiyon sürelerine sahiptir (Dawood & Koshio, 2016; Qu vd., 2025). Mide asiditesi engelinin bulunmaması, bu türlerde canlı mikrobiyal katkıların bağırsağa hasarsız ulaşmasını ve mukozaya tutunmasını fizyolojik olarak çok daha elverişli kılmaktadır. Türler arasındaki bu morfolojik tezat, endüstriyel yem işleme dinamikleriyle birleştiğinde biyoyararlanım krizini derinleştirmektedir. Karnivor türlerin yüksek protein ve yüksek lipid içeren yem peletleri, çift vidalı ekstrüzyon proseslerinde yoğun buhar, 120°C'yi aşan sıcaklıklar ve şiddetli mekanik kayma kuvvetleri (*shear stress*) altında üretilmektedir. Bu termomekanik stres; canlı bakteriyel hücreleri hızla lize etmekte, prebiyotik oligosakkarit zincirlerini depolimerize ederek inaktive etmekte ve fitokimyasalların uçucu terpenik fraksiyonlarını buharlaştırarak yok etmektedir (Banafsha & Reddy, 2025; Choi vd., 2022; Öz vd., 2026a; Zeng vd., 2023).

Biyoyararlanımı tehdit eden bir diğer kritik unsur ise konakçı-özgü (*autochthonous*) ve yabancı kökenli (*allochthonous*) suş seçimidir. Karasal memelilerden veya farklı su ortamlarından izole edilen mikroorganizmalar, konakçının mukus glikoprotein reseptörlerine bağlanma yeteneğinden yoksundur ve yerleşik yerli mikrobiyota tarafından yarışmacı dışlama ile ortamdan süratle elimine edilmektedir (Cathers vd., 2022; Langlois vd., 2021; Singh vd., 2024). Bunun yanı sıra sahada karşılaşılan en yaygın operasyonel hatalardan biri "daha yüksek doz daha iyi koruma sağlar" yanılgısıyla yapılan kontrolsüz dozajlamalardır. Literatür verileri, balık rasyonlarına aşırı düzeyde prebiyotik (>%2) veya kontrolsüz konsantrasyonda probiyotik (örneğin %10 biyokütle) ilavesinin mukozal yüzeyde kronik bir irritasyona, mikrovillus atrofisine, enterosit lizisine ve sindirim enzim aktivitelerinde (tripsin, amilaz, lipaz) sekonder düşüşlere yol açtığını belgelemektedir (De Marco vd., 2023; Dong vd., 2018; Hamdan vd., 2016; Khunrang vd., 2021; Makled vd., 2019). Meydana gelen bu "biyolojik yorgunluk", lümen ozmotik basıncını bozarak emilim yetersizliğine ve neticede Yem Dönüşüm Oranının (FCR) ciddi biçimde kötüleşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca fitokimyasal ekstraktların yüksek konsantrasyonlarda içerdiği tanenler, yemin lezzetliliğini (*palatability*) düşürerek yem tüketimini doğrudan baskılayabilmektedir (Ahmadi vd., 2012; Bansemer vd., 2016). Benzer şekilde, uçucu esansiyel yağların serbest formdaki aşırı dozları hedeflenen biyolojik yararın aksine sistemik doku yıkımına yol açabilmektedir; nitekim anason yağı gibi anetol içeren fitokimyasalların Nil tilapiasında %0.10–%0.20 düzeylerinde antioksidan enzim aktivitesini (SOD, CAT, GPx) uyarırken %0.30 oranında karaciğer enzimlerinde (ALT, AST) belirgin sızıntıya, renal tübüler dejenerasyona ve kas nekrozuna neden olarak toksikopatolojik bir eşik oluşturduğu saptanmıştır (Tok vd., 2025).

Söz konusu fizyolojik ve teknolojik darboğazların aşılmasında mikroenkapsülasyon ve yem kaplama teknolojileri vazgeçilmez bir çözüm sahası açmaktadır. Canlı probiyotik hücrelerin ve termal instabilite gösteren fitokimyasalların kalsiyum aljinat, pektin, kitosan veya maltodekstrin bazlı biyopolimer matrisler içerisine hapsedilmesi; aktif bileşenleri hem ekstrüzyonun yıkıcı ısısından hem de karnivor balıkların düşük gastrik pH'sından korumaktadır (Bevilacqua vd., 2020; Gede vd., 2024; Machado vd., 2023; Öz & Üstüner, 2026b). Püskürtmeli kurutma (*spray-drying*) veya ko-ekstrüzyon ile üretilen çekirdek-kabuk (*core-shell*) mikropartiküller, mideyi intakt geçerek nötr veya hafif alkali bağırsak segmentinde kontrollü salım gerçekleştirmekte ve terapötik dozun doğrudan hedef mukozal bölgeye ulaşmasını güvence altına almaktadır (Öz & Üstüner, 2026f; Sun vd., 2023; Valle Vargas vd., 2025; Vijayaram vd., 2024).

Canlı hücre canlılığının getirdiği bu kısıtlamaları bertaraf etmek adına son dönemde, termostabil inaktive hücre fraksiyonlarını ve hücre dışı metabolitleri kapsayan postbiyotik yaklaşımlar (Pérez-Gómez vd., 2025; Quintanilla-Pineda vd., 2024; Yao Ang vd., 2020) ile spesifik patojen nişlerini temizleyerek probiyotik engraftmanına alan açan bakteriyofaj tedavileri (Rai vd., 2024; Ruiz vd., 2024) güçlü alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, uygulanan bu formülasyonların mukozal arayüzde yarattığı hücresel ve immünogenetik modülasyonların kesin mekanizmalarını ortaya koyabilmek için transkriptomik (bağışıklık gen regülasyonları), proteomik (hücresel stres yanıtları) ve metabolomik (biyokimyasal yolak aktivasyonları) katmanlarını bütünleştiren çoklu-omiks platformlarının validasyon aracı olarak kullanımı zorunlu hale gelmektedir (Almeida vd., 2015; Low vd., 2017; Natnan vd., 2021; Öz & Üstüner, 2026c; Salinas & Magadán, 2017). Dolayısıyla biyo-temelli katkıların başarısı; hedef türün sindirim mimarisini gözeten akılcı formülasyon mühendisliği, ileri taşıyıcı sistemler ve omiks tabanlı analitik doğrulama araçlarının rasyonel entegrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca kapalı ve açık yetiştiricilik modellerindeki metabolik dalgalanmaların yapay zekâ ve omiks tabanlı parmak izleriyle haritalanması, saha stabilitesini öngörmede tamamlayıcı bir analitik katman sağlamaktadır (Öz & Üstüner, 2026d; Öz & Üstüner, 2026g; Öz, Üstüner, Çifci, vd., 2025).

5. Sonuç

Akuakültürde sürdürülebilir ve kimyasal kalıntılardan arındırılmış hastalık yönetimi arayışında probiyotikler, prebiyotikler ve fitobiyotikler; mukozal epitel bütünlüğünü pekiştiren, reseptör aracılı kaskadlarla lenfoid doku aktivasyonunu uyaran ve ortak mukozal immün ağ üzerinden periferik dokularda dahi koruma sağlayan çok bileşenli biyolojik ajanlardır. Patojenlerin yarışmacı dışlama ve hücresel haberleşmenin kesilmesi mekanizmalarıyla biyokimyasal baskı altına alınması, enfeksiyöz patolojilerin yayılmasını direnç gelişimine yol açmaksızın sınırlandırma potansiyeline sahiptir.

Bununla birlikte, laboratuvar düzeyindeki başarıların ticari saha koşullarında tekrarlanamaması; konakçının beslenme ekolojisi, allokton suşların kolonizasyon başarısızlığı, ekstrüzyon kaynaklı termal inaktivasyon ve yüksek dozaja bağlı mukozal yorgunluk gibi somut mekanistik engellerden kaynaklanmaktadır. Canlı hücrelerin karşılaştığı bu stabilite ve biyoyararlanım risklerinin bertaraf edilmesinde; hücre canlılığı gerektirmeksizin immün hazırlama sağlayan termostabil postbiyotikler ile spesifik patojen nişlerini temizleyen bakteriyofaj yaklaşımları yeni nesil biyomühendislik çözümleri olarak öne çıkmaktadır.

Ayrıca biyo-katkıların sahadaki etkinliğini doğrulamada salt büyüme ve hayatta kalma gibi yüzeysel fenotipik izlemler terk edilmeli; mukozal immün yanıtları, hücresel stres düzeylerini ve metabolik değişimleri aydınlatan çoklu-omiks yaklaşımları devreye sokulmalıdır. Hedef türün sindirim anatomisine uygun taşıyıcı mikroenkapsülasyon sistemlerinin kullanıldığı, ekolojik olarak valide edilmiş yerli suşların seçildiği ve analitik teknolojilerle standardize edilen biyo-temelli protokoller, su ürünleri hekimliğinde hem balık refahını koruyacak hem de küresel gıda güvencesine öngörülebilir ve çevre dostu bir temel kazandıracaktır.

Kaynaklar

Afonso, C., Correia, A. P., Freitas, M. V., Mouga, T., & Baptista, T. (2021). In vitro evaluation of the antibacterial and antioxidant activities of extracts of *Gracilaria gracilis* with a view into its potential use as an additive in fish feed. *Applied Sciences*, 11(14), 6642. https://doi.org/10.3390/app11146642

Ahmadi, K., Banaee, M., Vosoghei, A. R., Mirvaghefei, A. R., & Ataeimehr, B. (2012). Evaluation of the immunomodulatory effects of silymarin extract (*Silybum marianum*) on some immune parameters of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Actinopterygii: Salmoniformes: Salmonidae). *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 42(2), 113–120. https://doi.org/10.3750/AIP2011.42.2.04

Almeida, A. M., Bassols, A., Bendixen, E., Bhide, M., Ceciliani, F., Cristobal, S., Eckersall, P. D., Hollung, K., Lisacek, F., Mazzucchelli, G., McLaughlin, M., Miller, I., Nally, J. E., Plowman, J., Renaut, J., Rodrigues, P., Roncada, P., Staric, J., & Turk, R. (2015). Animal board invited review: advances in proteomics for animal and food sciences. *Animal*, 9(1), 1–17. https://doi.org/10.1017/S1751731114002602

Andriani, Y., & Aisyah, A. (2025). The potential of herbal plants in the prevention and treatment of fish diseases: A review. *Journal of Fish Health*, 5(1), 15–25. https://doi.org/10.29303/jfh.v5i1.5932

Banafsha, S. H., & Reddy, M. S. (2025). Synergistic effects of probiotics and oligosaccharide prebiotics on water quality and growth performance of *Litopenaeus vannamei*. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 27(7), 177–194. https://doi.org/10.9734/ajfar/2025/v27i7743

Banerjee, G., & Ray, A. K. (2017). The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries. *Research in Veterinary Science*, 115, 66–77. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.01.016

Bansemer, M. S., Qin, J. G., Harris, J. O., Schaefer, E. N., Wang, H., Mercer, G. J., Howarth, G. S., & Stone, D. A. (2016). Age-dependent response of digestive enzyme activities to dietary protein level and water temperature in greenlip abalone (*Haliotis laevigata*). *Aquaculture*, 451, 451–456. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.10.013

Bevilacqua, A., Campaniello, D., Speranza, B., Racioppo, A., Altieri, C., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2020). Microencapsulation of *Saccharomyces cerevisiae* into alginate beads: A focus on functional properties of released cells. *Foods*, 9(8), 1051. https://doi.org/10.3390/foods9081051

Bledsoe, J. W., Pietrak, M. R., Burr, G. S., Peterson, B. C., & Small, B. C. (2022). Functional feeds marginally alter immune expression and microbiota of Atlantic salmon (*Salmo salar*) gut, gill, and skin mucosa though evidence of tissue-specific signatures and host–microbe coadaptation remain. *Animal Microbiome*, 4, 20. https://doi.org/10.1186/s42523-022-00173-0

Calcagnile, M., Tredici, S. M., & Alifano, P. (2024). A comprehensive review on probiotics and their use in aquaculture: Biological control, efficacy, and safety through the genomics and wet methods. *Heliyon*, 10(15), e33550. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40892

Carbone, D., & Faggio, C. (2016). Importance of prebiotics in aquaculture as immunostimulants. Effects on immune system of *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax*. *Fish & Shellfish Immunology*, 54, 172–178. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.04.011

Cathers, H. S., Mane, S. P., Tawari, N. R., Balakuntla, J., Plata, G., Krishnamurthy, M., MacDonald, A., Wolter, M., Baxter, N., Briones, J., Nagireddy, A., Millman, G., Martin, R. E., Kumar, A., & Gangaiah, D. (2022). In silico, in vitro and in vivo characterization of host-associated *Latilactobacillus curvatus* strains for potential probiotic applications in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Scientific Reports*, 12, 18417. https://doi.org/10.1038/s41598-022-23009-y

Choi, J., Liu, G., Goo, D., Wang, J., Bowker, B., Zhuang, H., & Kim, W. K. (2022). Effects of tannic acid supplementation on growth performance, gut health, and meat production and quality of broiler chickens raised in floor pens for 42 days. *Frontiers in Physiology*, 13, 1082009. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1082009

Ciji, A., & Akhtar, M. S. (2021). Stress management in aquaculture: A review of dietary interventions. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2190–2247. https://doi.org/10.1111/raq.12565

Çelik, M., Dikel, S., & Öz, M. (2024). Investigation of the effect of water and feed sourced boron on the growth performance and blood parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(6), e13104. https://doi.org/10.1111/jwas.13104

Das, S., Mondal, K., & Haque, S. (2017). A review on application of probiotic, prebiotic and synbiotic for sustainable development of aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(2), 82–94.

Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8(3), 92. https://doi.org/10.3390/foods8030092

Dawood, M. A. O., Eweedah, N. M., Elbialy, Z. I., & Abdelhamid, A. I. (2020). Dietary sodium butyrate ameliorated the blood stress biomarkers, heat shock proteins, and immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to heat stress. *Journal of Thermal Biology*, 88, 102500. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102500

Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2016). Recent advances in the role of probiotics and prebiotics in carp aquaculture: A review. *Aquaculture*, 454, 243–251. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.033

Dawood, M. A. O., Koshio, S., & Esteban, M. Á. (2018). Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: A review. *Reviews in Aquaculture*, 10(4), 950–974. https://doi.org/10.1111/raq.12209

De Marco, G., Cappello, T., & Maisano, M. (2023). Histomorphological changes in fish gut in response to prebiotics and probiotics treatment to improve their health status: A review. *Animals*, 13(18), 2860. https://doi.org/10.3390/ani13182860

Dikel, S., Öz, M., Erşatır, M., Dikel, Ç., Üstüner, E., & Demirkol, O. (2026). Comparative effects of dietary inorganic and nano forms of selenium on growth, hematological, biochemical, and antioxidant responses in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical Animal Health and Production*, 58, 530. https://doi.org/10.1007/s11250-026-05330-0

Dong, J., Zhao, Y. Y., Yu, Y. H., Sun, N., Li, Y. D., Wei, H., Yang, Z. Q., Li, X. D., & Li, L. (2018). Effect of stocking density on growth performance, digestive enzyme activities, and nonspecific immune parameters of *Palaemonetes sinensis*. *Fish & Shellfish Immunology*, 73, 37–41. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.12.006

Elsabagh, M., Mohamed, R., Moustafa, E. M., Hamza, A., Farrag, F., Decamp, O., & Eltholth, M. (2018). Assessing the impact of *Bacillus* strains mixture probiotic on water quality, growth performance, blood profile and intestinal morphology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 24(6), 1613–1622. https://doi.org/10.1111/anu.12797

Esen, R., Öz, M., & Dikel, S. (2025). Effects of artichoke (*Cynara scolymus*) leaf extract on the growth, blood, and biochemistry parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical Animal Health and Production*, 57(6), 284. https://doi.org/10.1007/s11250-025-04536-y

FAO. (2024). *In brief to The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue transformation in action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://doi.org/10.4060/cd0690en

Fregeneda-Grandes, J. M., González-Palacios, C., Pérez-Sánchez, T., Padilla, D., Real, F., & Aller-Gancedo, J. M. (2023). Limited probiotic effect of *Enterococcus gallinarum* L1, *Vagococcus fluvialis* L21 and *Lactobacillus plantarum* CLFP3 to protect rainbow trout against saprolegniosis. *Animals*, 13(5), 954. https://doi.org/10.3390/ani13050954

Gaffar, M. A., Zaman, M. K., Islam, M. S., Islam, M., Hossain, M. K., Shahriar, S. I. M., & Shahjahan, M. (2023). Effects of probiotics on growth, survival, and intestinal and liver morphometry of Gangetic mystus (*Mystus cavasius*). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(7), 103683. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103683

Gede, A. A. I. D., Iswandana, R., & Hartrianti, P. (2024). Development and characterization of pectin-based colon targeted pellets containing *Lactobacillus plantarum* FNCC-0461. *Indonesian Journal of Pharmacy*, 35(1), 93–104. https://doi.org/10.22146/ijp.8180

Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Talebi, M., Yousefi, M., Van Doan, H., Rufchaei, R., & Paolucci, M. (2021). Combined and singular effects of ethanolic extract of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss) and synbiotic Biomin® IMBO on growth performance, serum-and mucus-immune parameters and antioxidant defense in zebrafish (*Danio rerio*). *Animals*, 11(10), 2995. https://doi.org/10.3390/ani11102995

Ghosh, A. K., Islam, S. S., & Hasanuzzaman, A. F. M. (2025). Exploring the potential of medicinal plants on fish resilience to *Aeromonas hydrophila* infection: A comprehensive study of immunology, biochemistry, growth and survival. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 5(1), e70084. https://doi.org/10.1002/aff2.70084

Guerreiro, I., Oliva-Teles, A., & Enes, P. (2018). Prebiotics as functional ingredients: Focus on Mediterranean fish aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 10(4), 800–832. https://doi.org/10.1111/raq.12201

Guo, H., Chen, J., Yuan, X., Zhang, J., Wang, J., Yao, J., & Ge, H. (2023). The combined effect of a novel formula of herbal extracts on bacterial infection and immune response in *Micropterus salmoides*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1185234. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1185234

Gümüş, H., Dikel, S., & Öz, M. (2026). Mitigating deltamethrin-induced systemic toxicity in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) via dietary artichoke (*Cynara scolymus*) leaf extract: a multi-biomarker approach. *Aquaculture International*, 34, 158. https://doi.org/10.1007/s10499-026-02559-2

Hamdan, A. M., El-Sayed, A. F. M., & Mahmoud, M. M. (2016). Effects of a novel marine probiotic, *Lactobacillus plantarum* AH 78, on growth performance and immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Applied Microbiology*, 120(4), 1061–1073. https://doi.org/10.1111/jam.13081

Hou, X., Zhang, J., Behmagham, N., & Ghafarifarsani, H. (2025). A combined use of *Panax ginseng* extract and the probiotic, *Lactobacillus plantarum* in the diet of Asian seabass, *Lates calcarifer*: Effects on growth, immunity and survival after bacterial challenge. *Aquaculture Reports*, 40, 102629. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102629

Jossefa, A. A., dos Anjo Viagem, L., Cerozi, B. d. S., & Chenyambuga, S. W. (2024). Microbiological contamination of lettuce (*Lactuca sativa*) reared with tilapia in aquaponic systems and use of *Bacillus* strains as probiotics to prevent diseases: A systematic review. *PLoS ONE*, 19(10), e0313022. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313022

Khunrang, T., Pooljun, C., Wutisutimeethavee, S., & Direkbusarakom, S. (2021). Effects of mixed probiotic (*Lactobacillus* sp. and *Saccharomyces cerevisiae*) on the growth performance and immune gene expression of tilapia (*Oreochromis niloticus*) after *Streptococcus agalactiae* vaccination. *Aquaculture Research*, 52(8), 3882–3889. https://doi.org/10.1111/are.15232

Langlois, L., Akhtar, N., Tam, K. C., Dixon, B., & Reid, G. (2021). Fishing for the right probiotic: Host–microbe interactions at the interface of effective aquaculture strategies. *FEMS Microbiology Reviews*, 45(5), fuab030. https://doi.org/10.1093/femsre/fuab030

Latif, M., Faheem, M., Asmatullah, Hoseinifar, S. H., & Van Doan, H. (2020). Dietary black seed effects on growth performance, proximate composition, antioxidant and histo-biochemical parameters of a culturable fish, rohu (*Labeo rohita*). *Animals*, 11(1), 48. https://doi.org/10.3390/ani11010048

Low, C.-F., Rozaini, M. Z. H., Musa, N., & Syarul Nataqain, B. (2017). Current knowledge of metabolomic approach in infectious fish disease studies. *Journal of Fish Diseases*, 40(9), 1267–1277. https://doi.org/10.1111/jfd.12610

Luan, Y., Li, M., Zhou, W., Yao, Y., Yang, Y., Zhang, Z., Ringø, E., Olsen, R. E., Clarke, J. L., Xie, S., Mai, K., Ran, C., & Zhou, Z. (2023). The fish microbiota: Research progress and potential applications. *Engineering*, 29, 137–146. https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.12.011

Machado, D., Fonseca, M., Vedor, R., Sousa, S., Barbosa, J. C., & Gomes, A. M. (2023). *Akkermansia muciniphila* encapsulated in calcium-alginate hydrogelated matrix: Viability and stability over aerobic storage and simulated gastrointestinal conditions. *Gels*, 9(11), 869. https://doi.org/10.3390/gels9110869

Madhulika, Ngasotter, S., Meitei, M. M., Kara, T., Meinam, M., Sharma, S., Rathod, S. K., Singh, S. B., Singh, S. K., & Bhat, R. A. H. (2025). Multifaceted role of probiotics in enhancing health and growth of aquatic animals: Mechanisms, benefits, and applications in sustainable aquaculture—A review and bibliometric analysis. *Aquaculture Nutrition*, 2025, 5746972. https://doi.org/10.1155/anu/5746972

Makled, S. O., Hamdan, A. M., & El-Sayed, A. F. M. (2019). Effects of dietary supplementation of a marine thermotolerant bacterium, *Bacillus paralicheniformis* SO-1, on growth performance and immune responses of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 25(4), 817–827. https://doi.org/10.1111/anu.12899

Mirbakhsh, M., Ghaednia, B., & Tabatabaee Bafroee, A. S. (2022). An in vivo and in vitro assessment of the probiotic potentials of indigenous halotolerant bacteria on growth performance and digestive enzymes of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in high-salinity waters. *Aquaculture Nutrition*, 2022, 2704224. https://doi.org/10.1155/2022/2704224

Mulchandani, R., Wang, Y., Gilbert, M., & Van Boeckel, T. P. (2023). Global trends in antimicrobial use in food-producing animals: 2020 to 2030. *PLOS Global Public Health*, 3(1), e0001305. https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0001305

Natnan, M. E., Mayalvanan, Y., Jazamuddin, F. M., Aizat, W. M., Low, C.-F., Goh, H.-H., Azizan, K. A., Bunawan, H., & Baharum, S. N. (2021). Omics strategies in current advancements of infectious fish disease management. *Biology*, 10(11), 1086. https://doi.org/10.3390/biology10111086

Nurzhanova, F., Absatirov, G., Sidikhov, B., Sidorchuk, A., Ginayatov, N., & Murzabaev, K. (2021). The vulnerary potential of botanical medicines in the treatment of bacterial pathologies in fish. *Veterinary World*, 14(3), 551–561. https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.551-557

Öz, M. (2025). Effects of boric acid on oxidative stress parameters, growth performance and blood parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biological Trace Element Research*, 203(3), 1647–1655. https://doi.org/10.1007/s12011-024-04276-4

Öz, M., Inanan, B. E., Üstüner, E., Karagoz, B., & Dikel, S. (2024). Effects of dietary garlic (*Allium sativum*) oil on growth performance, haemato-biochemical and histopathology of cypermethrin-intoxicated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Medicine and Science*, 10(4), e1449. https://doi.org/10.1002/vms3.1449

Öz, M., & Üstüner, E. (2026a). Beyond the omega-3 bottleneck: Microalgal biorefineries as a sustainable paradigm for aquafeeds. *Algal Research*, 96, 104700. https://doi.org/10.1016/j.algal.2026.104700

Öz, M., & Üstüner, E. (2026b). Mimicking the ocean: Critical challenges in scaffold design and tissue texturization for cell-cultured seafood. *Journal of Food Science*, 91(6), e71163. https://doi.org/10.1111/1750-3841.71163

Öz, M., & Üstüner, E. (2026c). Omics technologies in aquafeed: Unlocking the black box towards systems biology. *Functional & Integrative Genomics*, 26, 145. https://doi.org/10.1007/s10142-026-01937-6

Öz, M., & Üstüner, E. (2026d). Finfish aquaculture authenticity: Integrating genomic and metabolomic fingerprints for geographic and production method discrimination. *Food Science and Biotechnology*. https://doi.org/10.1007/s10068-026-02262-1

Öz, M., & Üstüner, E. (2026e). Nutritional detoxification strategies in aquaculture: bioactive feed additives mitigating oxidative stress and xenobiotic toxicity in fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 52(4), 104. https://doi.org/10.1007/s10695-026-01729-6

Öz, M., & Üstüner, E. (2026f). Nanotechnology-based immunostimulants in aquaculture: mechanisms, advances and practical applications. *Veterinary Medicine and Science*, 12, e71158. https://doi.org/10.1002/vms3.71158

Öz, M., & Üstüner, E. (2026g). Artificial intelligence for blue transformation: a review of predictive modeling and decision support systems in sustainable aquaculture. *Sustainable Development*, 1–18. https://doi.org/10.1002/sd.71290

Öz, M., Üstüner, E., & Bölükbaş, F. (2024). Effects of dietary black cumin (*Nigella sativa* L.) oil on growth performance, hemato-biochemical and histopathology of cypermethrin-intoxicated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(1), 273–288. https://doi.org/10.1111/jwas.13005

Öz, M., Üstüner, E., & Çifci, S. (2026). Medicinal and aromatic plant oils in aquafeeds: Mechanistic perspectives on growth promotion, immunomodulation, and stress resilience. *Aquaculture Nutrition*, 2026, 8992384. https://doi.org/10.1155/anu/8992384

Öz, M., Üstüner, E., & Dağar, O. (2026). Sensory and histopathological assessment of the protective effects of thyme (*Thymus vulgaris*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extracts on refrigerated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Journal of Food Quality*, 2026, 3622986. https://doi.org/10.1155/jfq/3622986

Öz, M., Üstüner, E., & Dikel, S. (2026). The protective role of dietary black cumin (*Nigella sativa* L.) oil against waterborne boric acid in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Hematological, biochemical, oxidative stress, and histopathological responses. *Aquaculture International*, 34(1), 19. https://doi.org/10.1007/s10499-025-02058-0

Öz, M., Üstüner, E., Çifci, S., Budak, F., İleri, E., & Dikel, S. (2025). Artificial intelligence for fish disease diagnosis and management: Innovations, challenges, and One Health implications. *Aquaculture International*, 33(7), 652. https://doi.org/10.1007/s10499-025-02352-7

Öz, M., Üstüner, E., Çifci, S., Dikel, S., İleri, E., & Budak, F. (2026a). Innovative field applications of probiotics, prebiotics, and medicinal plant products for disease control in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, e70227. https://doi.org/10.1111/jfd.70227

Öz, M., Üstüner, E., Jumayeva, M., & Dikel, S. (2025). Dietary *Nigella sativa* oil confers protection against diazinon toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): A detoxification-based approach. *Veterinary Research Communications*, 49(1), 305. https://doi.org/10.1007/s11259-025-10861-2

Pérez-Gómez, O., Rohra-Benítez, S., Domínguez-Maqueda, M., Cerezo, I. M., Galafat, A., Martínez-Manzanares, E., Mancera, J. M., Alarcón-López, F. J., García-Márquez, J., Moriñigo, M. Á., & Arijo, S. (2025).

Dietary administration of postbiotics from *Vibrio proteolyticus* DCF12.2 enhanced intestinal integrity, microbiota, and immune response in juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Animals*, 15(13), 1982. https://doi.org/10.3390/ani15131982

Qu, R., Wu, H., Gaafar, A. Y., Younes, A. M., & Cao, Q. (2025). Microecological preparations as antibiotic alternatives in cyprinid aquaculture. *Fishes*, 10(6), 263. https://doi.org/10.3390/fishes10060263

Quintanilla-Pineda, M., Ibañez, F. C., Garrote-Achou, C., & Marzo, F. (2024). A novel postbiotic product based on *Weissella cibaria* for enhancing disease resistance in rainbow trout: Aquaculture application. *Animals*, 14(5), 744. https://doi.org/10.3390/ani14050744

Rahayu, S., Amoah, K., Huang, Y., Cai, J., Wang, B., Shija, V. M., & Jiang, M. (2024). Probiotics application in aquaculture: Its potential effects, current status in China and future prospects. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1455905. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1455905

Rai, S., Kaur, B., Singh, P., Singh, A., Benjakul, S., Vijay Kumar Reddy, S., Nagar, V., & Tyagi, A. (2024). Perspectives on phage therapy for health management in aquaculture. *Aquaculture International*, 32(2), 1349–1393. https://doi.org/10.1007/s10499-023-01220-6

Rashidian, G., Boldaji, J. T., Rainis, S., Prokić, M. D., & Faggio, C. (2021). Oregano (*Origanum vulgare*) extract enhances zebrafish (*Danio rerio*) growth performance, serum and mucus innate immune responses and resistance against *Aeromonas hydrophila* challenge. *Animals*, 11(2), 299. https://doi.org/10.3390/ani11020299

Ringø, E., Olsen, R., Gifstad, T., Dalmo, R., Amlund, H., Hemre, G. I., & Bakke, A. (2010). Prebiotics in aquaculture: A review. *Aquaculture Nutrition*, 16(2), 117–136. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00731.x

Ringø, E., Van Doan, H., Lee, S. H., Soltani, M., Hoseinifar, S. H., Harikrishnan, R., & Song, S. K. (2020). Probiotics, lactic acid bacteria and bacilli: Interesting supplementation for aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*, 129(1), 116–136. https://doi.org/10.1111/jam.14628

Ruiz, A., Torrecillas, S., Kashinskaya, E., Andree, K. B., Solovyev, M., & Gisbert, E. (2024). Comparative study of the gut microbial communities collected by scraping and swabbing in a fish model: A comprehensive guide to promote non-lethal procedures for gut microbial studies. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1374803. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1374803

Saba, A. O., Yasin, I. S. M., & Azmai, M. N. A. (2024). Meta-analyses indicate that dietary probiotics significantly improve growth, immune response, and disease resistance in tilapia. *Aquaculture International*, 32(4), 4841–4867. https://doi.org/10.1007/s10499-024-01404-8

Salinas, I., & Magadán, S. (2017). Omics in fish mucosal immunity. *Developmental & Comparative Immunology*, 75, 99–108. https://doi.org/10.1016/j.dci.2017.02.010

Singh, A., PavanKalyan, M., Choudhury, T. G., Kamilya, D., Khan, M. I. R., & Chouhan, N. (2024). Supplementation of autochthonous potential probiotic *Bacillus subtilis* COFCAU_BSP3 to *Labeo rohita* feed: Effect on immune-biochemical responses and resistance against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture International*, 32(4), 3785–3800. https://doi.org/10.1007/s10499-023-01350-x

Song, S. K., Beck, B. R., Kim, D., Park, J., Kim, J., Kim, H. D., & Ringø, E. (2014). Prebiotics as immunostimulants in aquaculture: A review. *Fish & Shellfish Immunology*, 40(1), 40–48. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.06.016

Soto-Dávila, M., Webb, R. A., Rodríguez-Ramos, T., McDonald, G., Dang, X., Heath, J. W., & Dixon, B. (2024). Effect of dietary supplementation of probiotic on growth, survival, and immune-related biomarkers in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) challenged with *Vibrio anguillarum*. *Aquaculture*, 583, 740582. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740582

Sun, Q., Yin, S., He, Y., Cao, Y., & Jiang, C. (2023). Biomaterials and encapsulation techniques for probiotics: Current status and future prospects in biomedical applications. *Nanomaterials*, 13(15), 2185. https://doi.org/10.3390/nano13152185

Thangadurai, Y., & Puvaneswari, S. (2022). Phytochemical screening and GC-MS analysis of medicinal plants and their growth promoting efficiency in *Cirrhinus mrigala*—A comparative study. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 43(24), 272–281. https://doi.org/10.56557/upjoz/2022/v43i243272

Thompson, J., Weaver, M. A., Lupatsch, I., Shields, R. J., Plummer, S., Coates, C. J., & Rowley, A. F. (2022). Antagonistic activity of lactic acid bacteria against pathogenic vibrios and their potential use as probiotics in shrimp (*Penaeus vannamei*) culture. *Frontiers in Marine Science*, 9, 807989. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.807989

Tok, S., Öz, M., & Dikel, S. (2025). Effects of dietary anise (*Pimpinella anisum* L.) oil on growth performance, blood parameters and muscle nutrient content of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Medicine and Science*, 11(4), e70443. https://doi.org/10.1002/vms3.70443

Üstüner, E., Öz, M., & Çifci, S. (2026). *Nigella sativa* oil ameliorates malathion-induced toxicity in Nile tilapia: a multi-systemic and molecular evaluation. *Fish Physiology and Biochemistry*, 52(4), 121. https://doi.org/10.1007/s10695-026-01745-6

Üstüner, E., Öz, M., & Dikel, S. (2026). Beyond self-recovery: dietary artichoke leaf extract accelerates tissue regeneration and redox homeostasis in deltamethrin-intoxicated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International*, 34, 236. https://doi.org/10.1007/s10499-026-02638-4

Üstüner, E., Öz, M., İleri, E., & Dikel, S. (2026a). The accelerating role of microplastics as vectors for synthetic pyrethroids: a critical review of bioaccumulation and trophic transfer in aquaculture ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 198, 999. https://doi.org/10.1007/s10661-026-15850-9

Valle Vargas, M. F., Ruiz Pardo, R. Y., Villamil-Díaz, L., Alean, J., Santagapita, P. R., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2025). Encapsulation improves viability and stability of spray-dried *Lactococcus lactis* A12 for inclusion in fish feed. *PLoS ONE*, 20(4), e0323000. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323000

Vijayaram, S., Sinha, R., Faggio, C., Ringø, E., & Chou, C.-C. (2024). Biopolymer encapsulation for improved probiotic delivery: Advancements and challenges. *AIMS Microbiology*, 10(4), 986–1014. https://doi.org/10.3390/microbiol.2024043

Wang, M., Yi, M., Lu, M., Gao, F., Liu, Z., Huang, Q., Li, Q., & Zhu, D. (2020). Effects of probiotics *Bacillus cereus* NY5 and *Alcaligenes faecalis* Y311 used as water additives on the microbiota and immune enzyme activities in three mucosal tissues in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in outdoor tanks. *Aquaculture Reports*, 17, 100309. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100309

Wang, T., Wu, H.-X., Li, W.-J., Xu, R., Qiao, F., Du, Z.-Y., & Zhang, M.-L. (2022). Effects of dietary mannan oligosaccharides (MOS) supplementation on metabolism, inflammatory response and gut microbiota of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with high carbohydrate diet. *Fish & Shellfish Immunology*, 130, 550–559. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.09.052

Wang, X., Zhu, L., Du, Z., Li, H., Hou, L., Li, C., & Li, L. (2025). Host-derived *Pediococcus acidilactici* B49: A promising probiotic for immunomodulation and disease control in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Fish & Shellfish Immunology*, 158, 110148. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2025.110148

Wee, W., Abdul Hamid, N. K., Mat, K., Khalif, R. I. A. R., Rusli, N. D., Rahman, M. M., Kabir, M. A., & Wei, L. S. (2024). The effects of mixed prebiotics in aquaculture: A review. *Aquaculture and Fisheries*, 9(1), 28–34. https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.02.005

Wei, L. S., Goh, K. W., Abdul Hamid, N. K., Abdul Kari, Z., Wee, W., & Van Doan, H. (2022). A mini-review on co-supplementation of probiotics and medicinal herbs: Application in aquaculture. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 869564. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.869564

Yao Ang, C., Sano, M., Dan, S., Leelakriangsak, M., & Lal, T. M. (2020). Postbiotics applications as infectious disease control agent in aquaculture. *Biocontrol Science*, 25(1), 1–7. https://doi.org/10.4265/bio.25.1

Yousefi, M., Adineh, H., Al Sulivany, B. S., Gholamalipour Alamdari, E., Yilmaz, S., Mahboub, H. H., & Hoseini, S. M. (2025). The potential of the inclusion of *Prosopis farcta* extract in the diet on the growth performance, immunity, digestive enzyme activity, and oxidative status of the common carp, *Cyprinus carpio*, in response to ammonia stress. *Animals*, 15(6), 895. https://doi.org/10.3390/ani15060895

Yuan, X., Lv, Z., Zhang, Z., Han, Y., Liu, Z., & Zhang, H. (2023). A review of antibiotics, antibiotic resistant bacteria, and resistance genes in aquaculture: Occurrence, contamination, and transmission. *Toxics*, 11(5), 420. https://doi.org/10.3390/toxics11050420

Zeng, M., van Pijkeren, J. P., & Pan, X. (2023). Gluco-oligosaccharides as potential prebiotics: Synthesis, purification, structural characterization, and evaluation of prebiotic effect. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(4), 2611–2651. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13156

Zhu, F. (2020). A review on the application of herbal medicines in the disease control of aquatic animals. *Aquaculture*, 526, 735422. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735422

Zhu, L., Wang, S., Cai, Y., Shi, H., Zhou, Y., Zhang, D., & Wang, S. (2023). Effects of five prebiotics on growth, antioxidant capacity, non-specific immunity, stress resistance, and disease resistance of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂). *Animals*, 13(4), 754. https://doi.org/10.3390/ani13040754

GÖLCÜK TABİAT PARKI'NDAKİ TOROS SEDİRİ (*Cedrus libani* A. Rich.) YAPRAKLARININ UÇUCU BİLEŞEN PROFİLİ

Dr. Öğretim Üyesi, Fatma Merve NACAKCI[1]

[1]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği,

mervenacakci@isparta.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-6908-2046

Özet

Toros sediri, Pinaceae familyasına ait, Türkiye'nin doğal orman ekosistemleri açısından önemli iğne yapraklı ağaç türlerinden biridir. Bu çalışmada, Gölcük Tabiat Parkı'nda yayılış gösteren Toros sediri bireylerinin yapraklarının uçucu bileşen profilinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bitkisel materyal, Gölcük Tabiat Parkı'nda 1400 m yükseltide ve batı bakıda bulunan yaklaşık 70 yaşındaki üç farklı Toros sediri bireyinden temin edilmiştir. Her bir ağaçtan alınan yaprak örneklerinin uçucu bileşenleri ayrı ayrı analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda Toros sediri yapraklarında toplam 46 uçucu bileşen tespit edilmiştir. Germacrene-D (%16,85) en yüksek oranda belirlenen bileşen olmuş; bunu β-myrcene (%9,48), δ-cadinene (%8,43), α-pinene (%7,37), caryophyllene (%6,95), γ-cadinene (%5,93) ve γ-muurolene (%4,75) izlemiştir. Ayrıca α-amorphene (%3,67), limonene (%3,46), α-calacorene (%3,31) ve α-muurolene (%3,27) uçucu bileşen profilinde dikkat çeken diğer bileşenler olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, Gölcük Tabiat Parkı'ndaki Toros sediri yapraklarının özellikle germacrene-D başta olmak üzere mono- ve seskiterpen bileşenleri bakımından karakteristik bir uçucu bileşen profiline sahip olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, Toros sedirinin uçucu bileşen kompozisyonunun karakterizasyonuna ve farklı yetişme ortamlarındaki kimyasal çeşitliliğinin değerlendirilmesine temel veri sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: *Cedrus libani*, Toros sediri, Gölcük Tabiat Parkı, uçucu bileşenler

VOLATILE COMPONENT PROFILE OF TAURUS CEDAR (*Cedrus libani* A. Rich.) LEAVES FROM GÖLCÜK NATURE PARK

Abstract

Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.), a member of the Pinaceae family, is an important coniferous tree species in Türkiye's natural forest ecosystems. This study aimed to determine the volatile component profile of Taurus cedar leaves from Gölcük Nature Park. Plant material was collected from three different Taurus cedar trees, approximately 70 years old, growing on a west-facing aspect at an elevation of 1,400 m in Gölcük Nature Park. Leaf samples collected from each tree were analyzed separately, and the results were expressed as mean ± standard deviation. A total of 46 volatile compounds were identified in the leaves. Germacrene-D (16.85%) was the predominant compound, followed by β-myrcene (9.48%), δ-cadinene (8.43%), α-pinene (7.37%), caryophyllene (6.95%), γ-cadinene (5.93%), and γ-muurolene (4.75%). In addition, α-amorphene (3.67%), limonene (3.46%), α-calacorene (3.31%), and α-muurolene (3.27%) were identified as other notable constituents of the volatile profile. The results demonstrated that Taurus cedar leaves from Gölcük Nature Park exhibited a characteristic volatile profile, particularly dominated by germacrene-D and various mono- and sesquiterpene compounds. These findings provide baseline data for the characterization of the volatile composition of Taurus cedar and for evaluating its chemical diversity across different growing conditions.

Keywords: *Cedrus libani*, Taurus cedar, Gölcük Nature Park, volatile compounds

1. GİRİŞ

Dünyada *Cedrus* cinsine ait dört tür bulunmakta olup bunlardan *Cedrus atlantica*, *C. brevifolia* ve *C. libani* Akdeniz Bölgesi'nde, *C. deodara* ise Himalayalar'da yayılış göstermektedir (Jasińska vd., 2013). Bu türler içerisinde *C. libani* A. Rich., Akdeniz'de en geniş yayılışa sahip sedir türü olup Türkiye, Suriye ve Lübnan'da doğal olarak bulunmaktadır (Wazen vd., 2020). Tür, en geniş yayılışını Türkiye'de göstermekte ve Toros ile Amanos Dağları'nda saf veya diğer orman ağacı türleriyle karışık meşcereler oluşturmaktadır (OGM, 2019).

Toros sediri, değerli odun özellikleri, farklı yetişme ortamlarına uyum yeteneği ve ağaçlandırma çalışmalarındaki kullanım potansiyeli nedeniyle ormancılık açısından önemli bir türdür. Uygun yetişme ortamlarında hızlı gelişim gösterebilmesi ve özellikle karstik alanların ağaçlandırılması ve rehabilitasyonunda kullanılabilmesi, türün ormancılık açısından önemini artırmaktadır (Boydak, 2003; Karatepe vd., 2009). Bunun yanında Toros sediri ormanları, farklı ekolojik ve floristik özelliklere sahip orman topluluklarına ev sahipliği yapmakta ve Akdeniz orman ekosistemlerinin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır (Kavgacı ve Čarni, 2012).

Uçucu bileşenler, bitkiler tarafından sentezlenen ve kolaylıkla çevreye yayılabilen organik bileşiklerdir. Terpenler ve terpenoidler, özellikle iğne yapraklı ağaçlarda uçucu bileşen profilinin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı geliştirdiği savunma mekanizmalarında önemli roller üstlenmektedir (Pichersky ve Gershenzon, 2002; Kopaczyk vd., 2020). Uçucu bileşenlerin sentezi ve salınımı; genetik özelliklerin yanı sıra kuraklık, sıcaklık, patojen saldırıları ve diğer çevresel faktörlerden etkilenebilmekte ve bu bileşenlerin oranları ve kompozisyonları aynı tür içerisinde dahi farklılık gösterebilmektedir (Kopaczyk vd., 2020). Bu nedenle uçucu bileşen profillerinin belirlenmesi, bitki türlerinin kimyasal karakterizasyonunun yanı sıra farklı popülasyon ve yetişme ortamları arasındaki kimyasal varyasyonun ortaya konulması açısından da önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Gölcük Tabiat Parkı'nda yetişen Toros sediri bireylerinin yapraklarında bulunan uçucu bileşenleri belirlemek ve baskın bileşenleri ortaya koymaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın materyalini, Isparta Gölcük Tabiat Parkı'nda 1400 m yükseltide ve batı bakısında yetişen, yaklaşık 70 yaşındaki üç farklı Toros sediri (*C. libani* A. Rich.) bireyinden alınan yaprak örnekleri oluşturmuştur. Uçucu bileşen analizlerinde her bireyden alınan yaprak örnekleri ayrı birer biyolojik örnek olarak değerlendirilmiştir.

Uçucu bileşenlerin belirlenmesinde katı faz mikroekstraksiyon (SPME) yöntemi kullanılmıştır. Hassas olarak tartılan 5 g yaprak örneği, silikon septumla kapatılmış 15 mL'lik cam vial içerisine yerleştirilmiş ve 45 °C'de

15 dakika inkübe edilerek termal denge sağlanmıştır. Yaprak örneklerindeki uçucu bileşenlerin adsorpsiyonu için 75 µm Carboxen/PDMS (CAR/PDMS) SPME fiberi kullanılmış ve fiber vialin tepe boşluğunda 45 °C'de 30 dakika bekletilmiştir. Ardından fiber, adsorbe edilen uçucu bileşenlerin termal desorpsiyonu için gaz kromatografının enjeksiyon portuna yerleştirilerek 250 °C'de 5 dakika tutulmuştur. Uçucu bileşenlerin analizi Shimadzu GC-2010 gaz kromatografisi ve MS-QP2010 Plus kütle spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

Gölcük Tabiat Parkı'nda yaklaşık 70 yaşındaki üç farklı Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) bireyinden alınan yaprak örneklerinin uçucu bileşen analizi sonucunda toplam 46 uçucu bileşen tespit edilmiştir. Her bireye ait örnek ayrı ayrı analiz edilmiş ve sonuçlar üç biyolojik örneğin ortalama ± standart sapması şeklinde değerlendirilmiştir (Çizelge 1).

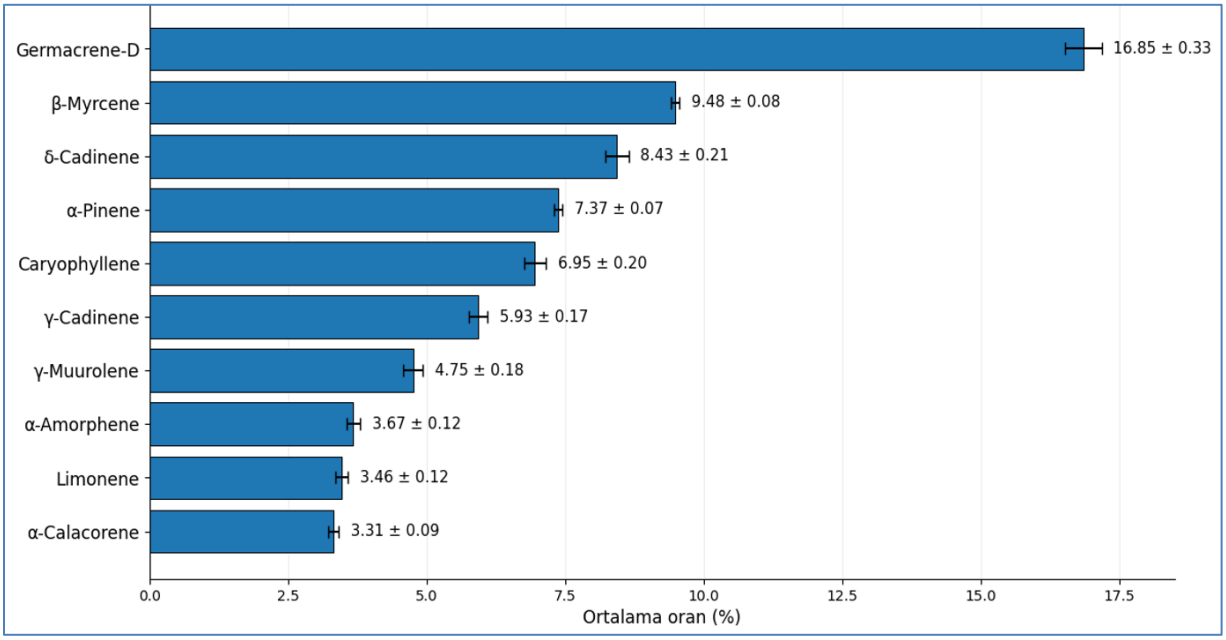
Çizelge 1. Toros sediri yapraklarının uçucu bileşen profili (% ortalama ± standart sapma)

	RI	Bilesen	Ort ±Std
1	<700	Penten-3-one	0,20 ± 0,02
2	800	Hexanal	0,18 ± 0,03
3	847	(E)-2-Hexenal	1,18 ± 0,05
4	851	(Z)-Hex-3-en-1-ol	1,60 ± 0,05
5	865	Hexanol	0,07 ± 0,02
6	929	alpha-Pinene	7,37 ± 0,07
7	943	Camphene	0,12 ± 0,03
8	970	Sabinene	0,05 ± 0,02
9	976	beta- Pinene	0,54 ± 0,05
10	982	6-Methyl-5-heptene-2-one	0,11 ± 0,03
11	989	beta- Myrcene	9,48 ± 0,08
12	1002	l-Phellandrene	0,21 ± 0,04
13	1004	DELTA.3-Carene	0,08 ± 0,02
14	1013	alpha- Terpinene	0,12 ± 0,02
15	1021	o-Cymene	0,23 ± 0,04
16	1027	Limonene	3,46 ± 0,12
17	1034	cis-Ocimene	0,11 ± 0,02
18	1054	gamma- Terpinene	0,13 ± 0,02
19	1082	alpha- Terpinolene	0,77 ± 0,05
20	1103	Nonanal	0,14 ± 0,02
21	1330	2,8,8-Trimethyl-4-methylene-2-vinylbicyclo[5.2.0]nonane	0,42 ± 0,05
22	1343	alpha- Cubebene	0,99 ± 0,06
23	1365	Cyclosativene	0,52 ± 0,04
24	1372	alpha- Copaene	1,51 ± 0,09
25	1379	beta- Bourbonene	1,14 ± 0,05

26	1385	beta- Elemene	0,32 ± 0,05
27	1416	Caryophyllene	6,95 ± 0,20
28	1425	beta- Cubebene	0,90 ± 0,05
29	1441	beta- Cadinene	1,39 ± 0,09
30	1444	cis-muurola-3,5-diene	0,79 ± 0,05
31	1451	alpha- Humulene	1,69 ± 0,11
32	1458	(+)-Epi-bicyclosesquiphellandrene	1,82 ± 0,07
33	1468	Cadina-1(6),4-diene <10betaH->	1,11 ± 0,07
34	1472	gamma- Muurolene	4,75 ± 0,18
35	1478	Germacrene-D	16,85 ± 0,33
36	1488	alpha- Amorphene	3,67 ± 0,12
37	1492	Epizonarene	1,80 ± 0,08
38	1494	alpha- Muurolene	3,27 ± 0,12
39	1499	Cadinene	1,34 ± 0,05
40	1509	gamma- Cadinene	5,93 ± 0,17
41	1515	delta- Cadinene	8,43 ± 0,21
42	1518	Calamenene	0,52 ± 0,04
43	1528	Cadina-1,4-diene	1,22 ± 0,07
44	1532	alpha.-Muurolene-(-)	2,71 ± 0,12
45	1536	alpha- Calacorene	3,31 ± 0,09
46	1651	tau- Cadinol	0,51 ± 0,04

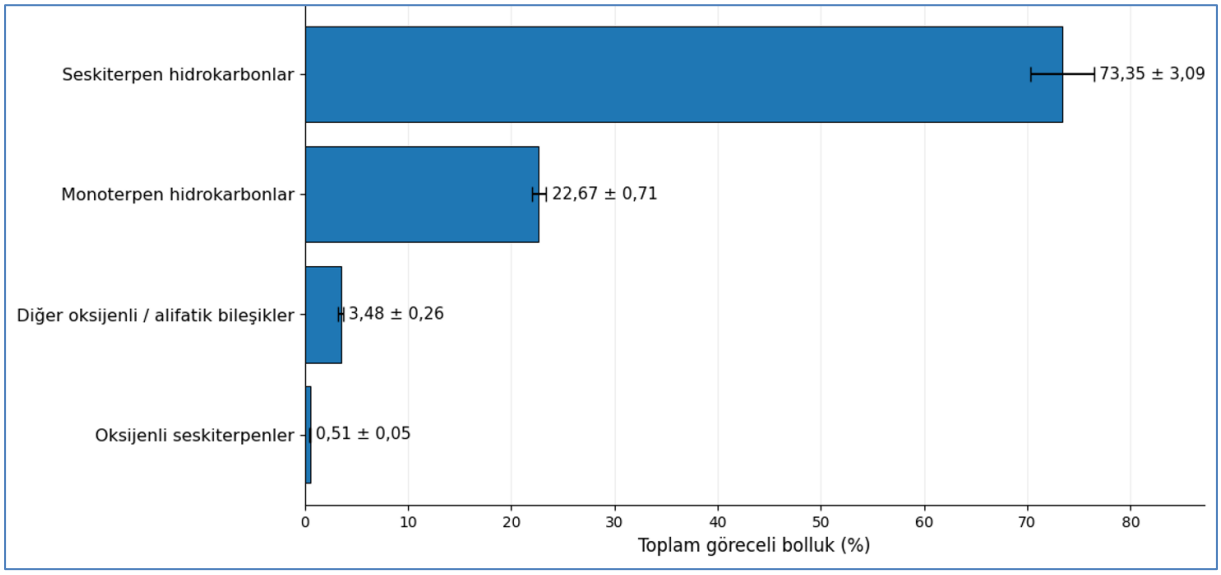
Belirlenen uçucu bileşenler içerisinde Germacrene-D (%16,85 ± 0,33) en yüksek orana sahip bileşen olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Germacrene-D'yi sırasıyla β-myrcene (%9,48 ± 0,08), δ-cadinene (%8,43 ± 0,21), α-pinene (%7,37 ± 0,07), caryophyllene (%6,95 ± 0,20), γ-cadinene (%5,93 ± 0,17), γ-muurolene (%4,75 ± 0,18), α-amorphene (%3,67 ± 0,12), limonene (%3,46 ± 0,12) ve α-calacorene (%3,31 ± 0,09) izlemiştir. İlk 10 bileşenin toplam uçucu bileşen profilinin %70,20'sini oluşturduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Toros sediri yapraklarında belirlenen başlıca uçucu bileşenlerin ortalama oranları (%, ortalama ± standart sapma)



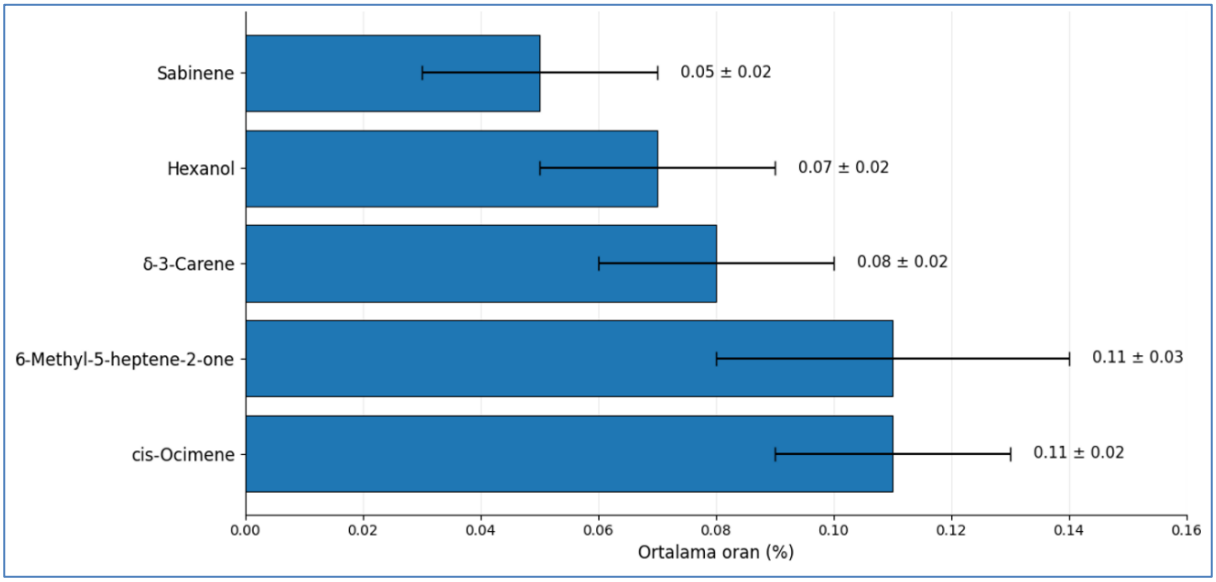
Uçucu bileşenler kimyasal sınıflarına göre değerlendirildiğinde, profilin büyük bölümünü seskiterpen hidrokarbonların (%73,35 ± 3,09) oluşturduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Bunu monoterpen hidrokarbonlar (%22,67 ± 0,71), diğer oksijenli/alifatik bileşikler (%3,48 ± 0,26) ve oksijenli seskiterpenler (%0,51 ± 0,05) izlemiştir. Bu sonuçlar, incelenen Toros sediri yapraklarının uçucu bileşen profilinde seskiterpen hidrokarbonların belirgin şekilde baskın olduğunu göstermiştir.

Çizelge 3. Toros sediri yapraklarındaki uçucu bileşenlerin kimyasal sınıflara göre ortalama dağılımı (%, ortalama ± standart sapma)



En düşük oranlarda belirlenen bileşenler ise sabinene (%0,05 ± 0,02), hexanol (%0,07 ± 0,02), δ-3-carene (%0,08 ± 0,02), 6-methyl-5-heptene-2-one (%0,11 ± 0,03) ve cis-ocimene (%0,11 ± 0,02) olmuştur. Analizlerde α-thujene ve thymyl methyl ether %0,00 olarak belirlendiğinden en düşük oranlı bileşenlerin değerlendirilmesine dahil edilmemiştir.

Çizelge 4. Toros sediri yapraklarında en düşük oranda belirlenen uçucu bileşenlerin ortalama oranları (%, ortalama ± standart sapma)



4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Gölcük Tabiat Parkı'nda yetişen Toros sediri yapraklarında 46 uçucu bileşen tespit edilmiştir. Germacrene-D (%16,85 ± 0,33) en yüksek oranda belirlenen bileşen olmuş; β-myrcene, δ-cadinene, α-pinene ve caryophyllene diğer baskın bileşenler olarak öne çıkmıştır. Uçucu bileşen profilinin büyük ölçüde seskiterpen hidrokarbonlardan (%73,35 ± 3,09) oluşması, Gölcük örneklerinin seskiterpen ağırlıklı bir kimyasal profile sahip olduğunu göstermiştir. İlk 10 bileşenin toplam profilin %70,20'sini oluşturması, uçucu bileşen kompozisyonunun belirli bileşenler etrafında yoğunlaştığını ortaya koymuştur.

Loizzo vd. (2007), *C. libani* yapraklarında Germacrene-D'yi (%29,40) baskın bileşen olarak bildirmiştir. Aynı çalışmada γ-muurolene (%4,83) ve δ-cadinene (%5,60) de önemli bileşenler arasında yer almıştır. Özellikle γ-muurolene oranı mevcut çalışmada belirlenen değerle (%4,75) oldukça benzerdir. Buna karşılık β-myrcene (%9,48) ve α-pinene (%7,37) oranları, Loizzo vd. (2007) tarafından bildirilen değerlerden (sırasıyla %0,73 ve %2,20) daha yüksek bulunmuştur.

C. atlantica ve *C. deodara* yapraklarında da Germacrene-D, α-pinene, myrcene ve β-caryophyllene gibi bileşenlerin bulunması (Derwich vd., 2010; Saab vd., 2009), *Cedrus* türleri arasında bazı ortak uçucu bileşenlerin bulunduğunu; ancak bu bileşenlerin göreceli oranlarının türler ve çalışmalar arasında önemli ölçüde değişebildiğini göstermektedir. Bu farklılıkların tür ve genetik yapının yanı sıra yetişme ortamı, iklim, yükselti, örnekleme dönemi ve kullanılan analiz yöntemleri gibi faktörlerle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Nacakcı (2026) tarafından Yukarı Gökdere (Isparta) yöresinde 1300, 1500 ve 1700 m yükseltilerde gerçekleştirilen çalışmada, *C. libani* yapraklarında limonene, β-myrcene, α-pinene, caryophyllene ve Germacrene-D başlıca uçucu bileşenler arasında belirlenmiştir. Benzer şekilde, Gölcük Tabiat Parkı örneklerinde de Germacrene-D, β-myrcene, α-pinene ve caryophyllene'in baskın bileşenler arasında yer alması iki çalışma arasında genel bir uyum olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bileşenlerin göreceli oranlarındaki farklılıklar, *C. libani* yapraklarının uçucu bileşen profilinin yetişme ortamı koşullarına bağlı olarak değişebileceğini düşündürmektedir.

Elde edilen sonuçlar, Gölcük Tabiat Parkı'ndaki Toros sediri bireylerinin uçucu bileşen profiline ilişkin temel kimyasal veriler sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı yükselti, bakı ve örnekleme dönemlerinin birlikte değerlendirilmesi ve farklı popülasyonlarla karşılaştırılması, Toros sedirinin uçucu bileşenlerindeki ekolojik ve kimyasal varyasyonun daha ayrıntılı ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Boydak, M. (2003). Regeneration of Lebanon cedar (Cedrus libani A. Rich.) on karstic lands in Turkey. *Forest ecology and management*, *178*(3), 231-243.

Derwich E, Benziane Z, Boukir A. 2010. Chemical composition and in vitro antibacterial activity of the essential oil of *Cedrus atlantica*. Int J Agric Biol. 12:381–385.

Jasińska AK, Boratyńska K, Sobierajska K, Romo A, Ok T, Kharat MBD, Boratyński A (2013) Relationships among *Cedrus libani*, *C. brevifolia* and *C. atlantica* as revealed by the morphological and anatomical needle characters. Plant Syst Evol 299(1):35–48. https:// doi. org/ 10. 1007/ s00606- 012- 0700-y.

Karatepe, Y., Süel, H., & Yetüt, İ. (2009). Isparta Gölcük Tabiat Parkı'nda Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.)'nin farklı anakayalardan oluşmuş topraklardaki gelişiminin ekolojik irdelenmesi. Turkish Journal of Forestry, 6(1), 64-75. https://doi.org/10.18182/tjf.54869.

Kavgacı, A., & Carni, A. (2012). Diversity and gradients in cedar forests on Taurus mountain range (Turkey). *Journal of Environmental Biology*, *33*(5), 977.

Kopaczyk, J. M., Warguła, J., & Jelonek, T. (2020). The variability of terpenes in conifers under developmental and environmental stimuli. *Environmental and Experimental Botany*, *180*, 104197.

Loizzo MR, Saab A, Statti G, Menichini F. 2007. Phytochemical composition and *in vitro* α-amylase inhibitory effect of essential oils from *Cedrus libani*. A Rich Fitoterapia. 78:323–326.

Nacakcı, F.M. Variation in volatile and flavonoid profiles of *Cedrus libani* A. Rich. leaves along an elevational gradient. *Sci Rep* 16, 21354 (2026). https://doi.org/10.1038/s41598-026-52703-4

OGM (2019). Turkey forestry statistics. General Directorate of Forestry, Turkey.

Pichersky, E., & Gershenzon, J. (2002). The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. *Current opinion in plant biology*, *5*(3), 237-243.

Saab AM, Harb F, Koenig W. 2009. Essential oil components in the leaves of *Cedrus libani* and *Cedrus deodara* from Lebanon. Minerva Biotecnol. 21:201–206.

Wazen N, Garavaglia V, Picard N, Besacier C, Fady B (2020) Distribution maps of twenty-four Mediterranean and European ecologically and economically important forest tree species compiled from historical data collections. Ann Silvicult Res 44(2):95–101. https:// doi. org/ 10. 12899/ asr- 1933.

Yılmazer, M., Karagöz, S. G., Özkan, G. & Karacabey, E. Aroma transition from rosemary leaves during aromatization of olive oil. *J. Food Drug Anal.* 24 (2), 299–304. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.11.002 (2016).

SEBZELERDE ÇİNKO BİYOFORTİFİKASYONU: BİTKİ BESLEME, VERİM VE ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD[1], Doç. Dr. Yahya NAS[2]

[1]Şırnak Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, yakhoundnejad@sirnak.edu.tr, 0000-0002-1435-864X

[2]Şırnak Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, yahya.nas@sirnak.edu.tr, 0000-0002-6917-8697

Özet

Çinko (Zn), bitkilerde enzim aktivasyonu, protein sentezi, fotosentez, membran bütünlüğü ve antioksidan savunma gibi birçok fizyolojik ve biyokimyasal süreçte görev alan temel bir mikro besin elementidir. İnsan beslenmesi açısından da önemli olan Zn'nin yetersiz alımı, dünya genelinde yaygın bir beslenme sorunu olmaya devam etmektedir. Bu nedenle, bitkisel gıdaların Zn içeriğinin artırılması hem tarımsal üretim hem de insan beslenmesi açısından önem taşımaktadır. Agronomik Zn biyofortifikasyonu, sebzelerin yenilebilir kısımlarındaki Zn konsantrasyonunu artırarak besin değerlerini geliştirmeye yönelik sürdürülebilir bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Sebzelerde Zn; toprağa uygulama, yapraktan püskürtme, besin çözeltisine ilave etme ve farklı Zn gübre formülasyonlarının kullanımı yoluyla uygulanabilmektedir. Bu uygulamaların etkinliği; bitki türü ve genotipi, Zn kaynağı ve dozu, uygulama yöntemi ve zamanı, yetiştirme ortamı ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Uygun dozlarda Zn uygulaması, yenilebilir dokulardaki Zn birikimini artırmanın yanı sıra fotosentetik performans, mineral beslenme ve antioksidan savunmayı destekleyebilmektedir. Bu etkiler bitki büyümesi ve verimin sürdürülmesine katkı sağlarken, ürünlerin mineral içeriği, antioksidan kapasitesi ve bazı kalite özelliklerini de iyileştirebilmektedir. Buna karşılık, aşırı Zn uygulamaları besin elementi dengesini bozarak fitotoksisiteye, büyümenin baskılanmasına ve verim kayıplarına yol açabilmektedir. Sonuç olarak, Zn biyofortifikasyonu sebzelerin besin değerinin artırılması ve insan beslenmesinde Zn alımının desteklenmesi açısından önemli bir stratejidir. Etkili ve güvenli bir biyofortifikasyon için Zn kaynağı, dozu, uygulama yöntemi ve zamanının bitki türü ve üretim sistemine göre optimize edilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çinko, biyofortifikasyon, sebzeler, bitki besleme, verim, ürün kalitesi.

ZINC BIOFORTIFICATION IN VEGETABLES: EFFECTS ON PLANT NUTRITION, YIELD, AND PRODUCT QUALITY

Abstract

Zinc (Zn) is an essential micronutrient involved in numerous physiological and biochemical processes in plants, including enzyme activation, protein synthesis, photosynthesis, membrane integrity, and antioxidant defense. Inadequate dietary Zn intake remains an important global nutritional concern. Therefore, increasing Zn concentrations in plant-based foods is important from both agricultural and human nutrition perspectives. Agronomic Zn biofortification has emerged as a sustainable approach to enhance the nutritional value of vegetables by increasing Zn concentrations in their edible parts. In vegetable crops, Zn can be supplied through soil application, foliar spraying, supplementation of nutrient solutions, and the use of different Zn fertilizer formulations. The effectiveness of these practices depends on plant species and genotype, Zn source and dose, application method and timing, growing medium, and environmental conditions. At appropriate doses, Zn application can increase Zn accumulation in edible tissues while supporting photosynthetic performance, mineral nutrition, and antioxidant defense. These effects may contribute to maintaining plant growth and yield while improving the mineral composition, antioxidant capacity, and selected quality attributes of vegetable products. In contrast, excessive Zn application may disrupt nutrient balance, induce phytotoxicity, suppress plant growth, and result in yield losses. In conclusion, Zn biofortification represents an important strategy for enhancing the nutritional value of vegetables and supporting dietary Zn intake. For effective and safe biofortification, Zn source, dose, application method, and timing should be optimized according to the plant species and production system.

Keywords: Zinc, biofortification, vegetables, plant nutrition, yield, product quality.

1. GİRİŞ

Genellikle "gizli açlık" olarak tanımlanan mikro besin elementi yetersizliği, küresel beslenme ve gıda güvenliği açısından önemini koruyan temel sorunlardan biridir. Temel mikro besin elementleri arasında çinko (Zn), hem bitkilerde hem de insanlarda çok sayıda fizyolojik işlev için gerekli olması nedeniyle özel bir öneme sahiptir. Bitkisel kaynaklı gıdalar, beslenme yoluyla Zn alımına önemli katkı sağladığından, bitkilerin yenilebilir dokularındaki Zn konsantrasyonunun ve biyoyararlılığının artırılması, insan beslenmesinin niteliğinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir (Buturi ve ark., 2021; Szerement ve ark., 2022). Bitkilerde Zn; yapısal, katalitik ve düzenleyici işlevlere sahip olup çok sayıda protein ve enzimin işlevinde rol almaktadır. Enzim aktivasyonu, protein ve karbonhidrat metabolizması, membran stabilitesinin korunması, fotosentetik süreçler, gen düzenlenmesi ve antioksidan savunma mekanizmalarında görev almaktadır. Hem Zn noksanlığı hem de aşırı Zn birikimi hücresel metabolizmayı olumsuz etkileyebildiğinden, bitkiler Zn alımını, kökten sürgüne taşınımını, hücresel bölmelendirilmesini ve yeniden mobilizasyonunu sıkı bir homeostatik düzenleme altında tutmaktadır (Stanton ve ark., 2022; Natasha ve ark., 2022). Biyofortifikasyon, temel besin elementlerinin bitkilerin yenilebilir organlarındaki konsantrasyonunu ve ideal olarak biyoyararlılığını artırmayı amaçlamaktadır. Bu hedef; bitki ıslahı, genetik yaklaşımlar ve agronomik uygulamalar aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Agronomik biyofortifikasyon, uygun gübre yönetimi ve besin elementi uygulama stratejileriyle mevcut üretim sistemlerine nispeten hızlı biçimde entegre edilebilmesi nedeniyle özellikle dikkat çekmektedir (Buturi ve ark., 2021; Szerement ve ark., 2022). Sebzeler; tür çeşitliliğinin yüksek olması, yaygın olarak tüketilmeleri, nispeten kısa üretim dönemlerine sahip olmaları ve taze ya da minimum işlenmiş biçimde insan beslenmesinde önemli yer tutmaları nedeniyle Zn biyofortifikasyonu açısından uygun ürün gruplarıdır. Bununla birlikte yaprak, kök, yumru, soğan ve meyvesi tüketilen sebzeler arasında Zn'nin alımı, taşınımı, yeniden mobilizasyonu ve depolanması bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle Zn biyofortifikasyonu stratejilerinin geliştirilmesinde tür ve genotipin yanı sıra Zn kaynağı, uygulama yöntemi, yetiştirme ortamı ve çevresel koşullar birlikte değerlendirilmelidir. Marul, havuç, soğan, tatlı patates, domates ve diğer bahçe bitkilerinde yürütülen çalışmalar, yenilebilir dokularda önemli düzeyde Zn zenginleştirmesinin mümkün olduğunu; ancak büyüme, verim ve kalite üzerindeki etkilerin üretim sistemlerine göre değişebildiğini göstermektedir (Almendros ve ark., 2015; de Moraes ve ark., 2022; Xu ve ark., 2022; Buturi ve ark., 2023; Ortiz ve ark., 2024; Cannata ve ark., 2025). Bu derlemede, sebzelerde Zn biyofortifikasyonuna yönelik agronomik yaklaşımlar ele alınarak bu uygulamaların bitki besleme, fizyolojik performans, verim ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Özellikle Zn ile zenginleştirme düzeyi ile ürün verimliliği,

besinsel kalite, Zn biyoyararlılığı ve çevresel sürdürülebilirlik arasındaki dengenin sağlanması üzerinde durulmaktadır.

2. ÇİNKO BİYOFORTİFİKASYONUNDA AGRONOMİK YAKLAŞIMLAR

Agronomik Zn biyofortifikasyonu; toprağa gübre uygulaması, yapraktan uygulama, fertigasyon, topraksız yetiştiricilikte besin çözeltisinin Zn ile zenginleştirilmesi ve şelatlı, kompleks, mikrobiyal veya diğer yenilikçi Zn formülasyonlarının kullanılması yoluyla gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşımların etkinliği; gübrenin kimyasal özellikleri, bitki türü ve genotipi, toprak veya substrat özellikleri ile çevresel koşullar arasındaki etkileşimlere bağlıdır (Younas ve ark., 2023; Sánchez-Palacios ve ark., 2023). Topraktan uygulama, bitkilere Zn sağlamada kullanılan en geleneksel yöntemlerden biridir. Bununla birlikte, topraktaki Zn'nin yarayışlılığı; pH, organik madde, tekstür, nem, karbonat içeriği ve diğer besin elementleriyle olan etkileşimlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, özellikle Zn hareketliliğinin ve yarayışlılığının sınırlı olduğu topraklarda uygulanan Zn miktarının artırılması, yenilebilir dokulardaki Zn birikiminde her zaman orantılı bir artış sağlamamaktadır (Younas ve ark., 2023). Almendros ve ark. (2015), soğanda farklı doğal ve sentetik organik Zn komplekslerini asidik ve kireçli toprak koşullarında değerlendirmiş ve hem Zn kaynağının hem de toprak özelliklerinin Zn yarayışlılığı ile bitkideki Zn birikimini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca bazı Zn komplekslerinin bitki Zn konsantrasyonunu artırırken ürün verimliliğini de iyileştirebildiği bildirilmiştir. Bu sonuçlar, topraktan Zn biyofortifikasyonu programlarının geliştirilmesinde gübre formu ile toprak özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Yapraktan Zn uygulaması, Zn'nin toprakta bağlanmasından kaynaklanan sınırlamaları kısmen aşabilecek alternatif bir yöntemdir. Yaprak yüzeyine uygulanan Zn, yaprak dokularına alınarak daha sonra bitkinin farklı organlarına taşınabilmektedir. Bununla birlikte, Zn'nin yapraktan alınma ve taşınma etkinliği; Zn kaynağı ve konsantrasyonu, kullanılan formülasyon, bitki türü, gelişme dönemi ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir (Sánchez-Palacios ve ark., 2023). Buturi ve ark. (2023), havuçta Zn ve Fe'nin sülfat ve şelatlı formlarının yapraktan uygulanmasını karşılaştırmış ve uygulamaların yenilebilir köklerde mineral konsantrasyonunu etkili biçimde artırdığını bildirmiştir. Özellikle Zn-EDTA uygulaması, Zn zenginleştirmesi ve biyolojik erişilebilirliği açısından olumlu sonuçlar göstermiştir. Bu çalışma, biyofortifikasyonun beslenme açısından başarısının değerlendirilmesinde yalnızca toplam mineral konsantrasyonunun yeterli olmadığını, biyoyararlanabilir fraksiyonun da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Zn gübresinin formülasyonunun önemi tatlı patateste de açık biçimde görülmektedir. Xu ve ark. (2022), farklı yapraktan uygulama dozlarında $ZnSO_4$, Zn-EDTA ve glisinle şelatlanmış Zn'yi (ZnGly) karşılaştırmıştır. Aşırı $ZnSO_4$ uygulaması yapraklarda zararlanmaya ve verim

kayıplarına neden olurken, şelatlı Zn kaynakları daha düşük düzeyde yaprak zararı oluşturmuştur. ZnGly ise köklerde Zn zenginleşmesi, Zn kullanım etkinliği ve bitki performansı bakımından olumlu sonuçlar sağlamıştır. Bu bulgular, kullanılan Zn formülasyonunun biyofortifikasyonun hem etkinliğini hem de güvenliğini belirleyebileceğini göstermektedir. Çevre dostu Zn kompleksleri de önemli alternatifler sunmaktadır. Bashir ve ark. (2026), hidroponik koşullarda yetiştirilen marulda peptit bazlı Zn biyoşelatlarını değerlendirmiş ve etkili bir Zn biyofortifikasyonu sağlandığını göstermiştir. Ayrıca Zn biyoşelatlarının verim ve kalite özelliklerini etkileyebildiği belirlenmiş olup bu sonuçlar, çevreyle uyumlu Zn formülasyonlarının sebzelerin biyofortifikasyonunda kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Topraksız yetiştiricilikte besin çözeltisinin Zn ile zenginleştirilmesi, Zn dozunun daha hassas biçimde yönetilmesine olanak sağlayan diğer bir yaklaşımdır. Besin çözeltisine Zn ilavesinin hidroponik ve aeroponik koşullarda yetiştirilen marulda Zn birikimini artırmak amacıyla kullanılabileceği; ancak bitki tepkilerinin Zn konsantrasyonu ve yetiştirme koşullarına önemli ölçüde bağlı olduğu bildirilmektedir (Meneghelli ve ark., 2021; Bashir ve ark., 2026). Mikrobiyal uygulamalar ise giderek önem kazanan bir diğer yaklaşımdır. Zn çözündürücü mikroorganizmalar, rizosferde düşük çözünürlüğe sahip Zn formlarının yarayışlılığını artırabilmektedir. Gupta ve ark. (2024), Zn çözündürme kapasitesine sahip bir *Talaromyces* izolatının marulda Zn alımını artırdığını ve bitki gelişimini desteklediğini göstermiştir. Bu tür biyolojik yaklaşımlar, yüksek miktarda gübre kullanımına olan bağımlılığın azaltılmasına ve toprakta doğal olarak bulunan ya da gübrelerle uygulanan Zn'nin daha etkin kullanılmasına katkı sağlayabilir.

3. BİTKİ BESLEME VE FİZYOLOJİK PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ

Zn, çok sayıda metabolik süreçte görev aldığından bitkilerin fizyolojik performansıyla yakından ilişkilidir. Yeterli Zn beslenmesi; enzim fonksiyonlarını, protein metabolizmasını, membran stabilitesini, fotosentetik süreçleri ve antioksidan savunmayı desteklemektedir. Buna karşılık hem Zn noksanlığı hem de aşırı Zn birikimi hücresel metabolizmayı ve bitki gelişimini olumsuz etkileyebilmektedir (Szerement ve ark., 2022; Younas ve ark., 2023). Bitkilerin Zn uygulamasına verdiği yanıt genellikle doğrusal olmayıp doza bağlıdır. Zn noksanlığı koşullarında Zn yarayışlılığının artırılması normal metabolik faaliyetlerin yeniden düzenlenmesine ve büyümenin desteklenmesine katkıda bulunabilir. Ancak bitkinin Zn gereksinimi karşılandıktan sonra Zn düzeyinin daha fazla artırılması sınırlı fizyolojik yarar sağlayabilir ve yüksek konsantrasyonlarda toksik etkilere yol açabilir (Younas ve ark., 2023). Bu durum marulda açık biçimde ortaya konulmuştur. Preciado-Rangel ve ark. (2021), Zn biyofortifikasyonunun marulda verim, nutrasötik kalite ve antioksidan kapasiteyi etkilediğini; en uygun yanıtların orta düzeyde Zn konsantrasyonlarında elde edildiğini ve daha yüksek Zn düzeylerinde olumlu etkinin azaldığını bildirmiştir. Benzer şekilde, ZnO bazlı Zn gübrelemesinin marulda biyokütle, klorofil

konsantrasyonu, antioksidan bileşikler, mineral kompozisyon ve antioksidan enzim aktivitelerini değiştirebildiği gösterilmiş; böylece Zn kaynağı ve dozunun fizyolojik yanıtların belirlenmesinde önemli olduğu ortaya konmuştur (Garza-Alonso ve ark., 2023). Bu sonuçlar, Zn biyofortifikasyonunun temel ilkelerinden birini ortaya koymaktadır: amaç yalnızca bitki dokularındaki Zn konsantrasyonunu en yüksek düzeye çıkarmak olmamalıdır. Etkili bir biyofortifikasyon stratejisi, yenilebilir dokulardaki Zn birikimini artırırken normal fizyolojik aktivitenin, mineral dengesinin ve pazarlanabilir biyokütlenin korunmasını da sağlamalıdır (Ortiz ve ark., 2024). Zn uygulamaları diğer besin elementleriyle de etkileşime girebilir. Kökten alım, bitki içerisindeki taşınım ve hücresel bölmelendirme sırasında Zn ile Fe, Cu, Mn, P ve diğer elementler arasında rekabetçi veya sinerjik etkileşimler meydana gelebilir. Bu nedenle Zn biyofortifikasyonu çalışmalarında yalnızca Zn konsantrasyonuna odaklanmak yerine yenilebilir dokuların genel mineral kompozisyonunun değerlendirilmesi daha uygun olacaktır (Garza-Alonso ve ark., 2023). Mikrobiyal Zn mobilizasyonu da daha dengeli bir bitki beslenmesine katkı sağlayabilir. Zn çözündürme kapasitesine sahip bitki gelişimini teşvik edici mikroorganizmalar, düşük yarayışlılığa sahip Zn formlarını çözündürerek besin elementi alımını ve bitki gelişimini destekleyebilir (Gupta ve ark., 2024). Bu yaklaşım, biyolojik besin elementi mobilizasyonunun agronomik biyofortifikasyon stratejileriyle birlikte kullanılabileceğini göstermektedir.

4. VERİM VE BİYOKÜTLE ÜRETİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

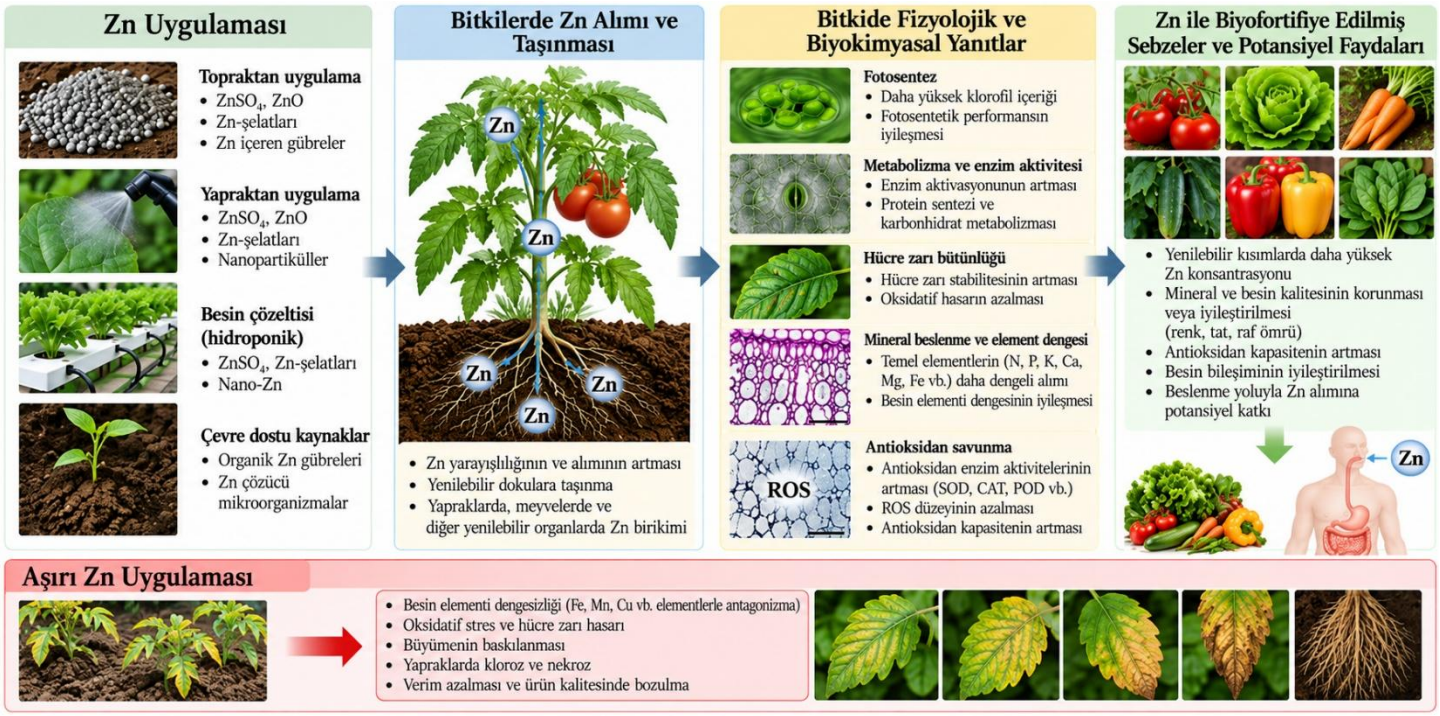
Zn biyofortifikasyonunun bitkisel üretim üzerindeki etkileri; bitkinin başlangıçtaki Zn beslenme durumu, kullanılan gübre kaynağı, uygulama dozu, genotip ve yetiştirme koşullarına bağlıdır. Zn noksanlığı bulunan bitkilerde uygun Zn gübrelemesi, normal fizyolojik ve metabolik işlevlerin yeniden düzenlenmesini sağlayarak büyümeyi destekleyebilir. Buna karşılık aşırı Zn uygulaması biyokütle oluşumunu baskılayabilir ve pazarlanabilir verimi azaltabilir. Marulda yürütülen çalışmalar bu farklı yanıtları açık biçimde göstermektedir. de Moraes ve ark. (2022), artan Zn uygulamasının bitki dokularındaki Zn konsantrasyonunu artırdığını, ancak aşırı konsantrasyonlarda kuru madde üretimini azalttığını bildirmiştir. Buna karşılık Ortiz ve ark. (2024), bazı çevre dostu Zn komplekslerinin yapraklardaki Zn birikimini artırırken bitki performansını koruyabildiğini veya iyileştirebildiğini göstermiştir. Bu farklı yanıtlar, Zn biyofortifikasyonunda maksimum uygulama dozundan ziyade optimum dozun belirlenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Soğanda organik Zn komplekslerinin, belirli toprak ve gübre kombinasyonlarında bitkideki Zn konsantrasyonunu artırırken verimliliği de iyileştirebildiği bildirilmiştir (Almendros ve ark., 2015). Yanıtın büyüklüğünün toprak tipi ve Zn formülasyonuna önemli ölçüde bağlı olması, besin elementi kaynağı ile kök bölgesi koşulları arasındaki etkileşimin önemini göstermektedir. Havuçta yapraktan Zn uygulamalarının kök gelişimi üzerinde olumlu

etkiler oluşturabildiği bildirilmiştir. Buturi ve ark. (2023), bazı mineral uygulamalarının kök yaş ağırlığı ve kök uzunluğunu artırdığını, Zn-EDTA uygulamasının ise kuru madde içeriğini yükselttiğini belirlemiştir. Bu sonuçlar, Zn kaynağı ve uygulama dozu uygun şekilde seçildiğinde etkili bir biyofortifikasyonun yeterli kök verimliliğiyle birlikte gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Tatlı patates, Zn dozu ve formülasyonunun önemini açık biçimde ortaya koyan diğer bir örnektir. Xu ve ark. (2022), aşırı $ZnSO_4$ uygulamasının yaprak yanıklığına ve verim kayıplarına neden olduğunu; ZnGly uygulamasının ise daha düşük fitotoksisite oluşturduğunu ve aşırı $ZnSO_4$ uygulamasına kıyasla daha iyi verim performansı sağladığını bildirmiştir. Ayrıca çeşitler arasında farklı yanıtların belirlenmesi, biyofortifikasyon programlarında genotip × gübre etkileşimlerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Meyvesi tüketilen sebzelerde ise farklı yanıtlar görülebilmektedir. Cannata ve ark. (2025), sera koşullarında yetiştirilen iki mini erik tipi domates çeşidinde yapraktan Zn-EDTA uygulamasını incelemiş ve meyvelerdeki Zn konsantrasyonunun önemli ölçüde arttığını, buna karşılık toplam verimin anlamlı düzeyde değişmediğini bildirmiştir. Biyofortifikasyon açısından değerlendirildiğinde, verim kaybına yol açmadan ürünün besin elementi yoğunluğunun artırılması agronomik açıdan başarılı bir sonuç olarak kabul edilebilir. Genel olarak mevcut bulgular, Zn biyofortifikasyonunun her durumda verim artışı sağlamadığını göstermektedir. Bu nedenle agronomik başarı, yalnızca verim artışı üzerinden değil, kabul edilebilir ürün verimliliği korunurken beslenme açısından anlamlı düzeyde Zn zenginleştirmesinin sağlanıp sağlanamadığı temelinde değerlendirilmelidir.

5. BESİNSEL DEĞER VE ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Zn biyofortifikasyonunun yararları yalnızca ürünün Zn konsantrasyonunun artırılmasıyla sınırlı değildir. Uygun Zn yönetimi; mineral kompozisyon, kuru madde, antioksidan aktivite, fenolik bileşikler, karotenoidler, çözünebilir katı madde, organik asitler ve diğer kalite özelliklerini etkileyebilmektedir. Bununla birlikte bu yanıtlar; bitki türü ve genotipi, kullanılan Zn formülasyonu ve uygulama dozuna bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Buturi ve ark. (2023), havuçta Zn-EDTA uygulamasının kuru madde, toplam azot, antioksidan aktivite, polifenoller ve karotenoidlerdeki artışlarla ilişkili olduğunu bildirmiştir. Şelatlı Zn kaynağı aynı zamanda Zn biyoyararlanabilirliği açısından da olumlu sonuçlar sağlamıştır. Bu bulgular, biyofortifikasyonun değerlendirilmesinde yalnızca bitkideki Zn zenginleşmesinin değil, biriken Zn'nin beslenme açısından yararlanılabilirliğinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Marulda Ortiz ve ark. (2024), Zn-sitrat ve Zn-glisin uygulamalarının yenilebilir yapraklardaki Zn konsantrasyonunu önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Zn kaynakları arasında belirlenen farklılıklar, gübrenin kimyasal formunun Zn'nin bitki tarafından alınmasını ve bitki içerisindeki dağılımını etkilediğini ortaya koymaktadır. Zn biyofortifikasyonu

antioksidan sistem ve sekonder metabolizma üzerinde de etkili olabilir. Bu etkiler, Zn'nin antioksidan savunma, membran bütünlüğünün korunması ve enzim aktivitesindeki işlevleriyle ilişkili olabilir. Bununla birlikte antioksidan özelliklerdeki iyileşmenin bütün Zn konsantrasyonlarında gerçekleşeceği varsayılmamalıdır; çünkü aşırı Zn düzeyleri oksidatif stresi artırabilir (de Moraes ve ark., 2022; Natasha ve ark., 2022). Domates, Zn biyofortifikasyonunun ürün kalitesi üzerindeki karmaşık etkilerine iyi bir örnek oluşturmaktadır. Cannata ve ark. (2025), sera koşullarında yetiştirilen mini erik tipi domateslerde yapraktan Zn-EDTA uygulamasının toplam meyve Zn konsantrasyonunu yaklaşık %66 artırdığını ve bu artışın verimde bir azalmaya yol açmadığını bildirmiştir. Bununla birlikte şekerler, organik asitler, likopen, tomatin ve diğer kalite özelliklerinin uygulamaya verdiği yanıtların çeşitlere göre değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca toplam Zn konsantrasyonundaki artışın, biyoyararlanabilir Zn miktarında aynı oranda bir artışa dönüşmediği görülmüştür. Toplam Zn ile biyoyararlanabilir Zn arasındaki bu farklılık, insan beslenmesi açısından özellikle önemlidir. Bir sebzenin toplam Zn konsantrasyonu yüksek olsa bile, bu Zn'nin yalnızca belirli bir bölümü sindirim ve emilim süreçlerinde kullanılabilir duruma gelebilir. Bu nedenle besinsel değerlendirmelerde yalnızca toplam doku Zn konsantrasyonuna dayanmak yerine Zn biyoyararlanabilirliği ve mümkün olduğunda biyoyararlılığın da dikkate alınması gerekmektedir (Buturi ve ark., 2023; Cannata ve ark., 2025). Sonuç olarak, Zn ile biyofortifiye edilmiş sebzelerin kapsamlı biçimde değerlendirilmesinde toplam Zn konsantrasyonu, mineral elementler arasındaki etkileşimler, Zn biyoyararlanabilirliği, pazarlanabilir verim, antioksidan özellikler, fizikokimyasal kalite özellikleri ve duyusal kalite birlikte ele alınmalıdır. Sebzelerde Zn biyofortifikasyonu; Zn'nin uygulanması, bitki tarafından alınması ve taşınması, fizyolojik ve biyokimyasal yanıtların ortaya çıkması ve bunların verim, ürün kalitesi ve besinsel değer üzerindeki etkileriyle birbirine bağlı bir süreçler bütünüdür (Şekil 1). Bununla birlikte, aşırı Zn uygulaması besin elementi dengesinin bozulmasına, oksidatif stres ve fitotoksisite oluşumuna ve sonuçta verim kayıplarına neden olabilir.



Şekil 1. Sebzelerde agronomik Zn biyofortifikasyonunun şematik gösterimi. Şekilde Zn uygulama yöntemleri, Zn'nin bitki tarafından alınması ve taşınması, fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar, verim ve ürün kalitesi üzerindeki etkiler ile Zn bakımından zenginleştirilmiş sebzelerin beslenme yoluyla Zn alımına potansiyel katkısı özetlenmektedir. Ayrıca aşırı Zn uygulamasının besin elementi dengesi, oksidatif stres, bitki gelişimi ve verim üzerindeki olası olumsuz etkileri gösterilmektedir.

6. SINIRLILIKLAR VE POTANSİYEL RİSKLER

Zn biyofortifikasyonu önemli yararlar sağlama potansiyeline sahip olmakla birlikte, agronomik ve beslenme açısından bazı sınırlılıklar ve riskler de taşımaktadır. Bitkiler için yeterli ve aşırı Zn düzeyleri arasındaki fizyolojik sınır nispeten dar olabilmekte ve bu sınır bitki türü ile genotipe bağlı olarak değişebilmektedir. Aşırı Zn birikimi; besin elementi homeostazını bozabilir, fotosentetik süreçleri ve membran işlevlerini olumsuz etkileyebilir, oksidatif stresi artırabilir, bitki gelişimini baskılayabilir ve sonuçta verim kayıplarına yol açabilir (Natasha ve ark., 2022; Stanton ve ark., 2022). Marul ve tatlı patateste yürütülen çalışmalar bu riskleri açık biçimde ortaya koymaktadır. Yüksek Zn uygulaması marulda biyokütleyi azaltırken oksidatif stres göstergelerini artırmış (de Moraes ve ark., 2022), tatlı patateste aşırı yapraktan $ZnSO_4$ uygulaması ise gözle görülür yaprak zararına ve verim kayıplarına neden olmuştur (Xu ve ark., 2022). Bu bulgular, yalnızca Zn gübre dozunun artırılmasının biyofortifikasyonu en üst düzeye çıkarmak için uygun bir yaklaşım olmadığını göstermektedir. Mineral elementler arasındaki etkileşimler de dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Zn

uygulamasındaki artış; taşıma yollarındaki rekabet, bağlanma bölgeleri veya rizosfer kimyasındaki değişiklikler yoluyla Fe, Cu, Mn, P ve diğer besin elementlerinin konsantrasyonlarını etkileyebilir. Bu nedenle biyofortifikasyonda temel amaç, diğer besin elementlerinin dengesi bozulmadan genel besinsel kalitenin iyileştirilmesi olmalıdır. Çevresel sürdürülebilirlik de Zn biyofortifikasyonunda göz önünde bulundurulması gereken önemli bir unsurdur. Yüksek miktarlarda Zn'nin toprağa tekrarlanan uygulamaları, zaman içerisinde tarım topraklarında Zn birikimine yol açabilir. Bu durum besin elementi kullanım etkinliğini azaltabileceği gibi çevresel kirlenme riskini de artırabilir. Bu nedenle hassas gübreleme, optimize edilmiş yapraktan uygulamalar, çevreyle uyumlu Zn kompleksleri, biyolojik Zn mobilizasyonu ve kontrollü besin elementi uygulama sistemleri çevresel etkilerin azaltılması açısından önem taşımaktadır. Gıda güvenliği de göz ardı edilmemelidir. Yenilebilir dokularda hedeflenen Zn konsantrasyonu, güvenli beslenme sınırları içerisinde kalırken insan beslenmesine anlamlı düzeyde katkı sağlayacak bir zenginleştirme düzeyinde olmalıdır. Dolayısıyla agronomik biyofortifikasyon stratejileri; bitkinin besin elementi gereksinimleri, ürün verimliliği, insan beslenmesi ve çevrenin korunması arasında uygun bir denge sağlamalıdır.

7. GELECEĞE YÖNELİK PERSPEKTİFLER

Sebzelerde Zn biyofortifikasyonuna yönelik gelecekteki araştırmalar; bitki fizyolojisi, bitki besleme, ürün kalitesi, insan beslenmesi açısından Zn biyoyararlanabilirliği ve çevresel sürdürülebilirliği birlikte ele alan daha bütüncül bir yaklaşıma yönelmelidir. Özellikle tür ve genotipe özgü yanıtların daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yaprağı, kökü, yumrusu, soğanı veya meyvesi tüketilen sebzeler arasındaki önemli farklılıklar, tüm sebze türleri için geçerli tek bir Zn uygulama önerisinin uygun olmayacağını göstermektedir. Çeşitlerin Zn alımı, taşınımı, depolanması, yüksek Zn düzeylerine toleransı ve yenilebilir dokulardaki Zn'nin biyoyararlanabilirliği bakımından taranması, biyofortifikasyona daha uygun genotiplerin belirlenmesine katkı sağlayabilir. Topraksız yetiştiricilik ve kontrollü çevre tarımı, Zn yönetiminin hassas biçimde gerçekleştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Besin çözeltisinin bileşimi, bitkinin belirli gelişme dönemlerine göre ayarlanarak Zn zenginleştirmesi optimize edilebilirken gübre kayıpları ve fitotoksisite riski azaltılabilir. Bu nedenle hidroponik ve aeroponik sistemler, bitki türüne özgü Zn biyofortifikasyon protokollerinin geliştirilmesi için önemli platformlar olarak değerlendirilebilir. Gelecekteki çalışmalarda amino asitlerle şelatlanmış Zn, çevre dostu organik Zn kompleksleri, mikrobiyal inokulantlar ve yüksek etkinliğe sahip diğer Zn taşıma sistemleri gibi yenilikçi formülasyonlara daha fazla önem verilmelidir. Tatlı patateste ZnGly, soğanda organik Zn kompleksleri, marulda Zn-sitrat ve Zn-glisin ile Zn çözündürücü mikroorganizmalar kullanılarak elde edilen sonuçlar, bu yaklaşımların önemli bir potansiyele sahip olduğunu

göstermektedir (Almendros ve ark., 2015; Xu ve ark., 2022; Gupta ve ark., 2024; Ortiz ve ark., 2024). Toplam Zn konsantrasyonu ile Zn biyoyararlanabilirliği arasındaki farklılık da gelecekteki araştırmaların temel konularından biri olmalıdır. Agronomik ölçümlerin; simüle edilmiş gastrointestinal sindirim analizleri, Zn biyoyararlanabilirliği, anti-besinsel faktörler ve mümkün olduğu durumlarda insan beslenmesine yönelik değerlendirmelerle bütünleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca tekrarlanan Zn uygulamalarının uzun dönemli çevresel etkilerinin belirlenmesi ve yüksek etkinliğe sahip Zn formülasyonlarının yenilebilir dokularda yeterli Zn zenginleşmesini korurken gübre kullanımını azaltıp azaltamayacağının ortaya konulması için uzun süreli tarla çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

8. SONUÇ

Agronomik Zn biyofortifikasyonu, sebzelerin besinsel değerinin artırılması ve beslenme yoluyla Zn alımının desteklenmesi açısından önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Marul, havuç, soğan, tatlı patates ve domateste yürütülen çalışmalar; topraktan gübreleme, yapraktan uygulama, şelatlı Zn formülasyonları, çevre dostu Zn kompleksleri ve mikrobiyal uygulamalar aracılığıyla yenilebilir bitki dokularındaki Zn konsantrasyonunun artırılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte biyofortifikasyonun etkinliği; bitki türü ve genotipi, Zn kaynağı ve dozu, uygulama yöntemi ve zamanı, yetiştirme ortamı ve çevresel koşullara büyük ölçüde bağlıdır. Uygun Zn yönetimi ürün verimliliğinin korunmasına veya iyileştirilmesine ve bazı besinsel ve kalite özelliklerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilirken, aşırı Zn uygulaması fitotoksisiteye, oksidatif strese, mineral element dengesizliğine ve verim kayıplarına neden olabilir. Önemli olarak, yenilebilir dokulardaki toplam Zn konsantrasyonunun artması, Zn biyoyararlanabilirliğinde aynı oranda bir artış meydana geleceği anlamına gelmemektedir. Bu nedenle Zn biyofortifikasyonunun temel amacı, bitki dokularında mümkün olan en yüksek Zn birikimini sağlamak yerine; ürün verimliliği, ürün kalitesi, mineral dengesi, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlikten ödün vermeden beslenme açısından anlamlı düzeyde Zn zenginleştirmesi gerçekleştirmek olmalıdır. Gelecekte geliştirilecek stratejilerde genotip seçimi; Zn kaynağı, dozu, uygulama zamanı ve yönteminin hassas yönetimiyle bütünleştirilmelidir. Geleneksel Zn gübrelemesinin şelatlı formülasyonlar, çevre dostu Zn kompleksleri, mikrobiyal yaklaşımlar ve kontrollü çevre üretim sistemleriyle birlikte kullanılması, sebzelerde Zn biyofortifikasyonunun etkinliğini ve sürdürülebilirliğini daha da artırabilir.

KAYNAKLAR

Almendros, P., Obrador, A., Gonzalez, D., & Alvarez, J. M. (2015). Biofortification of zinc in onions (*Allium cepa* L.) and soil Zn status by the application of different organic Zn complexes. *Scientia Horticulturae, 186*, 254–265. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.02.023.

Bashir, I., Leporino, M., Laban Lliuya, J. C., Lis-Krzyścin, A., Colla, G., & Rouphael, Y. (2026). Foliarly applied biochelates as an eco-friendly strategy for biofortification with iron and zinc of hydroponically grown lettuce. *Scientia Horticulturae, 365*, 114965. DOI: 10.1016/j.scienta.2026.114965

Buturi, C. V., Mauro, R. P., Fogliano, V., Leonardi, C., & Giuffrida, F. (2023). Iron and zinc biofortification and bioaccessibility in carrot 'Dordogne': Comparison between foliar applications of chelate and sulphate forms. *Scientia Horticulturae, 312*, 111851. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.111851.

Buturi, C. V., Mauro, R. P., Fogliano, V., Leonardi, C., & Giuffrida, F. (2021). Mineral biofortification of vegetables as a tool to improve human diet. *Foods, 10*(2), 223. DOI: 10.3390/foods10020223.

Cannata, C., Mei, L., Mauro, R. P., Fichera, G., Pepe, G., Aquino, G., Sabatino, L., Vultaggio, L., & Leonardi, C. (2025). Effects of foliar applications of zinc on fruit biofortification and quality traits of greenhouse mini plum tomato cultivars. *Journal of Agriculture and Food Research, 21*, 101978. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.101978.

de Moraes, C. C., Silveira, N. M., Mattar, G. S., Sala, F. C., Mellis, E. V., & Purquerio, L. F. V. (2022). Agronomic biofortification of lettuce with zinc under tropical conditions: Zinc content, biomass production and oxidative stress. *Scientia Horticulturae, 303*, 111218. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111218.

Garza-Alonso, C. A., Juárez-Maldonado, A., González-Morales, S., Cabrera-De la Fuente, M., Cadenas-Pliego, G., Morales-Díaz, A. B., Trejo-Téllez, L. I., Tortella, G., & Benavides-Mendoza, A. (2023). ZnO nanoparticles as potential fertilizer and biostimulant for lettuce. Heliyon, 9(1), e12787. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e12787.

Gupta, S., Srivastava, P. K., & Singh, R. P. (2024). Growth promotion and zinc biofortification in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by the application of *Talaromyces* strain as a biostimulant. *Scientia Horticulturae, 323*, 112534. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112534.

Meneghelli, C. M., Fontes, P. C. R., Milagres, C. C., da Silva, J. M., & Garcia Junior, E. (2021). Zinc-biofortified lettuce in aeroponic system. *Journal of Plant Nutrition, 44*(14), 2146–2156. DOI: 10.1080/01904167.2021.1889587.

Natasha, Shahid, M., Bibi, I., Iqbal, J., Khalid, S., Murtaza, B., Bakhat, H. F., Farooq, A. B. U., Amjad, M., Hammad, H. M., Niazi, N. K., & Arshad, M. (2022). Zinc in soil–plant–human system: A data-analysis review. *Science of the Total Environment, 808*, 152024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152024.

Ortiz, R., Gascó, G., Méndez, A., Obrador, A., González, D., & Almendros, P. (2024). Zinc biofortification of lettuce using environmentally friendly zinc sources in an acidic soil. *Scientia Horticulturae, 338*, 113620. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.113620.

Preciado-Rangel, P., Campos-Ortiz, A., Sánchez Chávez, E., Reyes-Gonzalez, A., Ruiz-Espinoza, F., Ojeda-Barrios, D., & Hernandez-Montiel, L. (2021). Zinc biofortification improves yield, nutraceutical quality and antioxidant capacity in lettuce. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 24(3). DOI: 10.56369/tsaes.3844.

Sánchez-Palacios, J. T., Henry, D., Penrose, B., & Bell, R. (2023). Formulation of zinc foliar sprays for wheat grain biofortification: A review of current applications and future perspectives. Frontiers in Plant Science, 14, 1247600. DOI: 10.3389/fpls.2023.1247600.

Stanton, C., Sanders, D., Krämer, U., & Podar, D. (2022). Zinc in plants: Integrating homeostasis and biofortification. *Molecular Plant, 15*(1), 65–85. DOI: 10.1016/j.molp.2021.12.008.

Szerement, J., Szatanik-Kloc, A., Mokrzycki, J., & Mierzwa-Hersztek, M. (2022). Agronomic biofortification with Se, Zn, and Fe: An effective strategy to enhance crop nutritional quality and stress defense—A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22*, 1129–1159. DOI: 10.1007/s42729-021-00719-2.

Xu, M., Liu, M., Ma, Q., & Wu, L. (2022). Glycine-chelated zinc lowered foliar phytotoxicity than excess zinc sulfate and improved zinc use efficiency in two sweet potato cultivars. *Scientia Horticulturae, 295*, 110880. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.110880.

Younas, N., Fatima, I., Ahmad, I. A., & Ayyaz, M. K. (2023). Alleviation of zinc deficiency in plants and humans through an effective technique; biofortification: A detailed review. Acta Ecologica Sinica, 43(3), 419–425. DOI: 10.1016/j.chnaes.2022.07.008.

DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL EVALUATION OF CURCUMIN–ZNO NANOCOMPOSITE CHITOSAN HYDROGEL FOR DIABETIC WOUND MANAGEMENT

Humaira Mazhar, Dr. Mughal Qayum, Dr. Nauman Rahim Khan
Department of Pharmacy, Kohat University of Science and Technology
Kohat 26000, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan,
Email of other authors: dr.mughalqayum@gmail.com, naumanpharma@gmail.com

Abstract

Background: Diabetic wounds represents a complex microenvironment with persistent microbial burden, elevated oxidative stress, biofilm formation, and delayed tissue repair, necessitating the need for multifunctional therapeutic platforms. The aim of this study was the development of a multifunctional chitosan-based hydrogel containing curcumin and zinc oxide nanoparticle (CUR–ZnO NP) to address oxidative stress, microbial contamination and biofilm formation simultaneously.

Methods: CUR–ZnO NPs were synthesized by varying curcumin concentrations and characterized for colloidal and physicochemical properties. The optimized formulation was incorporated into chitosan hydrogel and evaluated for physicochemical properties, drug-release profile, antioxidant activity, antimicrobial activity, antibiofilm activity, swelling behavior, and water-vapor transmission, all of which promotes wound healing.

Results: Optimization yielded a stable CUR–ZnO nanocomposite, which was subsequently incorporated into the chitosan-based hydrogel. This formulation exhibited favorable physicomechanical properties, including >500% swelling, a water-vapor transmission rate in the range of 2×10^3 g/m²/day, and tensile strength >3 MPa, together with sustained curcumin release exceeding 80% over 48 h. The nanocomposite hydrogel demonstrated enhanced antimicrobial activity, with inhibition zones of approximately 20mm or greater, while antioxidant and antibiofilm activities exceeded 75% ($p<0.05$). Collectively, these findings support the synergistic contributions of curcumin, ZnO nanoparticles, and chitosan in establishing a multifunctional platform capable of addressing multiple barriers associated with diabetic wound healing.

Conclusion: The synthesized CUR–ZnO nanocomposite chitosan hydrogel demonstrated promising physicochemical and biological properties suitable for diabetic wound management. Further preclinical evaluation is being undertaken to establish its wound-healing efficacy and tissue-regenerative potential, supporting its future development as a multifunctional wound-management platform for diabetic wound care.

Keywords: Curcumin; ZnO nanoparticles; chitosan hydrogel; diabetic wound; antioxidant; antibiofilm

YEŞİL SENTEZLENMİŞ ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN KURAKLIĞA MARUZ BUĞDAYIN BAZI FİZYOLOJİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Şükrü Nedim BEYOĞLU[1]/Prof. Dr. Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL[2]

[1] Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Bölümü, 51240 Niğde, Türkiye; Bitki Biyoyeknolojisi; snedim246@gmail.com; ORCID: 0009-0009-7701-4500

[2] Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, 51240 Niğde, Türkiye; Bitki Biyoteknolojisi; bturkyilmaz@ohu.edu.tr; ORCID: 0000-0003-4003-5200

Özet

Günümüzün en önemli sorunlarından olan gıda güvenliği, özellikle iklim değişikliği ve yanlış tarımsal uygulamalar nedeniyle büyük tehdit altındadır. Kuraklık bitki gelişimini kısıtlayan ve verimliliği azaltan yaygın bir abiyotik stres faktörüdür. Yeşil sentezlenmiş çinko oksit nanopartiküller (ZnO-NPs)'in kuraklık stresiyle başa çıkmada bitkilerde çok yönlü koruyucu roller üstlendiği düşünülmektedir. Bu kapsamda Niğde ilinde yaygın yetiştirilen ve çok miktarda atık bırakan beyaz lahana (*Brassica oleracea* L.)'dan yeşil sentez yöntemiyle üretilen ZnO-NPs'in kuraklığa maruz bırakılan veya bırakılmayan erken fide gelişimindeki buğday (*Triticum aestivum* L.)'ın fotosentetik pigment miktarları, toplam protein içerikleri ile katalaz enzim aktiviteleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bulgularımızda farklı konsantrasyonlarda foliar olarak buğday yapraklarına uygulanan çinko oksit nanopartiküllerin kuraklıkla başa çıkmada oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Özellikle düşük konsantrasyonlu uygulamaların daha etkili olduğu bulunmuştur. Yeşil sentez yoluyla üretilen bu çinko oksit nanopartiküllerin; bitkisel atıkları değerlendirip kimyasal gübrelere olan bağımlılığı azaltarak çevre dostu bir çözüm sunması, aynı zamanda ulusal ekonomiye katkı sağlaması ve sürdürülebilir tarım için uygulanabilir bir alternatif oluşturması öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Antioksidan, *Brassica oleracea*, PEG, *Triticum aestivum*, ZnO-NP

[1] Bu çalışmanın bir kısmı daha önce 1. Acaris Uluslararası Patara Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi'nde özet bildiri olarak sunulmuştur.

EFFECTS OF GREEN-SYNTHESIZED ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON CERTAIN PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF WHEAT SUBJECTED TO DROUGHT STRESS

Abstract

Food security, one of today's most critical issues, faces significant threats—particularly due to climate change and improper agricultural practices. Drought is a widespread abiotic stress factor that restricts plant growth and reduces productivity. Green-synthesized zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) are believed to play multifaceted protective roles in helping plants cope with drought stress. In this context, the study investigated the effects of ZnO-NPs—produced via the green synthesis method from white cabbage (*Brassica oleracea* L.), a crop widely cultivated in Niğde that generates substantial waste—on the photosynthetic pigment amounts, total protein contents, as well as catalase enzyme activities, in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings during early development under drought and non-drought conditions. The findings revealed that foliar application of zinc oxide nanoparticles at various concentrations was highly effective in helping wheat plants cope with drought; notably, lower concentrations proved more effective. It is anticipated that these green-synthesized zinc oxide nanoparticles will offer an eco-friendly solution—by utilizing plant's waste and reducing reliance on chemical fertilizers—while contributing to the national economy and serving as a viable alternative for sustainable agriculture.

Keywords: Antioxidant, *Brassica oleracea*, PEG, *Triticum aestivum*, ZnO-NP

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, maddelerin nanometre ölçeğindeki yapı ve özelliklerinin incelenmesini ve bu özelliklerden yararlanılarak yeni materyal ve uygulamaların geliştirilmesini kapsayan disiplinlerarası bir bilim alanıdır. Nanometre düzeyine inildiğinde materyallerin yüzey alanı ve hacim oranının artması ve buna bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değişebilmesi, nanomalzemelerin geleneksel materyallerden farklı biçimde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Shang vd., 2021; Zulfiqar vd., 2019).

Tarım sektöründe nanoteknolojiden özellikle bitki beslenmesinin iyileştirilmesi, tarımsal girdilerin daha etkin kullanılmasının sağlanması, bitki hastalıkları ve zararlılarıyla mücadele, stres koşullarında bitki performansının desteklenmesi ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin artırılması amacıyla yararlanılmaktadır. Nanomalzemelerin kontrollü salınım ve hedefe yönelik taşınım özellikleri, gübre ve bitki koruma ürünlerinin daha etkin kullanılmasına katkı sağlayabilecek önemli özellikler arasında değerlendirilmektedir (Zulfiqar vd., 2019; Shang vd., 2021).

Kuraklık, bitkinin yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan suyun çevrede yetersiz olması sonucunda ortaya çıkan ve tarımsal üretimi önemli ölçüde sınırlandıran başlıca abiyotik stres faktörlerinden biridir. Özellikle en önemli besin kaynaklarımızdan olan buğday (*Triticum aestivum* L.)'ın üretiminde kuraklık; bitkinin su durumunu, besin maddelerinin alımını, fotosentetik aktivitesini ve sonuç olarak büyüme ile verim oluşumunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Bhanbhro ve Wang, 2024).

Buğdayın kuraklık stresine toleransını artırmaya yönelik uygulamalar arasında bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal savunma mekanizmalarını destekleyen yaklaşımlar önem kazanmaktadır. Nitekim ZnO nanopartiküllerinin buğdayda uygulanmasıyla fotosentetik pigmentlerin korunabildiği, antioksidan savunmanın güçlendiği ve kuraklığın neden olduğu olumsuzlukların azaltılabildiği bildirilmiştir (Raeisi Sadati vd., 2022).

Bitkisel üretimde nanopartiküllerin kullanım alanlarından biri nanogübre uygulamalarıdır. Nanoformdaki besin elementlerinin bitkiye ulaştırılması, besin maddelerinin kullanım etkinliğinin artırılması ve uygulama kayıplarının azaltılması açısından araştırılmaktadır. Bunun yanında nanopartiküller; tohum uygulamaları, bitki koruma ürünlerinin taşınması, nanosensör teknolojileri ve bitkilerin çevresel streslere karşı verdiği yanıtların düzenlenmesi gibi farklı alanlarda da kullanılmaktadır (Semenova vd., 2024).

Nanopartiküllerin bitkiler üzerindeki etkileri yalnızca besin elementi sağlanmasıyla sınırlı değildir. Uygulanan nanopartikülün türü, konsantrasyonu, partikül büyüklüğü, yüzey özellikleri ve bitki türü gibi faktörlere bağlı olarak çimlenme, kök ve sürgün gelişimi, fotosentetik aktivite, mineral beslenme ve antioksidan savunma

sistemi üzerinde farklı etkiler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle nanopartikül uygulamalarında uygun materyal ve dozun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Shang vd., 2021; Semenova vd., 2024).

Özellikle çinko oksit nanopartikülleri (ZnO-NP), bitki beslenmesi ve stres fizyolojisi açısından dikkat çeken nanomalzemelerden biridir. Bunun temel nedenlerinden biri, çinkonun bitkiler için gerekli bir mikro besin elementi olmasıdır. Çinko; enzimlerin yapısal ve işlevsel bütünlüğünde, protein sentezinde, membran stabilitesinde ve çeşitli metabolik süreçlerde rol almaktadır. Dolayısıyla ZnO-NP uygulamaları, uygun konsantrasyonlarda bitkinin çinko beslenmesine katkı sağlamanın yanı sıra büyüme ve stres yanıtları üzerinde de etkili olabilmektedir (Marschner, 2012).

ZnO nanopartikül uygulamasının bitkilerde fotosentetik pigmentlerin ve protein metabolizmasının korunmasına katkı sağlayabileceği bildirilmektedir. Özellikle kuraklık koşullarında gerçekleştirilen bir buğday çalışmasında ZnO nanopartikül uygulamasının toplam klorofil ve protein içeriğini artırdığı ve bununla birlikte bitkinin su durumu, membran stabilitesi, biyokütle oluşumu ve antioksidan savunma kapasitesinde iyileşmeler sağladığı belirlenmiştir. Bu durum, ZnO-NP uygulamasının kuraklık stresinin fotosentetik ve metabolik süreçler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmada rol oynayabileceğini göstermektedir (El-Mahdy vd., 2020).

Buna ek olarak, ZnO nanopartiküllerinin klorofil sentezi ve fotosentetik etkinlik üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği, ancak bu etkinin nanopartikül konsantrasyonuna bağlı olduğu bildirilmektedir. Düşük veya uygun dozlarda ZnO-NP uygulamalarının klorofil oluşumunu destekleyebildiği, yüksek dozların ise Zn birikimi ve oksidatif stres nedeniyle fotosentetik pigmentlerde azalmaya yol açabileceği belirtilmektedir (Pullagurala vd., 2018; Kang vd., 2024).

Protein açısından ise ZnO-NP uygulamalarının bitkinin protein metabolizması ve stres yanıtıyla ilişkili biyokimyasal süreçlerini etkileyebildiği bildirilmektedir. Örneğin nanopartiküler Zn uygulamalarının bazı bitkilerde çözünür protein miktarını artırdığı ve bu etkinin Zn'nin enzimatik ve metabolik süreçlerdeki rolüyle ilişkili olabileceği gösterilmiştir (Bijali and Acharya., 2020).

Bu bilgiler değerlendirildiğinde, yeşil sentez yöntemiyle elde edilen ZnO nanopartiküllerinin kullanılmasının temel gerekçesi, nanoölçekteki materyal özelliklerinden yararlanarak çinkonun bitkiye etkin biçimde ulaştırılması ve nanopartikül uygulamasının kuraklık stresi altındaki buğday bitkisinin fizyolojik ve biyokimyasal yanıtları üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Bu yaklaşım, nanoteknolojinin sürdürülebilir tarımsal üretim ve abiyotik streslerin yönetimindeki potansiyel kullanımını ortaya koymaktadır.

Çalışmada beyaz lahana atıklarından yeşil sentezle üretilmiş çinko oksit nanopartiküllerin kuraklığa maruz bırakılan ve bırakılmayan buğday yapraklarında klorofil, karotenoid ve çözünebilir toplam protein miktarı ile

katalaz enzim aktiviteleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Bitkisel Materyal

Çalışmada kullanılan mirsa buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumları Sakarya Mısır Araştırma Enstitüsünden temin edilmiştir.

2.2. Bitki Yetiştirme ve Foliar Nanopartikül Uygulamaları

Buğday (*Triticum aestivum L.*) tohumları arasından dolgun, eş büyüklükte ve sağlıklı olanlar özenle seçilmiş, ardından sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Torf ile doldurulmuş saksılara ekilen tohumlar 16/8 saat (aydınlık/karanlık) fotoperiyot, 25±2 °C sıcaklık ve %45-50 bağıl nem koşullarına sahip bitki yetiştirme odasında çimlendirilmiş ve fide gelişimine bırakılmıştır. İlk 10 gün, gün aşırı sulama işlemi yapılmış, 10. günde PEG6000 (kuraklık için) ve/veya 25'er mL farklı konsantrasyonlarda (0, 5, 10, 20 ppm) lahana atıklarından yeşil sentezlenmiş çinko oksit nanopartikülleri (Beyoğlu, 2026) foliar olarak uygulanmıştır. Buğday fideleri 21. günde rastgele deneme desenine göre hasat edilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

2.3. Fotosentetik Pigment Miktarlarının Belirlenmesi

Klorofil a (kl a) , klorofil b (kl b), toplam klorofil (toplam kl) ve karotenoid içeriklerinin belirlenmesinde, Witham ve arkadaşları (1971)'nın yöntemi esas alınmıştır. Ekstraktların absorbans değerleri UV-Vis spektrofotometrede 450, 645 ve 663 nm dalga boylarında ölçülmüş, fotosentetik pigment içerikleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar mg/g^{-1} taze ağırlık cinsinden ifade edilmiştir.

Klorofil a (mg g^{-1} t.a.) = [12,7 × (D663) − 2,69 × (D645)] × (V / 1000 × W)

Klorofil b (mg g^{-1} t.a.) = [22,9 × (D645) − 4,68 × (D663)] × (V / 1000 × W)

Toplam karotenoid (mg g^{-1} t.a.) = 4,07 × D450 − [0,0435 × Klorofil a + 0,367 × Klorofil b]

D: klorofil ekstraktının ilgili dalga boyundaki absorbans değeri

V: %80'lik aseton ile tamamlanan ekstraktın son hacmini (mL)

W: ekstraksiyonda kullanılan bitki örneğinin taze ağırlığını (g)'dır.

2.4. Toplam Protein Miktarlarının Belirlenmesi

Toplam çözünür protein miktarı Bradford (1976) yöntemine göre belirlenmiş, standart protein olarak Bovine Serum Albumin (BSA) tercih edilmiştir. Yaprak örneklerinin absorbans değerleri 595 nm dalga boyunda VIS spektrofotometre ile ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerleri, 0,02–0,20 mg mL^{-1} konsantrasyon aralığında

hazırlanan BSA standart çözeltileri kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrisi yardımıyla değerlendirilmiştir. Her 1 g yapraktaki toplam çözünür protein içeriği mg/g^{-1} taze ağırlık cinsinden hesaplanmıştır.

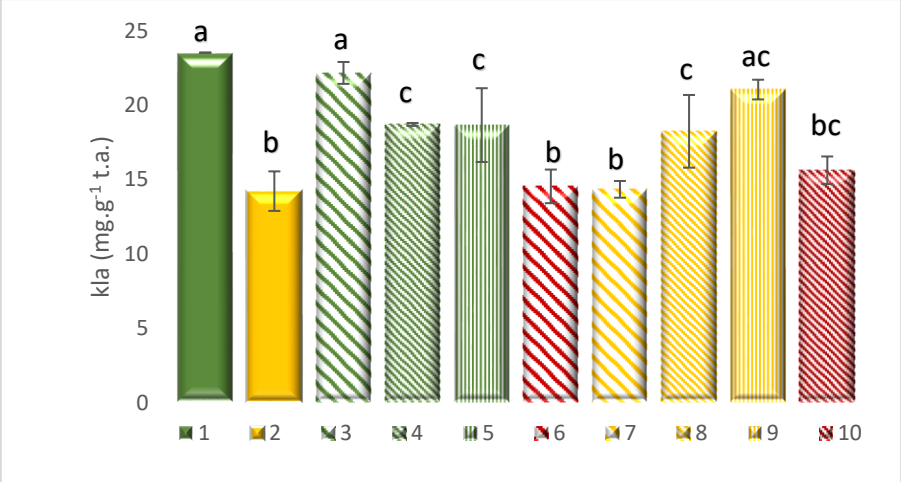
2.5. CAT enzim aktivitesinin belirlenmesi

Katalaz (CAT) enzim aktivitesi, Bergmeyer (1970) tarafından tanımlanan yöntemle belirlenmiştir. Reaksiyon sırasında H_2O_2'nin enzimatik olarak parçalanmasına bağlı olarak meydana gelen absorbans değişimi, 240 nm dalga boyunda UV-Vis spektrofotometre kullanılarak dakika bazında izlenmiştir. Elde edilen absorbans değişimlerinden yararlanılarak spesifik enzim aktivitesi hesaplanmış ve sonuçlar EU mg^{-1} protein g^{-1} taze ağırlık cinsinden ifade edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1 *T. aestivum*'da Klorofil Miktarları

Buğday fidelerinin fotosentetik pigment (kla, klb, toplam kl ve karotenoid) miktarlarına ait grafikler sırasıyla Şekil 3.1-3.4'de verilmiştir.

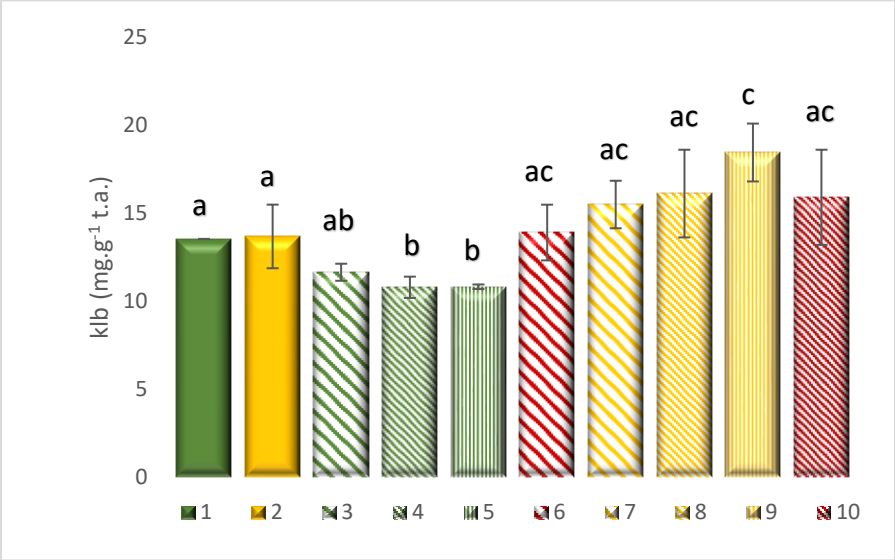


Şekil 3.1. Yeşil sentezle üretilmiş çinko oksit nanopartiküllerin kuraklığa maruz bırakılan veya bırakılmayan buğdayda kla miktarları üzerine etkileri (n:3) (1: Kontrol, 2: %10 PEG 6000, 3: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 4: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 5: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 6: 10 ppm ticari ZnO-NP, 7: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 8: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 9: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 10: 10 ppm ticari ZnO-NP+%10 PEG). Sütunlardaki farklı harfler arasında istatistiki açıdan önem ($p<0,05$) bulunmaktadır.

Buğdayda kla miktarı tüm uygulama gruplarında kontrole oranla azalmıştır. En düşük kla miktarı 14,21 mg.g^{-1} t.a ile PEG 6000 uygulamasındadır ve bu azalma önemlilik derecesindedir ($p<0,05$) (Şekil 3.1).

Bulgularımız fotosentetik aparatın kuraklık ve/veya nanopartikül stresinden etkilendiğini ortaya koymaktadır. Klorofil a, reaksiyon merkezlerinde görev alan temel pigment olduğu için bu azalmanın ışık hasadı ve elektron

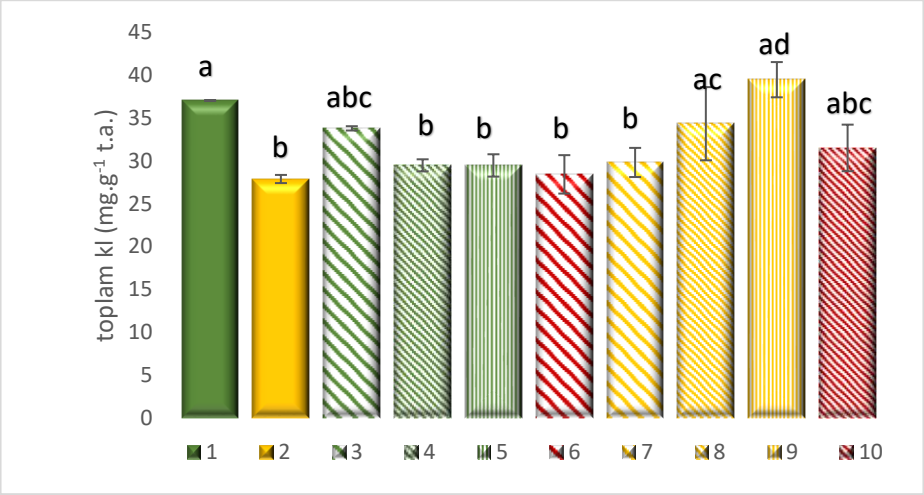
taşınımında bozulmaya yol açabileceğini işaret etmektedir. Kuraklık ve/veya ağır metal stresi tilakoid membran yapısında bozulmaya, reaktif oksijen türlerinin birikimine veya klorofil degradasyonunu hızlandırmaya neden olabilir.



Şekil 3.2. Yeşil sentezle üretilmiş çinko oksit nanopartiküllerin kuraklığa maruz bırakılan veya bırakılmayan buğdayda klb miktarları üzerine etkileri (n:3) (1: Kontrol, 2: %10 PEG 6000, 3: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 4: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 5: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 6: 10 ppm ticari ZnO-NP, 7: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 8: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 9: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 10: 10 ppm ticari ZnO-NP+%10 PEG). Sütunlardaki farklı harfler arasında istatistiki açıdan önem ($p<0,05$) bulunmaktadır.

Buğday yapraklarının klb miktarlarında 5, 10 ve 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP uygulamalarında kontrole oranla azalmalar, diğer uygulama gruplarında artışlar meydana gelmiştir. En fazla azalma %20,29 ile 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP uygulamasında, en fazla artış ise %36,29 ile 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG uygulamasındadır ($p<0,05$) (Şekil 3.2.).

Klorofil b ışık hasat komplekslerinde görev alan yardımcı pigmenttir ve yüksek dozda nanopartikül uygulamasındaki ciddi düşüş ışık toplama kapasitesinin önemli ölçüde baskılandığını düşündürmektedir.



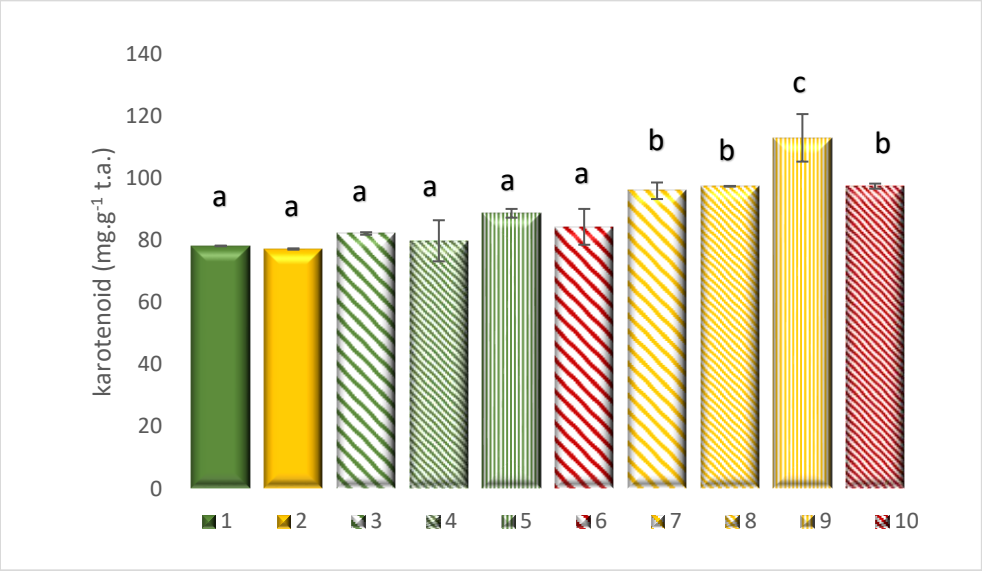
Şekil 3.3. Yeşil sentezle üretilmiş çinko oksit nanopartiküllerin kuraklığa maruz bırakılan veya bırakılmayan buğdayda toplam kl miktarları üzerine etkileri (n:3) (1: Kontrol, 2: %10 PEG 6000, 3: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 4: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 5: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 6: 10 ppm ticari ZnO-NP, 7: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 8: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 9: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 10: 10 ppm ticari ZnO-NP+%10 PEG). Sütunlardaki farklı harfler arasında istatistiki açıdan önem ($p<0,05$) bulunmaktadır.

20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG uygulama grubu dışındaki tüm gruplarda kontrole oranla toplam kl miktarlarında azalmalar tespit edilmiştir. Artış önemlilik derecesinde değilken (%6,56), en fazla azalma %24,74 ile PEG 6000 uygulamasındadır ve önemlilik derecesindedir ($p<0,05$) (Şekil 3.3.). Toplam klorofil miktarındaki kayıplar fotosentez hızında ve enerji üretiminde azalmalarla ilişkilendirilebilir.

Kuraklık stresinin yaprak klorofil miktarını ve fotosentetik verimliliği azalttığı bilinmektedir (Aktas vd. 2007, Ozturk vd., 2021; Gundogdu vd., 2026). Benzer şekilde ZnO nanopartikül uygulamalarının da fotosenteik pigment içeriğini azalttığını ifade eden çalışmalar bulunmaktadır (Akanbi-Gada vd., 2019; Hashemi vd., 2019). Verilerimiz de kuraklık stresi ya da ZnO nanopartikül uygulamalarının klorofil içeriğini azalttığını göstermektedir (Şekil 3.1-3.3.). Fotosentetik pigment içeriğindeki azalma kloroplast yapısının hasarlanması, pigment-protein kompleksinin kararsızlığı ve/veya klorofilaz aktivitesinin artmasıyla ilişkilendirilebilir (Mafakheri vd., 2010; AlKahtani vd., 2021).

Ayçiçeği üzerine yapılan bir çalışmada bizim bulgularımızla benzer şekilde kuraklık stresinde klorofil miktarının azaldığı, kuraklık stresindeki fidelere ZnO nanopartikül uygulamalarıyla klorofil miktarında iyileşme

olduğu saptanmıştır (Tariq vd. 2025). ZnO-NP'ler fotosentezde CO_2 seviyelerini düzenleyen ve stres altında klorofil içeriğini artıran karbonik anhidraz vb. çok sayıda enzimin kofaktördür (Adil vd., 2022; Ghani vd., 2022). Çalışmamızda 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG dışındaki tüm uygulamalarda toplam klorofil miktarı azalmıştır (Şekil 3.3.). Rehman vd. (2023) tatlı pelinden yeşil sentezlenen ZnO-NP'lerin kuraklık stresi altındaki kavun üzerine etkilerini incelemiş, kuraklık stresi+75,125 $mgL.^{-1}$ ve 150 $mgL.^{-1}$ ZnO-NP uygulamalarında klorofil miktarının azaldığını, 100 $mgL.^{-1}$ ZnO-NP uygulamalarında kontrole oranla arttığını bulmuşlardır. Çalışmamızla uyumlu olarak fotosentetik pigment bozulmasının doğru konsantrasyonla önlenebildiğini ifade etmişlerdir (Rehman vd.2023).



Şekil 3.4. Yeşil sentezle üretilmiş çinko oksit nanopartiküllerin kuraklığa maruz bırakılan veye bırakılmayan buğdayda karotenoid miktarları üzerine etkileri (n:3) (1: Kontrol, 2: %10 PEG 6000, 3: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 4: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 5: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 6: 10 ppm ticari ZnO-NP, 7: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 8: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 9: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 10: 10 ppm ticari ZnO-NP+%10 PEG). Sütunlardaki farklı harfler arasında istatistiki açıdan önem ($p<0,05$) bulunmaktadır.

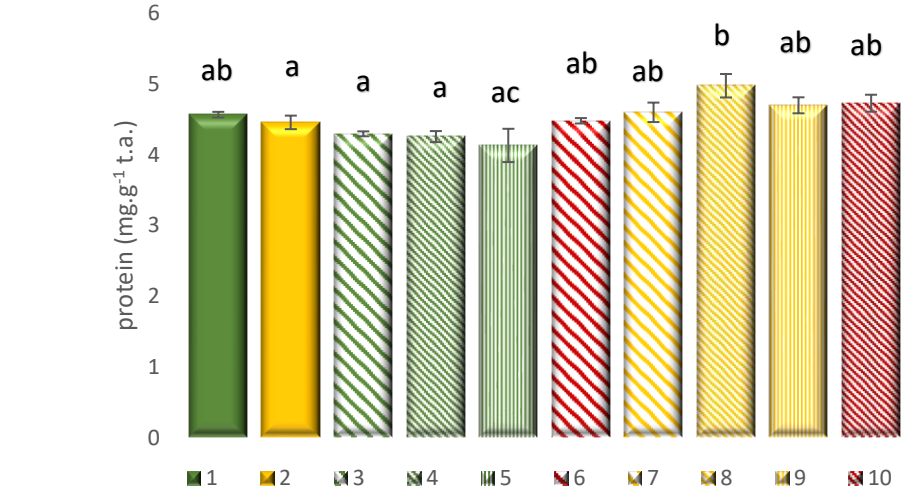
Karotenoid miktarı yalnız PEG 6000 uygulanmış grupta azalırken diğer tüm gruplarda kontrole oranla artmıştır. Karotenoid miktarlarının PEG+ZnO-NP uygulamalarında oldukça yüksek olduğu, 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG uygulamasında ise kontrole oranla en yüksek artışa ulaştığı (%44,53) görülmektedir ($p<0,05$) (Şekil 3.4).

Rukhsar-Ul-Haq ve ark. (2023) çalıştıkları buğday çeşitlerinde kuraklık stresinin karotenoid miktarını azalttığını, çinko oksit nanopartiküllerin kontrol grubuna oranla karotenoid miktarını arttırdığını ifade

etmişlerdir. Benzer şekilde Raeisi Sadati vd. (2022) kuraklık stresi altındaki buğday çeşitlerinde ZnO-NP uygulamalarının klorofil ve karoten miktarını artırdığını tespit etmişlerdir.

3.2 *T. aestivum* yapraklarında toplam protein miktarları

Kuraklığa maruz bırakılan veya bırakılmayan buğday yapraklarında bulunan toplam çözünebilir protein miktarları Şekil 3.5'dedir.



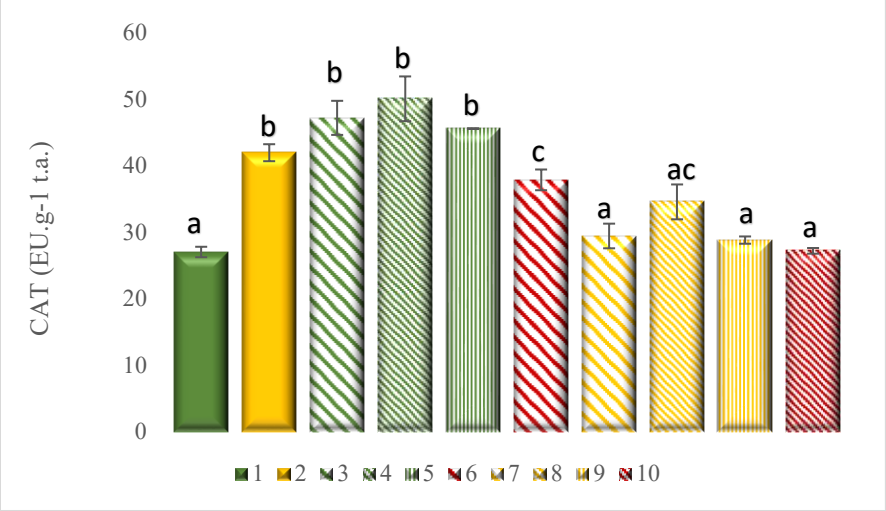
Şekil 3.5. Yeşil sentezle üretilmiş çinko oksit nanopartiküllerin kuraklığa maruz bırakılan veya bırakılmayan buğdayda yaprak protein miktarları üzerine etkileri (n:3) (1: Kontrol, 2: %10 PEG 6000, 3: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 4: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 5: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 6: 10 ppm ticari ZnO-NP, 7: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 8: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 9: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 10: 10 ppm ticari ZnO-NP+%10 PEG). Sütunlardaki farklı harfler arasında istatistiki önem ($p<0,05$) bulunmaktadır.

Yaprakta bulunan çözünebilir protein miktarları yalnız PEG 6000 uygulanmış ya da nanopartikül uygulanmış gruplarda kontrol grubuna oranla azalmıştır. En fazla azalmanın %9,52 ile 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP uygulamasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.5). Bununla birlikte bu azalmaların sınırlı olması, protein metabolizmasının kuraklık ve nanopartikül stresine karşı nispeten stabil kalabildiğini göstermektedir. PEG 6000 ve ZnO nanopartikülleri birlikte uygulandığında ise kontrole oranla artışlar saptanmıştır. En fazla artış (%8,96) PEG+10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP uygulamasındadır (Şekil 3.5).

Pandya ve ekibi (2023) kuraklık stresinin buğdayda genel protein seviyesini düşürdüğünü, kuraklıkla birlikte ZnO-NP uygulanmış kök ve yapraklarda protein oranının arttığını saptamışlardır. Artan toplam protein

içeriğinin, ZnO-NP'lerin ozmotik düzenlemeyi iyileştirmesine, yapısal stabilizasyonun korunmasına, ya da savunma ile ilgili enzim vb. proteinlerin artırmasına bağlanabileceğini belirtmişlerdir. Yine bulgularımızla paralel şeklide Raeisi Sadati vd. (2022) kuraklıkla azalan toplam protein içeriğinin kuraklık altındaki buğdaylara ZnO-NP uygulamalarıyla arttığını ifade etmişlerdir.

3.3. *T. aestivum*'da katalaz enzim aktiviteleri



Şekil 3.6. Yeşil sentezle üretilmiş çinko oksit nanopartiküllerin kuraklığa maruz bırakılan veya bırakılmayan buğdayda katalaz enzim aktivitesi üzerine etkileri (n:3) (1: Kontrol, 2: %10 PEG 6000, 3: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 4: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 5: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP, 6: 10 ppm ticari ZnO-NP, 7: 5 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 8: 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 9: 20 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP +%10 PEG, 10: 10 ppm ticari ZnO-NP+%10 PEG). Sütunlardaki farklı harfler arasında istatistiki önem ($p<0,05$) bulunmaktadır.

Katalaz enzim aktiviteleri tüm uygulamalarda kontrole kıyasla artmıştır. En yüksek CAT aktivitesi kontrole oranla %85,16 artışla 10 ppm yeşil sentezlenmiş ZnO-NP uygulamasındadır. Önemlilik derecesindeki ($p<0,05$) bu artış, nanopartikül uygulamasının bu konsantrasyonda ROS üretimini önemli ölçüde uyardığını göstermektedir. Bu durum ZnO nanopartiküllerin ağır metal stresini tetiklemiş olabileceğini, H_2O_2 artışına, ETS'de bozulmaya ve katalazın indüklenmesine sebep olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 3.6.).

Ghani vd. (2022) çalışmalarında kuraklık stresinin *Cucumis sativus*'ta kontrol grubuna oranla CAT aktivitesini artırdığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda kuraklığa maruz olmayan veya olan hıyar fidelerine ZnO-NP uygulamaları CAT aktivitesini artırmıştır. Rehman vd. (2023) kuraklık stresinin çinko oksit nanopartikül kullanarak hafifletilmesini amaçladıkları çalışmalarında hidrojen peroksit, nispi elektrolit sızıntısı ve MDA miktarında önemli bir azalma, çeşitli enzim aktivitelerinde (SOD, POD, APX ve CAT) artış saptamışlardır. Yine soya fasulyesi, buğday ve patlıcan türleriyle yapılan çalışmalarda, ZnO-NP uygulamalarının kuraklık stresine maruz kalan bitkilerin antioksidan aktivitesini iyileştirdiğine yönelik bulgularımıza benzer sonuçlar bildirilmiştir (Azmat vd., 2022; Rukhsar-Ul-Haq vd., 2023; Shirvani-Naghani vd., 2024; Semida vd., 2021). Foliar olarak yeşil sentezle üretilen ZnO-NP'lerin uygulanmasıyla su stresindeki *Coriandrum sativum*'da SOD, CAT ve APX aktivitelerinin iki kat arttığı ifade edilmiştir (Khan vd., 2021). Foroutan vd. (2019) ZnO nanopartiküllerinin kuraklık stresinde antioksidan aktivitelerini artırarak *Moringa peregrina*'nın stres toleransını iyileştirdiğini ifade etmişlerdir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bulgularımız beyaz lahana atıklarından yeşil sentezlenen ZnO-NP'lerin kuraklığın olumsuz etkilerini hafifletmede kullanılabileceğini göstermektedir. Özellikle 5 ve 10 ppm nanopartikül uygulamalarının daha etkili olduğu saptanmıştır. Az maliyetli ve az enerji gereksinimine sahip bu yöntem çevresel atıkların değerlendirilmesiyle de çevre dostu bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bulgularımız çevre dostu ZnO-NP'lerin sürdürülebilir tarımda kullanılabileceğini ve bitkisel atıkların kullanımıyla çevre kirliliğinin önlenmesinde etkili bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, uygulama tekniklerinin geliştirilmesi ve uygun konsantrasyonların belirlenmesi amacıyla ek çalışmalarla ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür: Bu çalışma, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FMT 2026/7-LÜTEP numaralı proje kapsamında desteklenmiştir; kendilerine sağladıkları destekten dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Adil M., Bashir S., Aslam Z., Ahmad N., Younas T., Asghar R.M.A., Alkahtani J., Dwiningsih Y., Elshikh M.S., (2022). Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress. *Frontiers Plant Science 13,* 932861

Akanbi-Gada M. A., Ogunkunle C. O., Ilesanmi A. O., Femi-Adepoju A. G., Sidiq L. O., Fatoba P. O., (2019). Effects of zinc oxide nanoparticles on chlorophyll content, growth attributes, antioxidant enzyme activities and bioaccumulation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in soil medium. *IOSR Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technol*ogy, *13*, 9-15.

Aktas, L. Y., Akca, B. T. H., & Parlak, S. (2007). Role of abscisic acid and proline treatment on induction of antioxidant enzyme activities and drought tolerance responses of Laurus nobilis L. seedlings. *Fen Bilimleri Dergisi*, *28*(1), 14-27.

AlKahtani M.D., Hafez Y.M., Attia K., Rashwan E., Husnain L.A., AlGwaiz H.I., Abdelaal K.A., (2021). Evaluation of silicon and proline application on the oxidative machinery in drought-stressed sugar beet. *Antioxidants, 10* (3), 398.

Bergmeyer H.U., (1970), Standardization of methods for estimation of enzyme activity in biological fluid, *Zeitschrift für Klinische Chemie und Biochemie,* 8,658-660, 1970.

Beyoğlu, Ş.N. (2026). Yeşil sentezlenmiş çinko oksit nanopartiküllerin kuraklık stresine maruz kalan buğday üzerine etkileri. YL tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde

Bijali J., and Acharya K. (2020). Current trends in nano-technological interventions on plant growth and development: A review. *IET Nanobiotechnology, 14*(2), 113-119.

Bhanbhro N., and Wang H.-J. (2024). Revisiting the molecular mechanisms and adaptive strategies associated with drought stress tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Stress, 11*, 100298.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, *72*(1-2), 248-254.

El-Mahdy M. T., Elazab D. S. (2020). Impact of zinc oxide nanoparticles on pomegranate growth under in vitro conditions. *Russian Journal of Plant Physiology,* 67, 162-167.

Ghani M.I., Saleem S., Rather S.A., Rehmani M.S., Alamri S., Rajput V.D., Kalaji H.M., Saleem N., Sial T.A., Liu M., (2022). Foliar application of zinc oxide nanoparticles: an effective strategy to mitigate drought stress in cucumber seedling by modulating antioxidant defense system and osmolytes accumulation. *Chemosphere 289,* 133202.

Gundogdu N., Turker H., & Turkyilmaz Unal B. (2026). The Effect of Exogenous Calcium Treatments on Reducing Drought Stress Damages in Pepper Grown in In Vitro Conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, *45*(3), 2523-2545.

Hashemi S., Asrar Z., Pourseyedi S., Nadernejad N. (2019). Investigation of ZnO nanoparticles on proline, anthocyanin contents and photosynthetic pigments and lipid peroxidation in the soybean. *IET nanobiotechnology*, *13*(1), 66-70

Kang M., Liu Y., Weng Y., Wang H., Bai X. (2024). A critical review on the toxicity regulation and ecological risks of zinc oxide nanoparticles to plants. *Environmental Science: Nano, 11*(1), 14-35.

Mafakheri A., Siosemardeh A.F., Bahramnejad B., Struik, P.C., Sohrabi Y., (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop.Science*, 4 (8), 580–585.

Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). *Academic Press.*

Ozturk M., Turkyilmaz Unal B., García-Caparrós P., Khursheed A., Gul A., Hasanuzzaman M., (2021). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia plantarum*, *172*(2), 1321-1335.

Pandya P., Kumar S., Sakure A. A., Rafaliya R., Patil G. B., (2023). Zinc oxide nanopriming elevates wheat drought tolerance by inducing stress-responsive genes and physio-biochemical changes. *Current Plant Biology*, *35*, 100292

Pullagurala V. L. R., Adisa I. O., Rawat S., Kalagara S., Hernandez-Viezcas J. A., Peralta-Videa J. R., Gardea-Torresdey J. L. (2018). ZnO nanoparticles increase photosynthetic pigments and decrease lipid peroxidation in soil grown cilantro (*Coriandrum sativum*). *Plant Physiology and Biochemistry, 132*, 120-127.

Raeisi Sadati S. Y., Jahanbakhsh Godehkahriz S., Ebadi, A., Sedghi M. (2022). Zinc Oxide Nanoparticles Enhance Drought Tolerance in Wheat via Physio-Biochemical Changes and Stress Genes Expression. *Iranian Journal of Biotechnology*, *20*(1), e3027.

Rehman A., Weng J., Li P., Shah I. H., Rahman S., Khalid, M., Niu Q. (2023). Green synthesized zinc oxide nanoparticles confer drought tolerance in melon (Cucumis melo L.). *Environmental and Experimental Botany*, *212,* 105384.

Rukhsar-Ul-Haq Kausar A., Hussain S., Javed T., Zafar S., Anwar S., Hussain S., Saqib M., (2023). Zinc oxide nanoparticles as potential hallmarks for enhancing drought stress tolerance in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *195*, 341-350.

Semenova A., Burmistrov D. E., Shumeyko S. A., & Gudkov S. V. (2024). Fertilizers based on nanoparticles as sources of macro- and microelements for plant crop growth: A review. *Agronomy,* 14(8), 1646.

Shang Y., Hasan M. K., Ahammed G. J., Li M., Yin H., Zhou J. (2021). Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A review. *Molecules, 26*, 7070.

Tariq M., Tufail A., Hafeez M. B., Shoukat M., Ahmad N., Iqbal S., ul Hussan M., Tariq T., Kamran M., Ahsan M., Rasul F., Zahra N., (2025). Zinc-based nanoparticles improved the growth, chlorophyll, osmoregulation and ions relations of sunflower under combined shade and drought stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 62,* 103812.

Witham, F. H., Blaydes, D. F., & Devlin, R. M. (1971). *Experiments in plant physiology*. New York, *Van Nostrand Reinheld Company*., 55-56p.

Zulfiqar F., Navarro M., Ashraf M., Akram N. A., Munné-Bosch S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science, 289*, 110270.

KIRMIZI SOĞANDAN ÇEVRE DOSTU KUERSETİN ÜRETİMİ

Mehmet Emin AYMELEK[1]/Prof. Dr. Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL[2]

[1] Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Bölümü, 51240 Niğde, Türkiye; Bitki Biyoyeknolojisi; aymelek0123@gmail.com; ORCID: 0009-0009-9894-431X

[2] Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, 51240 Niğde, Türkiye; Bitki Biyoteknolojisi; bturkyilmaz@ohu.edu.tr; ORCID: 0000-0003-4003-5200

Özet

Dünya nüfusunun günlük beslenmesinde önemli bir yere sahip olan soğan, güçlü antioksidan ve antienflamatuar etkiler gösteren kuersetin adlı bir polifenolik flavonoid içerir. Kuersetin kalp sağlığı, kolesterol seviyeleri, kan basıncı ve kanser üzerindeki etkileri nedeniyle sağlık sektöründe, özellikle de fonksiyonel tıpta kullanılmaktadır. Son yıllarda bir besin takviyesi olarak da popülerlik kazanmıştır. Beyaz veya sarı soğan kabuklarına kıyasla kırmızı soğan kabuklarında daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Kuersetin elde edilmesinde çevre dostu yöntemlerin kullanılması büyük önem taşır. Hem evlerde hem de endüstride sıfır atık çerçevesinde değerlendirilebilen, geri dönüştürülebilir bir kaynak olan soğan kabukları, uygun yöntemler kullanıldığında yüksek saflıkta ve yüksek verimli kuersetin üretimi için hayati bir hammadde görevi görür. Uygun çözücüler, ekstraksiyon yöntemleri ve koşullar kullanılarak soğan kabuklarından elde edilecek kuersetin; ulusal ekonomiye katkısının yanı sıra insan açısından da son derece değerli bir fenolik bileşik ve pigmenttir. Bu derleme, sağlık, gıda ve kozmetik endüstrilerinde kullanım alanları bulunan kuersetini ve yüksek saflık ve verimlilikte üretimi için uygun maliyetli, çevre dostu yöntemleri tanıtmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Allium cepa*, flavonoid, sıfır atık, soğan kabuğu

[1] Bu çalışmanın bir kısmı daha önce 1. Acaris Uluslararası Patara Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi'nde özet bildiri olarak sunulmuştur.

ECO-FRIENDLY QUERCETIN PRODUCTION FROM RED ONION

Abstract

Onions, which play a significant role in the daily diet of the global population, contain quercetin—a polyphenolic flavonoid known for its potent antioxidant and anti-inflammatory effects. Due to its impact on heart health, cholesterol levels, blood pressure, and cancer, quercetin is utilized in the health sector, particularly in functional medicine; in recent years, it has also gained popularity as a dietary supplement. It is found in higher concentrations in red onion skins compared to white or yellow onion skins. The use of eco-friendly methods for extracting quercetin is of great importance. Onion skins—a recyclable resource that can be utilized within a zero-waste framework in both domestic and industrial settings—serve as a vital raw material for producing high-purity, high-yield quercetin when appropriate methods are employed. Quercetin obtained from onion skins using suitable solvents, extraction methods, and conditions is a phenolic compound and pigment of immense value to human health, in addition to its contribution to the national economy. This review introduces quercetin—which has applications in the health, food, and cosmetic industries—and discusses cost-effective, eco-friendly methods for its production with high purity and efficiency.

Keywords: *Allium cepa*, flavonoid, zero waste, onion skin

1. GİRİŞ

Bitkiler tarafından sentezlenen, bitkinin yaşamsal faaliyeti için şart olmayan, bununla birlikte yaşam kalitesini artıran sekonder metabolitlerden önemli bir fenolik bileşik olan kuersetin (quercetin), diğer antioksidan maddeler gibi stres sonucunda ortaya çıkabilen reaktif oksijen türlerinin oluşturduğu zararları en aza indirmek, hücre ölümleri, kanser vb. durumların ortaya çıkmasını engellemek amacıyla kullanılabilir.

Flavonoidler içinde bulunan biyoflavonoid grubu, belirgin renk ve koku verme özelliğiyle gıda endüstrisi, sağlık vb. birçok alanda kullanım özelliğine sahiptir. Kuersetin de bioflavonoid grubuna ait bir maddedir.

- Geri dönüşümde kullanılabilecek materyallerden elde edilebilme,
- Ekstraksiyon metodlarının uygulanabilirliği,
- Elde edilecek materyal için kullanılacak hammaddenin maliyetinin düşük olması,
- Elde edilen materyalin birçok alanda kullanılabilir olması gibi avantajlara sahiptir.

Bu derlemede, sağlık açısından çok sayıda faydaya sahip ve çeşitli sektörlerde kullanım alanı bulunan kuersetin hakkında bilgi sunmak ve üretimi için yüksek verimli, az maliyetli, çevre dostu yöntemleri tanıtmak amaçlanmıştır.

2. ANTİOKSİDANLAR

Canlılar için birçok avantaja sahip olan, doğal olarak üretildiği gibi dışarıdan besinlerle de alınabilen kimyasal maddeler olan antioksidanlar; serbest radikal olarak isimlendirilen, ortaklanmamış elektron içeren ve kararlı bileşiklerle etkileşime girerek yüksek aktiviteye sahip olan zararlı bileşiklerin oluşturduğu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için kullanılabilmektedir.

Oksidatif stres, hücrede azami miktarda bulunan ROS'lar antioksidan madde miktarının üzerine çıktığında ve hücresel faaliyetlere zarar vermeye başladığında meydana gelir. Yapılarında yüksek miktarda oksijen molekülü bulunduran antioksidanlar hücre zarına, hücre içi yapılara ve hatta DNA'ya ulaşmadan serbest radikallerle bağlanarak zararlanmayı önlemek amacıyla onları nötralize ederler (Ozturk vd. 2023, Türker ve Türkyılmaz Ünal, 2020).

2.1. Fenolik bileşikler

Fenolik bileşikler bitkiler tarafından sekonder metabolit olarak üretilen, yapılarında bir veya daha fazla hidroksil grubu, bağlanmış benzen halkası ve fonksiyonel grup bulunduran antioksidan etkiye sahip bileşiklerdir.

Bitkilerin korunmasını sağlamanın yanı sıra tat ve renk verici özelliklerinin olduğu bilinmektedir. Fenolik bileşikler bitkilere sağladığı yararların yanı sıra tüketilebilir besinler (sebzeler, meyveler, baklagiller vb.) veya

besin kaynaklı içeceklerde (çay, kahve, şarap vb.) bulunurlar. Canlılar için sağladığı faydalar sebebiyle farmösötik ve gıda endüstrisinde büyük öneme ve ilgiye sahiptirler (Ansari vd. 2023). İnsan sağlığı için antiviral, antienflamatuar, antialerjenik, antimikrobiyal, antidiyabetik, antipatojenik ve antitrombitik etkileri bulunmaktadır (Manach ve ark., 2004)

Fenolik bileşikler yapılarında bulunan unsurlar ve benzen halkalarına göre farklı isimler almaktadır. Bu isimlere göre fenolik bileşikler 5 ana gruba ayrılır (D Archivio vd. 2007).

• Flavonoidler.

• Fenolik asitler.

• Tanenler.

• Stilbenler

• Lignanlar

2.2. Kuersetin

Flavonoidler arasında meyve ve sebzelerde en yoğun bulunan bileşiklerden biri olan kuersetin; soğan, kuşkonmaz fasulye, elma, kiraz, marul ve pancar gibi kırmızı renkli meyve ve sebzelerde bulunur. Kuersetin, antioksidan, antiviral, antimikrobiyal ve antiinflamatuar özellikleriyle bilinen bir polifenolik flavonoid ve doğal bir pigmenttir (Aghababaei ve Hadidi 2023). Bağışıklığı güçlendirme, kalp sağlığını koruma, kan basıncını düzenleme, kolesterolü düşürme, inflamasyonu azaltma ve çeşitli kanser türlerine karşı koruma sağlama gibi özellikleri sayesinde sağlık sektöründe kullanılan önemli bir ikincil metabolittir (Mirza vd. 2023). Kırmızı (veya mor) soğan kabuklarında yüksek konsantrasyonlarda bulunur; bilimsel çalışmalar, soğan kabuklarının iç kısımlara kıyasla 30-40 kat daha fazla kuersetin içerdiğini ortaya koymuştur (Hollman ve Katan 1999; Kılınçarslan 2015).

Bitkilerde bulunan kuersetin, bitkinin yanı sıra diğer canlılarda da farmasötik olarak kullanımı ile oldukça avantaj sağlamaktadır. Birkaç çalışmada kuersetinin hem deneysel hem de ilaç olarak kullanımında olumlu geri dönüşler alındığı gözlemlenmiştir. Bir çalışmada fareler üzerinde iskemi uygulaması sonrasında kuersetinin iskeminin sebep olduğu oksidatif stres ve hücre ölümü vb. durumların önemli derecede azaltılmasını sağladığı bulunmuştur. Bunun yanı sıra, ratlarda egzersiz sonrasında kuersetin aktivitesinin kaslarda MDA seviyesinin oldukça azalmasına sebep olduğu tespit edilmiştir (Akkoyun vd., 2017).

3. FENOLİK BİLEŞİKLERİN EKSTRAKSİYON METOTLARI

Fenoliklerin izolasyonu, tanımlanması ve aktif şekilde kullanılabilmeleri için ekstraksiyon metotları büyük öneme sahiptir. Fenolik bileşiklerin yapıları, istenilen materyal için kullanılacak çözücü, ısı vb. değişkenler

sebebiyle farklı ekstraksiyon metotlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Ignat vd. 2011). Halihazırda çeşitli fenolik bileşiklerde kullanılan ve kuersetin için de uygulanabilir olan ekstraksiyon metotları aşağıda verilmiştir.

3.1. Katı-sıvı ekstraksiyon metodu

Çeşitli bitkilerde kullanılan ve fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için sıkça tercih edilen bir metottur. Genellikle katı bir numunede bulunan çözünebilir özellikteki hedef maddenin etanol, metanol veya aseton gibi çözücü maddelerle doğrudan ekstraksiyonu şeklinde gerçekleştirilir (Cong-Cong vd. 2017). Katı-sıvı ekstraksiyonda birçok faktör ekstraksiyonu etkiler. Bunlara difüzyon katsayıları, sınır tabakasındaki değişimler, konsantrasyon gradyanları örnek verilebilir.

3.2. Sıvı-sıvı ekstraksiyon metodu

Çok kutuplu fenolik asitleri saf organik çözücülerle çözmenin yetersiz olduğu fark edildiğinde, farklı çözücülerin karıştırılmasıyla daha az polar çözücülerle polar olmayan yabancı bileşiklerin bitki matriksinden ekstraksiyonun daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Sıvı-sıvı ekstraksiyonda dikkat edilmesi gereken durum, kullanılan çözücülerin uygunluk durumudur. Bu sayede verimli bir ekstraksiyon gerçekleşebilir (Stalikas 2007).

3.3. Süperkritik akışkan ekstraksiyon metodu

Süperkritik akışkan ekstraksiyonu diğer metotlara alternatif olarak geliştirilmiştir ve çevre dostudur. Çoğunlukla kullanılan süperkritik akışkan CO_2'dir. Bunun yanı sıra azot, amonyak, etan ve su da kullanılan akışkanlara örnek verilebilir (Ignat vd. 2011). Metot oldukça seçici ekstraksiyon yapabilme, daha az toksik organik madde ve zaman avantajları sunsa da maliyet bakımından oldukça yüksek bir sermayeye ihtiyaç duyar. Metodun amacı istenilen maddenin süperkritik bir sıvıda çözünmesi ve basıncın azaltılmasıyla sıvıdan ayrılmasıdır. Basınç azalması sonucu süperkritik sıvının çözücülüğü de azalacaktır; bu sayede istenilen materyal sıvıdan ayrılacaktır (Çolak ve Tülek 2003).

3.4. Yüksek basınçlı sıvı ekstraksiyon metodu

Bu metot hedef bileşiklerin tamamen izole edilebilmesi için yüksek basınç ve sıcaklık altında çözücülerin kullanıldığı verimli bir sıvı ekstraksiyonudur. Diğer yöntemlere kıyasla, daha az solvent (sıvı) tüketimi ve ortalama ekstraksiyon süresine sahiptir (Yaman ve Kuleaşan 2016).

3.5. Mikrodalga destekli ekstraksiyon metodu

Bitkiden istenilen maddenin çözücüye geçmesini kolaylaştırmada mikrodalga kullanılır. Bu metodun çözünürlük gücü mikrodalgada bulunan fiziksel parametrelerin yanı sıra çözücünün özellikleri ve metodun verimliliğine bağlıdır. Yüksek dielektrik mikrodalga enerjisinin daha fazla harcanmasına neden olur (Cong-Cong vd. 2017).

3.6. Ultrason destekli ekstraksiyon metodu

Daha düşük maliyete sahip olduğu ve karmaşık ekipmanlar gerektirmediği için bitki endüstrisinde küçük ya da büyük ölçekli ekstraksiyonlarda kullanılabilir. Ses dalgalarının hareketiyle ortamda sıkışma ve genleşme döngüleri meydana gelir. Bu döngüler moleküllerin birbirinden ayrılmasını sağlar; bu sayede madde akışı gerçekleşir ve ekstraksiyon işlemi uygulanabilir (Dai ve Mumper 2010, Ozcan 2006).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bitkilerin kendilerini avantajlı konuma getirmek için kullandıkları sekonder metabolitlerin sadece bitkiler için değil insanlar için de oldukça büyük önem taşıyan maddeler oldukları bilinmektedir. En önemli özelliklerinden biri olan antioksidan aktivite sayesinde kanser başta olmak üzere birçok hastalığı önleyici bitkisel ilaç hammaddesi ve takviyesi olarak kullanılabilmeleri bu konuyu araştırmaya değer kılmıştır.

Geri dönüştürülebilir kaynaklar (kabuk kısmı) kullanılarak elde edilebilen ve katı formda ekstraksiyon maddesi olması vb. avantajları sebebiyle araştırılan soğanın içerdiği kuersetin, biyoflavonoidlere uygulanabilir ekstraksiyon metotları ile elde edilebilir. Yüksek saflık ve verimde kuersetin üretilmesinde, ekstraksiyon yöntemlerinin, çözücü çeşitlerinin, miktarlarının ve koşullarının seçimi hayati öneme sahiptir.

Sıfır atık çerçevesinde geri dönüştürülebilir özellikteki soğan kabuklarından uygun yöntemlerle kuersetin elde etmenin ekonomiye katkı sağlayacağı, atıkların değerlendirilmesiyle çevre kirliliğinin azaltabileceği ve insan sağlığı açısından değerli bir hammadde elde edilebileceği öngörülmektedir.

Teşekkür: Bu çalışma, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FMT 2026/15-LÜTEP numaralı proje kapsamında desteklenmiştir; kendilerine sağladıkları destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Aghababaei, F., & Hadidi, M. (2023). Recent advances in potential health benefits of quercetin. *Pharmaceuticals*, *16*(7), 1020**.**

Akkoyun, H. T., Akkoyun, M. B., Bengü, A. Ş., Aydın, S., Birinci, C., Atçalı, T., ... & Arıhan, O. Quercetin'in Koruyucu Etkisinin İncelendiği Ratlarda Alt Ekstremite İskemi-Reperfüzyon Hasarında TAS-TOS Düzeyleri. *Van Tıp Dergisi*, *24*(4), 298-302.

Ansari, M. K., Unal, B. T., Ozturk, M., & Owens, G. (Eds.). (2023). *Plants as medicine and aromatics: pharmacognosy, ecology and conservation*. CRC Press.

Cong-Cong, X. U., Bing, W. A. N. G., Yi-Qiong, P. U., Jian-Sheng, T. A. O., & Zhang, T. (2017). Advances in extraction and analysis of phenolic compounds from plant materials. *Chinese journal of natural medicines, 15*(10), 721-731

Çolak, N., & Tülek, Y (2003) Süperkritik Akışkan Ekstraksiyonu. *GIDA/THE JOURNAL OF FOOD*, 28(3),

D Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R., Giovannini, C., & Masella, R. (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Annali-Istituto Superiore di Sanita*, *43*(4), 348.

Dai, J& Mumper, R J. (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules, 15*(10), 7313-7352

Hollman PCH, Katan MB, 1999(). Bioavailability and Health effects of dietary flavonols in man. *Food Chem Toxicology, 37*, 937-42

Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food chemistry, 126*(4), 1821-1835

Kılınçarslan, G., (2015) Deneysel Diyabet Oluşturulmuş Sıçanlarda *Quercetin*'in Antioksidan Sistem Ve Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkisi, Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Konya

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols:f ood sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition, 79*(5), 727-747.

Mirza, M. A., Mahmood, S., Hilles, A. R., Ali, A., Khan, M. Z., Zaidi, S. A. A., ... & Ge, Y. (2023). Quercetin as a therapeutic product: evaluation of its pharmacological action and clinical applications—a review. *Pharmaceuticals*, *16*(11), 1631.

Ozcan, E. (2006). Ultrasound assisted extraction of phenolics from grape pomace. Middle East Technical University, The graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph. D., Chemical Engineering, Ankara

Ozturk, M., Bhat, R. A., Ashraf, M., Tonelli, F. M. P., Unal, B. T., & Dar, G. H. (Eds.). (2023). Phytohormones and stress responsive secondary metabolites. Elsevier. P. 292

Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of separation science*, *30*(18), 3268-3295.

Türker, H., & Ünal, B. T. (2020). Potansiyel Antioksidan Kaynağı Olarak Briyofitler. *Anatolian Bryology*, *6*(2), 129-137.

Yaman, T., & Kuleaşan, Ş. (2016). Uçucu Yağ Elde Etmede Gelişmiş Ekstraksiyon Yöntemleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 7(1), 78-83.

FARKLI KAYNAK KORUYUCU GAZ DEBİLERİNDE SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) İLE KAYNAKLANMIŞ 6061-T6 ALÜMİNYUM SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Erman FERİK (Birinci yazar)1/ Özgür YILMAZ (İkinci yazar)2/, /, Doç. Dr., Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU (Üçüncü yazar)[3]/, Prof. Dr. Faruk VAROL (Dördüncü yazar)[4]

1Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, erman.ferik@marmara.edu.tr, 0000-0002-9694-5732

2Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ozgur.yilmaz_94@hotmail.com, 0000-0003-3048-7094

3Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, spazarlioglu@marmara.edu.tr, 0000-0002-7870-8418

4Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Arifiye Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, fvarol@subu.edu.tr, 0000-0003-2952-2251

Özet

Bu çalışmada, 1,5 mm kalınlığındaki 6061-T6 serisi alüminyum saclar, alüminyum esaslı (AlMg4,5Mn) tel kullanılarak soğuk metal transferi (ing. CMT) yöntemiyle birleştirilmiştir. Numuneler, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 lt/dk kaynak koruyucu gaz akış debilerinde alın birleştirme (ing. butt joint) tekniğiyle yapılmıştır. Deneylerde kaynak koruyucu gaz akış debileri değiştirilirken kaynak akımı, voltajı ve kaynak ilerleme hızı sabit bırakılmıştır. Birleştirmelerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla çekme testi sonuçları analiz edilmiş ve mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Numunelerin mikroyapı ve makroyapıları özellikleri optik mikroskop ve SEM görüntüleri ile incelenmiş, kaynak ısı girdisi ile meydana gelen elementsel geçişleri incelemek amacıyla ayrıca EDS analizi gerçekleştirilmiştir. CMT yöntemiyle farklı kaynak koruyucu gaz akış debilerinde 6061-T6 serisi alüminyum sacların CMT yöntemiyle birleştirilebilirliği ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CMT, 6061-T6, Çekme dayanımı, Mikrosertlik

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF 6061-T6 ALUMINUM SHEETS WELDED BY COLD METAL TRANSFER (CMT) AT DIFFERENT WELDING SHIELDING GAS FLOW RATES

Asst. Prof., Erman FERİK (First author)1/ Özgür YILMAZ (Second author)2/, Assoc. Prof. Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU (Third author)[3]/, Prof. Faruk VAROL (Fourth author)[4]

1Marmara Üniversity, Faculty of Technology, Department of Metallurgy and Materials Engineering, erman.ferik@marmara.edu.tr, 0000-0002-9694-5732

2Sakarya University of Applied Sciences, Graduate Education Institute, ozgur.yilmaz_94@hotmail.com, 0000-0003-3048-7094

3Marmara Üniversity, Faculty of Technology, Department of Metallurgy and Materials Engineering, spazarlioglu@marmara.edu.tr, 0000-0002-7870-8418

4Sakarya University of Applied Sciences, Arifiye Vocational School, Department of Machinery and Metal Technologies, fvarol@subu.edu.tr, 0000-0003-2952-2251

Abstract

In this study, 1.5 mm thick 6061-T6 series aluminum sheets were joined using cold metal transfer (CMT) and aluminum-based (AlMg4,5Mn) wire. The samples were produced using the butt joint technique at shielding gas flow rates of 9, 10, 11, 12, 13, and 14 L/min. In the experiments, the welding current, voltage, and welding travel speed were kept constant while the welding shielding gas flow rates were varied. To examine the mechanical qualities of the joints, the tensile test properties and microhardness values were measured. The samples' microstructure and macrostructure were analysed using optical microscopy and SEM imagery, with EDS analysis conducted to investigate the elemental changes induced by welding heat input. The weldability and mechanical characteristics of 6061-T6 series aluminium sheets were assessed via the CMT technique at varying welding shielding gas flow rates.

Keywords: CMT, Al 6061-T6, Tensile Strength, Microhardness

1. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları, sahip oldukları düşük yoğunlukları, yüksek özgül mukavemetleri ve mükemmel korozyon dirençleri nedeniyle raylı sistem araç gövdeleri, havacılıkta yük taşıyıcı bileşenler ve elektrikli araçlarının akü tepsileri gibi hafif yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Asirvatham et al., 2026; Meng et al., 2026; Meng et al., 2026).

Hafif yapılara yönelik artan talep, otomotiv, demiryolu ve ulaşım uygulamalarında 6xxx serisi Al-Mg-Si alüminyum alaşımlarının kullanımını teşvik etmiştir (Jalili et al., 2026; Li et al., 2026; Wang et al., 2026). Ancak, alüminyum alaşımlarının ergitme kaynağı, yüzeyde oluşan alümina tabakası, kaynak işleminde meydana gelen ısınma soğuma döngüsünün malzemenin dayanımı arttıran çökeltilerini çözebilmesi, taneleri irileştirebilmesi veya yeniden kristalleşme sebebiyle nedeniyle zorlu olmaya devam etmektedir. Alüminyumun ergitme kaynağında özellikle gözeneklilik, kimyasal heterojenlik ve kaynak kusurlarına duyarlı kırılma davranışı gibi yerel dayanımı zayıf bölgeler de gelişebilir (Liao et al., 2027; Ma et al., 2026). Alüminyumun ergitme kaynağındaki bu olumsuz durumları ortadan kaldırmak için CMT kaynak yöntemi gibi vantajlar sunan ve alüminyum levhaların birleştirilmesi için uygun bir kaynak yöntemlerine ihtiyaç vardır. (Barenji et al., 2026; Zhang et al., 2026).

Bu çalışmada otomotiv, uçak, uzay, savunma ve yapı endüstrisinde kullanılan alüminyum çeşitlerinden 6xxx serisi alüminyum alaşımı olan 6061-T6 alüminyum alaşım sacların CMT yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve özellikleri incelenmiştir. Daha önceki birleştirme yöntemlerinden farklı olarak, CMT yöntemi kullanılarak 6xxx serisi alüminyum sacların farklı kaynak koruyucu gaz debilerinde kaynaklanabilirliği ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Birleştirmelerin çekme özellikleri analiz edilmiş ve mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. 6061-T6 serisi alüminyum sacların CMT yöntemiyle birleştirilebilirliğini değerlendirmek amacıyla numunelerin mikro ve makro yapıları ile SEM görüntüleri incelenmiş, ayrıca EDS analizi gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL METOT

Orta derece mukavemet, yüksek şekillendirilme kabiliyeti ve yüksek korozyon direnci nedeniyle endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan 6061-T6 alüminyum alaşımı levhaların kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1. ve Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 1. 6061-T6 alüminyum sacın kimyasal bileşimi (Elementler (ağırlıkça %)).

Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
0,64	0,367	0,114	0,8	0,275	0,193	0,005	0,157	0,029	97,4

Tablo 2. 6061-T6 alüminyum sacın mekanik özellikleri.

Çekme Dayanımı (N/mm^2)	Akma Dayanımı (N/mm^2)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
334	295	13	110

AlMg4,5Mn kaynak telinin spektral analizi ve mekanik özellikleri, alüminyum, magnezyum ve mangan içeren bir MIG kaynak teli olması, deniz suyu korozyonuna karşı yüksek direnç göstermesi ve -196 °C gibi düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılmakta olup kimyasal bileşim ve mekanik performans özellikleri Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. AlMg4,5Mn kaynak telinin kimyasal bileşimi (Elementler (ağırlıkça %)).

Mn	Mg	Cr	Al
0,50-1,0	0,50-1,0	0,05-0,25	Kalan

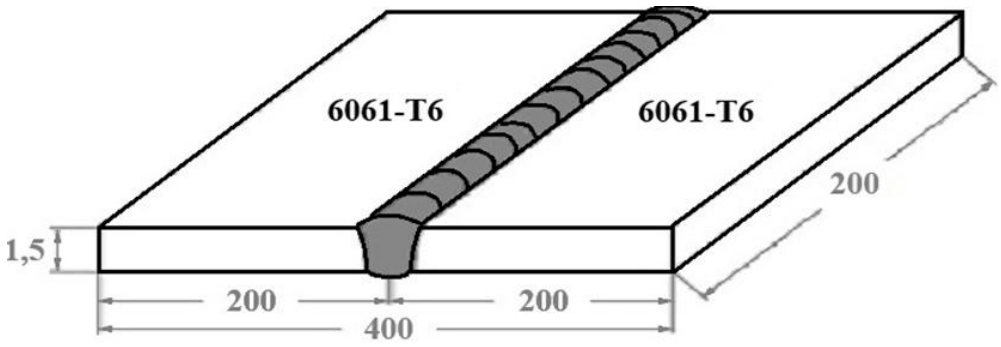
Tablo 4. AlMg4,5Mn kaynak telinin mekanik özellikleri.

Çekme Dayanımı (N/mm^2)	Akma Dayanımı (N/mm^2)	Uzama (%)
>250	>120	>16

3. YÖNTEM

3.1. CMT Kaynak Prosesi

CMT kaynak işlemine geçilmeden önce, 1,50 mm kalınlığındaki 6061-T6 alüminyum saclar 200x200x1,50 mm boyutlarında kesilmiş ve yüzeydeki kir ve yağları gidermek amacıyla asetonla temizlenmiştir.



Şekil 1. 6061-T6 kaynaklı numunelerin boyutları.

CMT kaynak işlemi, Fronius A-4600 CMT kaynak ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüksek görev hassasiyeti sağlamak amacıyla, sabit bir kaynak ilerleme hızı elde etmek için bir kaynak robotu kullanılmıştır.

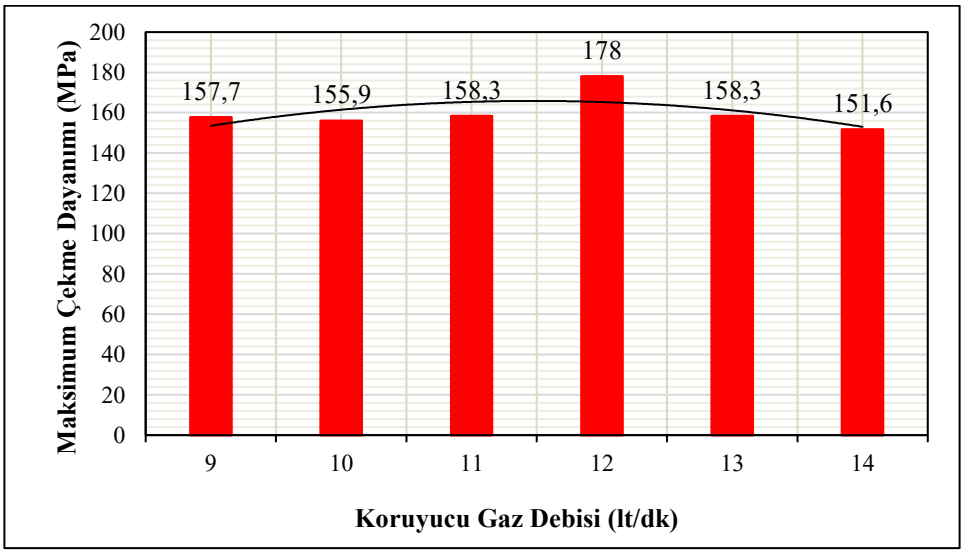
Numuneler alın alına yerleştirilerek konumlandırılmış ve distorsiyonu önlemek amacıyla özel olarak tasarlanan vida kalıp sistemine sabitlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda, sabit kaynak ilerleme hızını sağlamak için bir kaynak robotu tercih edilmiştir. Farklı kaynak uygulamalarında farklı ilerleme hızları kullanılmıştır. 6061-T6 alüminyum numuneleri, AlMg4,5Mn alaşımından üretilmiş 1,2 mm çapındaki MIG kaynak teli kullanılarak CMT yöntemiyle birleştirilmiştir. Koruyucu gaz olarak %100 argon tercih edilmiş, kaynak işlemi 60 cm/dk hızında uygulanmıştır. Kaynak akım şiddeti 80 amper olarak belirlenmiş, torç açısı ise 20° olarak ayarlanmıştır. Çalışmada saf argon gazı kullanılmış ve gaz basıncı dakikada 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 litre olacak şekilde ayarlanmıştır. Araştırma süresince sabit kaynak akımı, kaynak hızı ve torç açısı korunarak farklı kaynak koruyucu gaz akış oranı (debi) ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiş, parçalar arasında boşluk bırakılmamıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Çekme deneyi sonuçları

Çekme numuneleri, EN895 standartlarına uygun olarak hazırlanmış ve "kaynak hızı" ile "maksimum çekme mukavemeti" olmak üzere iki temel özellik incelenmiştir. Çekme testinde, çekme hızı 10 mm/dk olarak sabitlenmiştir. Bu iki değişken arasındaki ilişki **Şekil 2**'de gösterilmektedir.

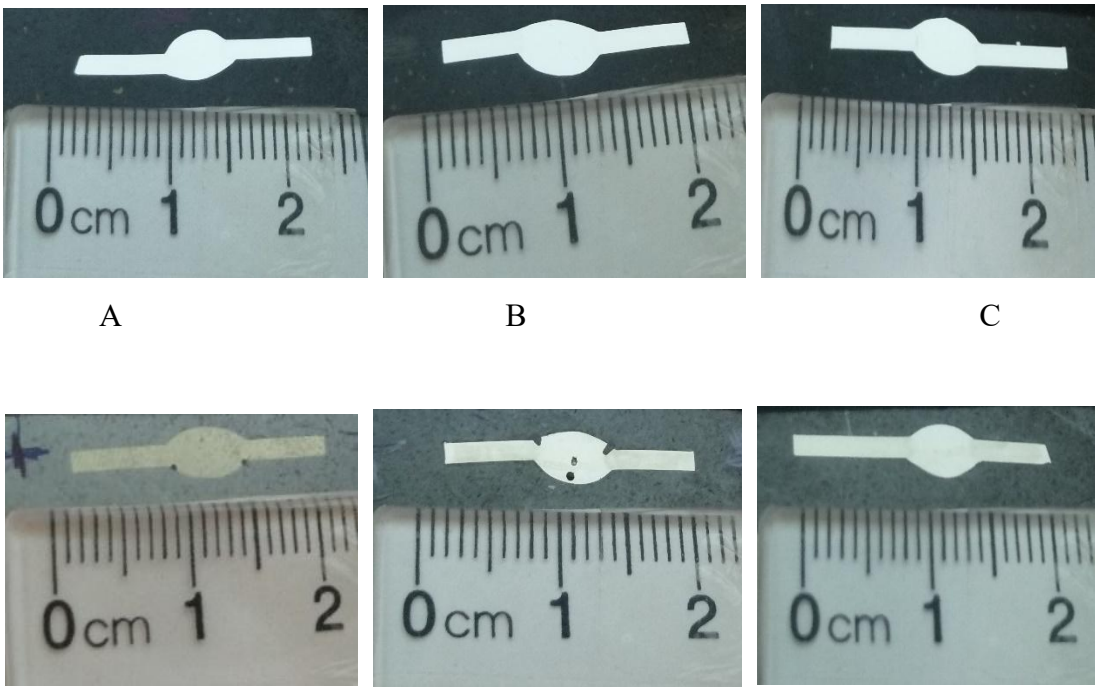


Şekil 2. Farklı kaynak koruyucu gaz debileri için çekme mukavemeti grafikleri.

Şekil 2'deki grafik incelendiğinde 12 lt/dk gaz debisinde en yüksek çekme mukavemet değeri görülmüştür. Bu sebeple 6061-T6 alüminyuma CMT kaynağı işleminde uygulanabilir optimum koruyucu gaz debisi 12 lt/dk olduğu belirlenmiştir. Deney parçaları incelendiğinde ise maksimum çekme mukavemetine ait numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu gözlenmiştir

4.2. Makroyapı

Kaynaklı numuneler, makro ve mikro inceleme için kesilmiş, ardından zımparalanarak farklı zımpara numaralarıyla polisaj işlemi uygulanmıştır. Yüzey, keçe ve alümina solüsyonu ile parlatıldıktan sonra Keller ayırıcısı (ing. etching) ile dağlanmıştır. Makro yapı incelemeleri gerçekleştirilerek, 1,5 mm kalınlığındaki 6061-T6 alüminyum sacların soğuk metal transferi kaynak işlemi sonucunda elde edilen özellikleri değerlendirilmiştir.



A B C

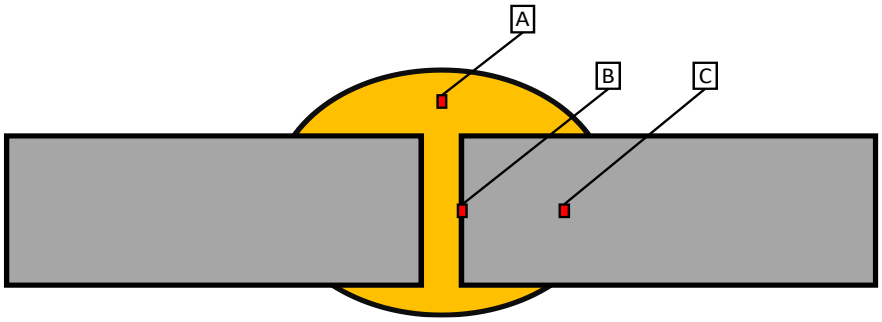
D E F

Şekil 3. Farklı kaynak koruyucu gaz debilerinde makro yapı görüntüleri, a) 9 lt/dk b) 10 lt/dk, c) 11 lt/dk, d) 12 lt/dk, e) 13 lt/dk, f) 14 lt/dk.

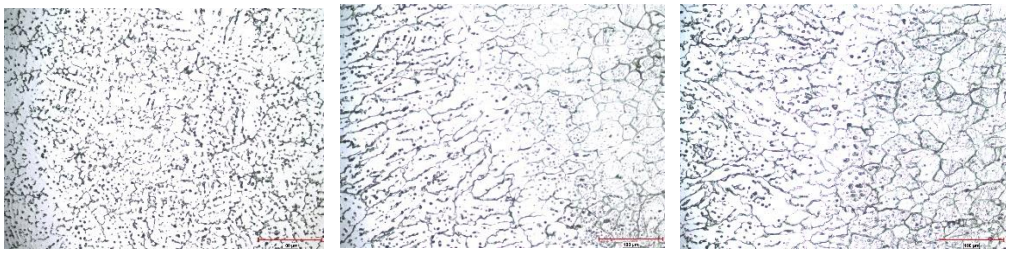
Şekil 3'te görüldüğü gibi, makroyapı görüntüleri incelendiğinde elde edilen tüm değerlerinin ıslatabilirliğinin olduğu anlaşılmaktadır. Fakat çekme deneyi mukavemet sonuçları birlikte değerlendirildiğinde optimum gaz debisinin 12 lt/dk olduğu görülmektedir.

4.3. Mikroyapı

Şekil 4 mikroyapı görüntülerini şematik olarak göstermektedir. Şekil 5'te, 13 lt/dk kaynak koruyucu gaz debisi ile kaynaklanan bir numunenin farklı bölgelerinde alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A bölgesi kaynak, B bölgesi ara bölge (kaynak-ITAB), C bölgesi ise ITAB bölgesini temsil etmektedir.



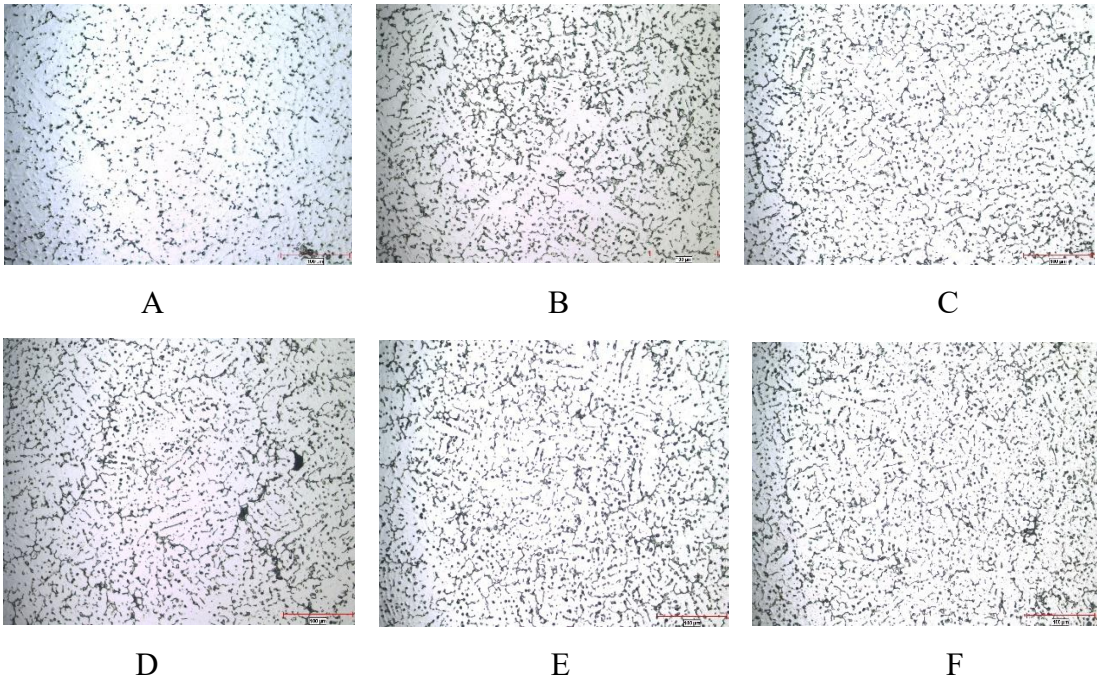
Şekil 4. Mikroyapı görüntülerinin alındığı noktalar.



A B C

Şekil 5. 13 lt/dk gaz debisiyle kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.'da farklı kaynak koruyucu gaz debilerinde birleştirilmiş numunelerin kaynak bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



A B C

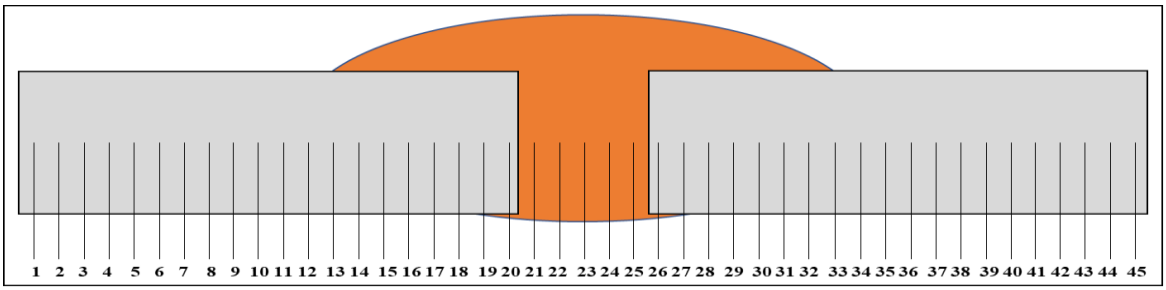
D E F

Şekil 6. Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş kaynak bölgeleri mikroyapı görüntüleri. a) 9 lt/dk, b) 10 lt/dk, c) 11 lt/dk, d) 12 lt/dk, e) 13 lt/dk, f) 14 lt/dk.

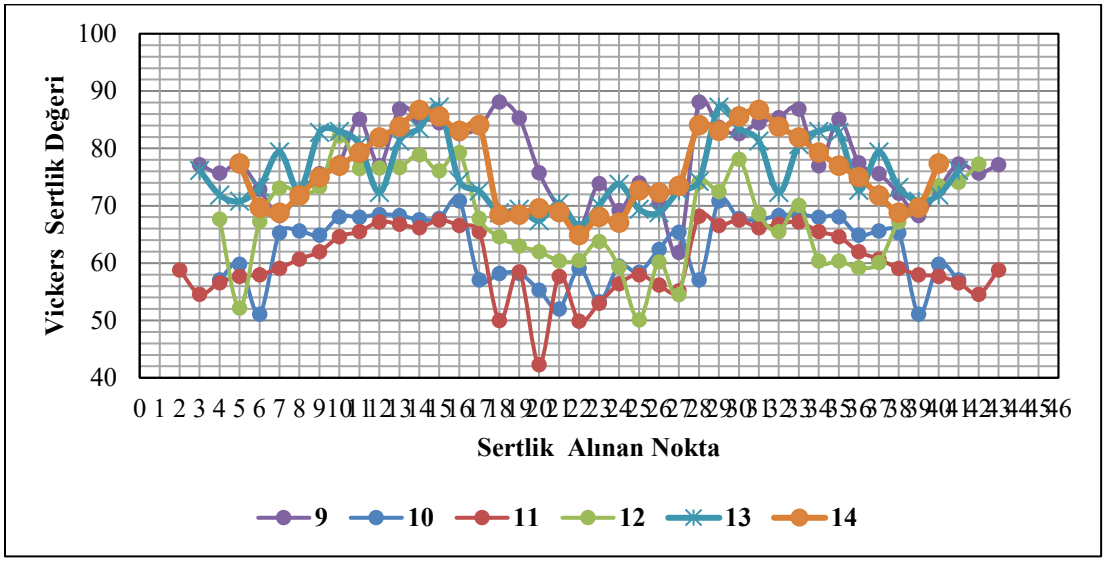
Şekil 5 ve **Şekil 6**'daki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, kaynak metalinin, ITAB ve temel malzemeye kıyasla daha ince taneli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Kaynak metalinde ince, eşeksenli ve homojen dağılımlı taneler bulunurken, ITAB bölgesi, kaynak termal çevrimi nedeniyle daha büyük ve kaba taneli, heterojen bir mikroyapı sergilemektedir. Bu bölge, diğer bölgelere göre farklı bir yapı ve özellik göstermektedir. ITAB bölgesinden kaynak metalinin merkezine doğru ilerledikçe tanelerin inceldiği belirlenmiştir. Kaynak akımı ile uygulanan ısının ardından, kaynak metalinin bulunduğu bölgenin hızlı katılaşması sebebiyle, ITAB'den kaynak metalinin merkezine geçildikçe tane yapısının daha da inceldiği düşünülmektedir.

4.4. Mikrosertlik

Mikrosertlik ölçümünde Vickers sertlik testi yöntemi kullanılmış olup, 100 gr yük, 10 saniye bekleme süresi ve piramit biçiminde elmas batıcı uç (ing. indenter) uygulanmıştır. Sertlik değerleri, temel malzemeden başlayarak kaynak bölgesi boyunca ölçülmüştür. **Şekil 7** ve **Şekil 8**'de, kaynak metali, ITAB ve temel malzeme bölgelerinden alınan sertlik noktaları şematik ve diyagramatik olarak gösterilmektedir.



Şekil 7. Sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar.

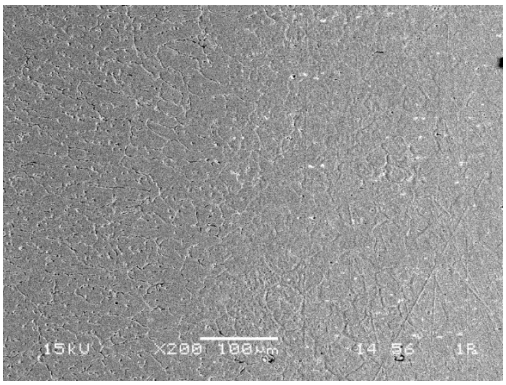


Şekil 8. Farklı kaynak koruyucu gaz debilerinde mikrosertlik değerleri grafiği (lt/dk).

Şekil 8'deki grafik incelendiğinde, 9 lt/dk, 10 lt/dk, 11 lt/dk, 12 lt/dk, 13 lt/dk ve 14 lt/dk koruyucu gaz debilerinde kaynak hızlarında ve bu hızlara bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.

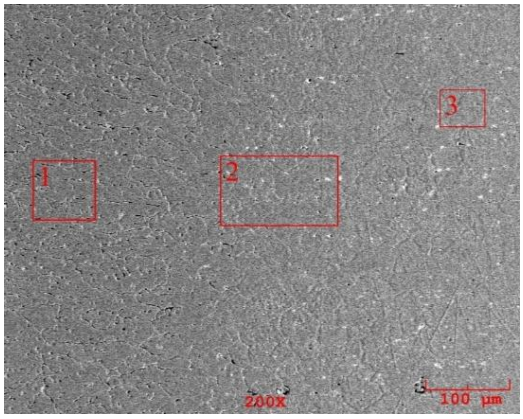
4.5. SEM Görüntüleri ve EDS İncelemesi

Kaynaklı numunelerin farklı bölgelerinden çeşitli SEM görüntüleri alınmış ve bu bölgelerdeki elemental değişimleri belirlemek amacıyla EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. **Şekil 9'da**, 13 lt/dk gaz debisinde birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan SEM resmi ve Şekil 10'da EDS inceleme sonuçları verilmiştir.



Şekil 9. 13 lt/dk kaynak koruyucu gaz debisiyle kaynak yapılan numunenin arayüz bölgesi (6061-T6 - Kaynak Bölgesi) SEM görüntüsü.

Şekil 10'da, 13 lt/dk kaynak koruyucu gaz debisiyle kaynak yapılan numunenin arayüz bölgesine 6061 - Kaynak Bölgesi) ait bölgesel EDS analizi sunulmaktadır.



Alınan Bölge	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	1,820	0,022	0,465	1,132	96,562
2	0,615	0,517	0,278	0,597	97,992
3	0,951	0,371	0,576	0,860	97,242

Şekil 10. 13 lt/dk kaynak koruyucu gaz debisiyle kaynak yapılan numunenin arayüz bölgesi (6061-T6 - Kaynak Bölgesi) EDS incelemesi.

Şekil 10'deki analiz incelendiğinde, kaynak metalinde Si elementi ve diğer elementlerin varlığı tespit edilmiştir. Yapıdaki Si' nin temel malzemeden geçtiği düşünülmekte olup, ayrıca Si' nin kaynak metalinde bulunan Mg ile etkileşime girerek Mg_2Si fazını oluşturabileceği öngörülmektedir. 6061-T6 bölgesi ile kaynak bölgesi arasında elemental dönüşümler gerçekleştiği değerlendirilmiştir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

6061-T6 alüminyum sacların, AlMg4,5Mn kaynak teli kullanılarak soğuk metal transferi yöntemiyle farklı kaynak koruyucu gaz debilerinde kaynak yapılabilirliği incelenmiştir.

Farklı kaynak koruyucu gaz debilerinde çekme mukavemeti, sertlik ve makro yapı değerlendirmeleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

• Göreceli olarak düşük ısı girdisi nedeniyle temel malzemede sınırlı bir ergime meydana gelmiştir. Kaynak kaynak koruyucu gaz debisinin hızının artmasıyla çekme mukavemetinin 12 lt/dk kaynak koruyucu gaz debisine kadar yükseldiği ve daha sonra azaldığı belirlenmiştir.

• Makro yapı incelemelerinde, kaynak koruyucu gaz debilerinde artışın kaynak üst şapkası ve kaynak köküne belirgin bir fark meydana getirdiği görülmemiştir. Mikro yapıda ise kaynak koruyucu gaz debileri arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir.

• Kaynak kaynak koruyucu gaz debisinin artması, bazı bölgelerde temel malzemeden kaynak bölgesine doğru sertlik değerlerinin yükselmesine yol açmıştır.

• SEM görüntüleri ve EDS analizleri, kaynak ve ITAB bölgelerinde oluşan ısının mikroyapıyı değiştirdiğini ve elemental difüzyonlara sebep olduğunu ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

Asirvatham, M. C., Grandjean, T. R., Koshkouei, M. J., Moore, A. D., Pathan, T. S., Morganti, M. V., & Niri, M. F. (2026). Experimental investigation and simulation of thermal and electrical performance of laser welded aluminium-based busbars for electric vehicle batteries. *Journal of Energy Storage, 182*, 124821.

Barenji, A. B., Kotadia, H., Ceglarek, D., Wilson, P., Smith, J., Ayarkwa, K., & Franciosa, P. (2026). Influence of Zn vaporisation on intermetallic formation and joint integrity in zero-and non-zero-gap laser welding of hot-dip galvanised DC01 steel to 5251-H22 aluminium lap joints. *Journal of Materials Research and Technology*.

Jalili, A., Kafshgari, M. T., & Pouranvari, M. (2026). High-strength crack-free welds in AA6061 aluminum alloy enabled by nanoparticle-assisted grain refinement and epitaxial growth control. *Materials & Design*, 116976.

Li, Z., Su, M., Dai, S., Peng, Y., Zhang, X., & Chen, Z. (2026, October). Numerical study of aluminium alloy welded beam-column joints subjected to static and cyclic loads. *Structures, 92, 112930*.

Liao, W., Xu, J., Wang, Z., Zhao, S., Jiang, L., & Gao, M. (2027). Quantitative study of pore evolution and escape mechanisms induced by gap factor in laser-arc hybrid welding of aluminum alloys. *International Journal of Thermal Sciences, 232, 111379*.

Ma, G., Zhou, S., Ge, C., Chen, X., Tang, J., Liu, D., Niu, F., & Zhao, D. (2026). Enhancing fatigue performance of 7075 aluminum alloy joints via porosity suppression in ultrasonic-assisted laser–arc hybrid welding. *Optics & Laser Technology, 204, 116570*.

Meng, Y., Hou, Z., Xie, Y., Liu, Y., Zhu, Z., & Chen, H. (2026). In-situ Zr micro-alloying coupled with beam oscillation enables defect suppression and ductility enhancement in laser-arc hybrid welding of aluminum alloy. *Results in Engineering*, 112888.

Meng, Y., Tang, Z., Yang, Z., Li, B., Tang, S., Li, H., … & Chen, H. (2026). Gap adaptability and forming characteristics in high-power laser-arc hybrid welding of medium-thick aluminum alloy butt-joints. *Optics & Laser Technology, 204, 116066*.

Wang, W., Gu, X., Gu, X., & Zhu, L. (2026). Enhancing tensile performance of 6082 aluminum alloy pulsed MIG welds via mechanical vibration: The mechanism of substructure development and microsegregation suppression. *Materials Characterization*, 116779.

Zhang, Y., Wang, Y., Zhang, K., & Yang, J. (2026). Influence of laser-arc configurations on molten pool flow behavior and element distribution in laser-CMT hybrid welding. *Journal of Manufacturing Processes, 172, 1034–1047*.

FARKLI KAYNAK HIZLARINDA SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) İLE KAYNAKLANMIŞ 5754 ALÜMİNYUM SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Erman FERİK (Birinci yazar)1/ Özgür YILMAZ (İkinci yazar)2/, /, Doç. Dr., Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU (Üçüncü yazar)[3]/, Prof. Dr. Faruk VAROL (Dördüncü yazar)[4]

1Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, erman.ferik@marmara.edu.tr, 0000-0002-9694-5732

2Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ozgur.yilmaz_94@hotmail.com, 0000-0003-3048-7094

3Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, spazarlioglu@marmara.edu.tr, 0000-0002-7870-8418

4Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Arifiye Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, fvarol@subu.edu.tr, 0000-0003-2952-2251

Özet

Bu çalışmada, 1,5 mm kalınlığındaki 5754 serisi alüminyum saclar, alüminyum esaslı (AlMg4,5Mn) tel kullanılarak soğuk metal transferi (ing. CMT) yöntemiyle birleştirilmiştir. Numuneler, 35, 40, 48, 60, 80 ve 120 cm/dk kaynak ilerleme hızlarında alın birleştirme (ing. butt joint) tekniğiyle oluşturulmuştur. Deneylerde kaynak kaynak ilerleme hızları değiştirilirken kaynak akımı, voltajı ve koruyucu gaz debisi sabit bırakılmıştır. Birleştirmelerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla çekme testi sonuçları analiz edilmiş ve mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Numunelerin mikroyapı ve makroyapıları özellikleri optik mikroskop ve SEM görüntüleri ile incelenmiş, kaynak ısı girdisi ile meydana gelen elementsel geçişleri incelemek amacıyla ayrıca EDS analizi gerçekleştirilmiştir. CMT yöntemiyle farklı kaynak hızlarından 5754 serisi alüminyum sacların CMT yöntemiyle birleştirilebilirliği ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CMT, Al 5754, Çekme dayanımı, Mikrosertlik

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF 5754 ALUMINUM SHEETS WELDED BY COLD METAL TRANSFER (CMT) AT DIFFERENT WELDING SPEEDS

Asst. Prof., Erman FERİK (First author)1/ Özgür YILMAZ (Second author)2/, Assoc. Prof. Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU (Third author)[3]/, Prof. Faruk VAROL (Fourth author)[4]

1Marmara Üniversity, Faculty of Technology, Department of Metallurgy and Materials Engineering, erman.ferik@marmara.edu.tr, 0000-0002-9694-5732

2Sakarya University of Applied Sciences, Graduate Education Institute, ozgur.yilmaz_94@hotmail.com, 0000-0003-3048-7094

3Marmara Üniversity, Faculty of Technology, Department of Metallurgy and Materials Engineering, spazarlioglu@marmara.edu.tr, 0000-0002-7870-8418

4Sakarya University of Applied Sciences, Arifiye Vocational School, Department of Machinery and Metal Technologies, fvarol@subu.edu.tr, 0000-0003-2952-2251

Abstract

In this study, 1.5 mm thick 5754 series aluminum sheets were joined using cold metal transfer (CMT) and aluminum-based (AlMg4,5Mn) wire. The samples were made using the butt joint technique at welding speeds of 35, 40, 48, 60, 80, and 120 cm/min. Although the welding speeds were modified, the welding current, voltage, and shielding gas flow rate were maintained at a consistent level. To examine the mechanical qualities of the joints, the tensile test properties and microhardness values were measured. The samples' microstructure and macrostructure were analysed using optical microscopy and SEM imagery, with EDS analysis conducted to investigate the elemental changes induced by welding heat input. The weldability and mechanical characteristics of 5754 series aluminium sheets were assessed via the CMT technique at varying welding velocities.

Keywords: CMT, Al 5754, Tensile Strength, Microhardness

1. GİRİŞ

Hafif malzemelerin kullanımı, araçların yakıt tüketimini azaltmanın ve otomotiv ve ulaşım endüstrisinin daha düşük karbon ayak izi ve çevreci gelişimini sağlamanın temel teknik yollarından biri haline gelmiştir (Zhu et al., 2026). Araç gövdelerinin daha hafif hale getirilmesi talebini karşılamak için, alüminyum alaşımları sahip oldukları düşük yoğunlukları, yüksek mekanik özellikleri nedeniyle otomotiv endüstrisinde tercih edilen malzemeler haline gelmiştir (Florea et al., 2012; Luo et al., 2015).

5xxx serisi alüminyum alaşımları Al-Mg alaşımları olup, yapıdaki magnezyum belli orana kadar korozyon dayanımı arttırır (Adelkhani et al., 2026). Bu serideki 5754 alüminyum alaşımı ise, sahip olduğu yüksek korozyon direnci, soğuk şekillendirilebilme, iyi kaynaklanabilirlik gibi birçok avantaja sahiptir (Ezequiel et al., 2020; Torkamany et al., 2010).

CMT birleştirme yöntemi, metal inert gaz (ing. MIG) kaynağının geliştirilmiş bir versiyonu olup iyi kaynak boşluk kapatma yeteneği, önemli ölçüde azaltılmış kaynak bölgesine ısı girişi ve iyi ark kararlılığı avantajları sayesinde kaynak edilmesi zor metaller ve alaşımların kaynak işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kisarev et al., 2026; Li et al., 2026; Ma et al., 2026; Rajeshkumar et al., 2021).

Bu çalışmada basınçlı kaplar, hidrolik uygulamalar, gemi inşa ekipmanları ve otomotiv sektöründe kullanılan 5754 alüminyum alaşım sacların CMT yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve özellikleri incelenmiştir. Daha önceki birleştirme yöntemlerinden farklı olarak, CMT yöntemi kullanılarak e 5xxx serisi alüminyum sacların farklı kaynak ilerleme hızlarında kaynaklanabilirliği ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Birleştirmelerin çekme özellikleri analiz edilmiş ve mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. 5754 serisi alüminyum sacların CMT yöntemiyle birleştirilebilirliğini değerlendirmek amacıyla numunelerin mikro ve makro yapıları ile SEM görüntüleri incelenmiş, ayrıca EDS analizi gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL METOT

Tablo 1 ve 2, iyi şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve mükemmel korozyon direnci nedeniyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan 5754 alüminyum alaşımının spektrometrik analizini ve mekanik özelliklerini göstermektedir.

Tablo 1. Tablo 5754 alüminyum sacın kimyasal bileşimi (Elementler (ağırlıkça %)).

Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
0,114	0,327	0,241	2,76	0,0075	0,0075	0,0018	0,001	0,0056	96,4

Tablo 2. 5754 alüminyum sacın mekanik özellikleri.

Çekme Dayanımı (N/mm^2)	Akma Dayanımı (N/mm^2)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
220	127	20	67

AlMg4,5Mn kaynak telinin spektral analizi ve mekanik özellikleri, alüminyum, magnezyum ve mangan içeren bir MIG kaynak teli olması, deniz suyu korozyonuna karşı yüksek direnç göstermesi ve -196 °C gibi düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılmakta olup kimyasal bileşim ve mekanik performans özellikleri **Tablo 3 ve 4**'de verilmiştir.

Tablo 3. AlMg4,5Mn kaynak telinin kimyasal bileşimi (Elementler (ağırlıkça %)).

Mn	Mg	Cr	Al
0,50-1,0	0,50-1,0	0,05-0,25	Kalan

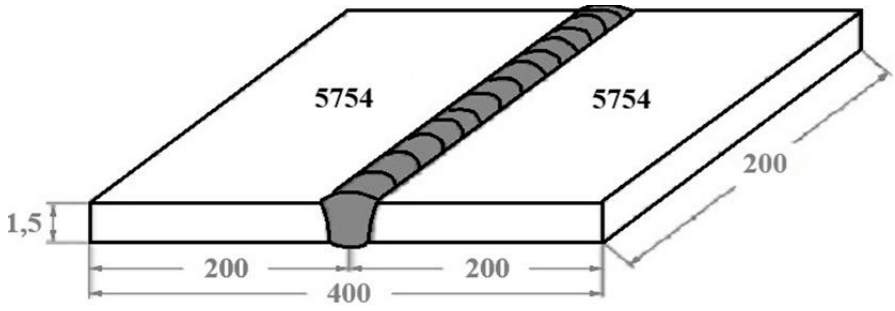
Tablo 4. AlMg4,5Mn kaynak telinin mekanik özellikleri.

Çekme Dayanımı (N/mm^2)	Akma Dayanımı (N/mm^2)	Uzama (%)
>250	>120	>16

3. YÖNTEM

3.1. CMT Kaynak Prosesi

CMT kaynak işlemine geçilmeden önce, 1,50 mm kalınlığındaki 5754 alüminyum saclar 200x200x1,50 mm boyutlarında kesilmiş ve yüzeydeki kir ve yağları gidermek amacıyla asetonla temizlenmiştir.



Şekil 1. kaynaklı 5754 alaşımı sac numunelerin boyutları.

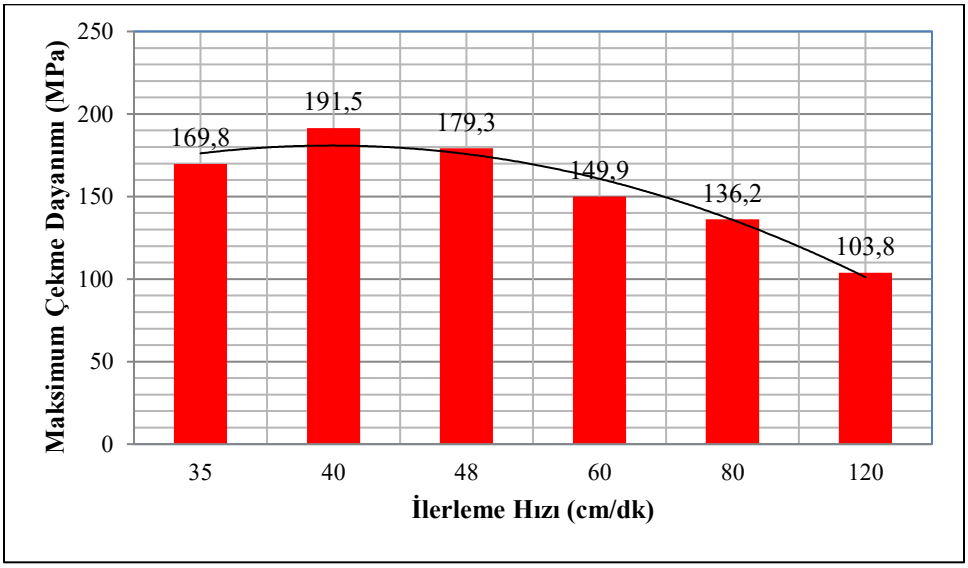
CMT kaynak işlemi, Fronius A-4600 CMT kaynak ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüksek görev hassasiyeti sağlamak amacıyla, sabit bir kaynak ilerleme hızı elde etmek için bir kaynak robotu kullanılmıştır. Numuneler alın alına yerleştirilerek konumlandırılmış ve distorsiyonu önlemek amacıyla özel olarak tasarlanan vida kalıp sistemine sabitlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda, sabit kaynak ilerleme hızını sağlamak için bir kaynak robotu tercih edilmiştir. Farklı kaynak uygulamalarında farklı ilerleme hızları kullanılmıştır. 5754 alüminyum numuneleri, AlMg4,5Mn alaşımından üretilmiş 1,2 mm çapındaki MIG kaynak teli kullanılarak CMT yöntemiyle birleştirilmiştir. Koruyucu gaz olarak %100 argon tercih edilmiş, kaynak işlemi 35, 40, 48, 60, 80 ve 120 cm/dk hızlarında uygulanmıştır. Kaynak akım şiddeti 80 amper olarak belirlenmiş, torç açısı ise 20° olarak ayarlanmıştır. Çalışmada saf argon gazı kullanılmış ve gaz basıncı dakikada 12 litre olacak şekilde ayarlanmıştır. Araştırma süresince sabit kaynak akımı, gaz akış oranı ve torç açısı korunarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiş, parçalar arasında boşluk bırakılmamıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Çekme deneyi sonuçları

Çekme numuneleri, EN895 standartlarına uygun olarak hazırlanmış ve "kaynak hızı" ile "maksimum çekme mukavemeti" olmak üzere iki temel özellik incelenmiştir. Çekme testinde, çekme hızı 10 mm/dk olarak sabitlenmiştir. Bu iki değişken arasındaki ilişki **Şekil 2**'de gösterilmektedir.

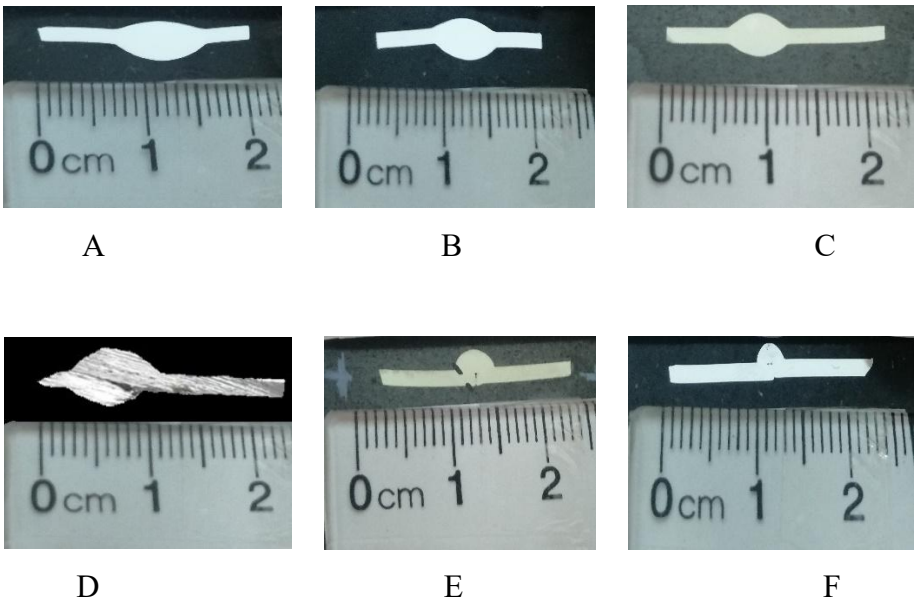


Şekil 2. Farklı kaynak ilerleme hızları için çekme mukavemeti grafikleri.

Şekil 2'de gösterildiği gibi, çekme mukavemeti kaynak hızına bağlı olarak değişim göstermiştir. Tablo verileri incelendiğinde, en yüksek çekme mukavemeti değerine 40 cm/dk'da ulaşılmıştır. Çekme testi yapılan malzemelerde 80 cm/dk ve 120 cm/dk kaynak bölgesinden kopmalar mevcuttur. Kaynak ilerleme hızının artmasıyla beraber ITAB bölgesinden kopmalar meydana gelmiştir.

4.2. Makroyapı

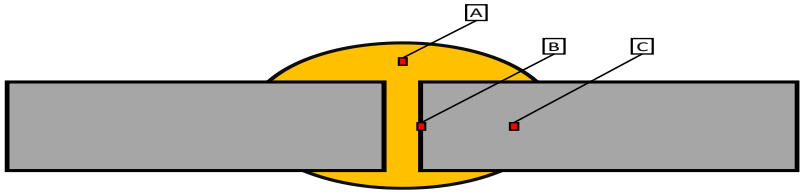
Kaynaklı numuneler, makro ve mikro inceleme için kesilmiş, ardından zımparalanarak farklı zımpara numaralarıyla polisaj işlemi uygulanmıştır. Yüzey, keçe ve alümina solüsyonu ile parlatıldıktan sonra Keller ayırıcısı (ing. etching) ile dağlanmıştır. Makro yapı incelemeleri gerçekleştirilerek, 1,5 mm kalınlığındaki 5754 alüminyum sacların soğuk metal transferi kaynak işlemi sonucunda elde edilen özellikleri değerlendirilmiştir.



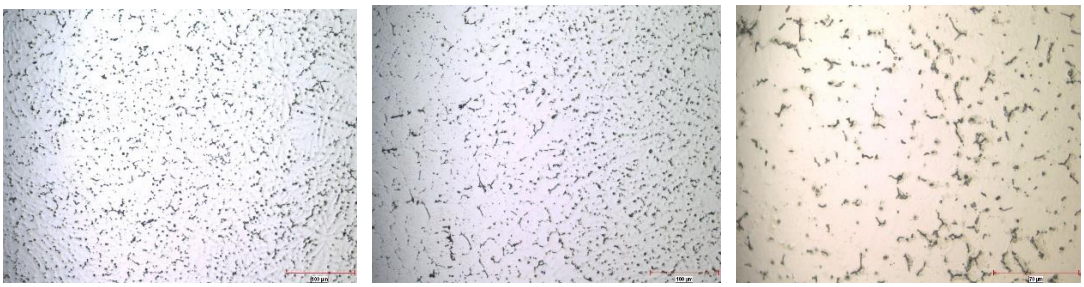
Şekil 3. Farklı kaynak hızlarındaki makro yapı görüntüleri, a) 35 cm/dk, b) 40 cm/dk, c) 48 cm/dk, d) 60 cm/dk, e) 80 cm/dk, f) 120 cm/dk.

Şekil 3'te görüldüğü gibi, 35 cm, 40, 48 ve 60 cm/dk kaynak hızlarında yüksek miktarda kaynak kökü oluşurken, kaynak üst şapka (cap) miktarı daha azdır. Buna karşın, 80 ve 120 cm/dk kaynak hızlarında kaynak ıslatma (ing. wetting) kabiliyeti diğer numunelere kıyasla daha iyi seviyededir. Fakat kaynak ilerleme hızının artması ile 80 ve 120 cm/dk kaynak ilerleme hızlarında mukavemet azalmıştır.

4.3. Mikroyapı



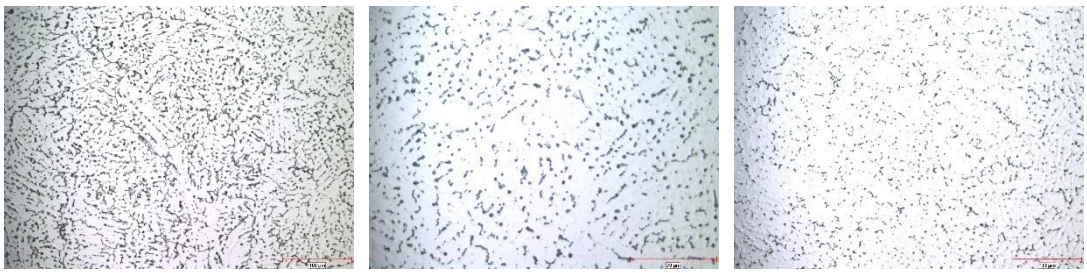
Şekil 4. Kaynaklı numunelerde mikroyapı resimleri çekilen bölgeler.



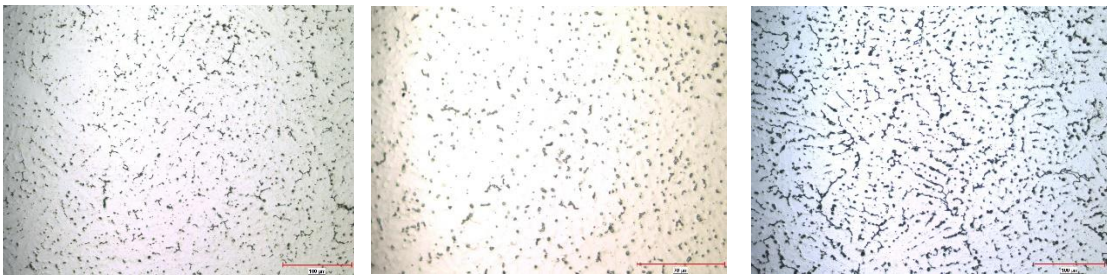
A B C

Şekil 5. 48cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6'da, farklı kaynak hızlarında elde edilen mikroyapı görüntüleri sunulmaktadır.



A B C



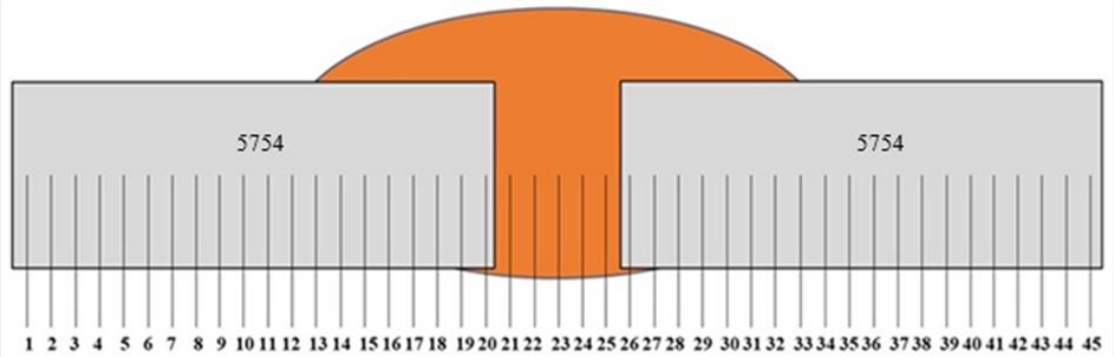
D E F

Şekil 6. Farklı kaynak ilerleme hızlarında kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri, a) 35 cm/dk, b) 40 cm/dk, c) 48 cm/dk, d) 60 cm/dk, e)80 cm/dk, f) 120 cm/dk.

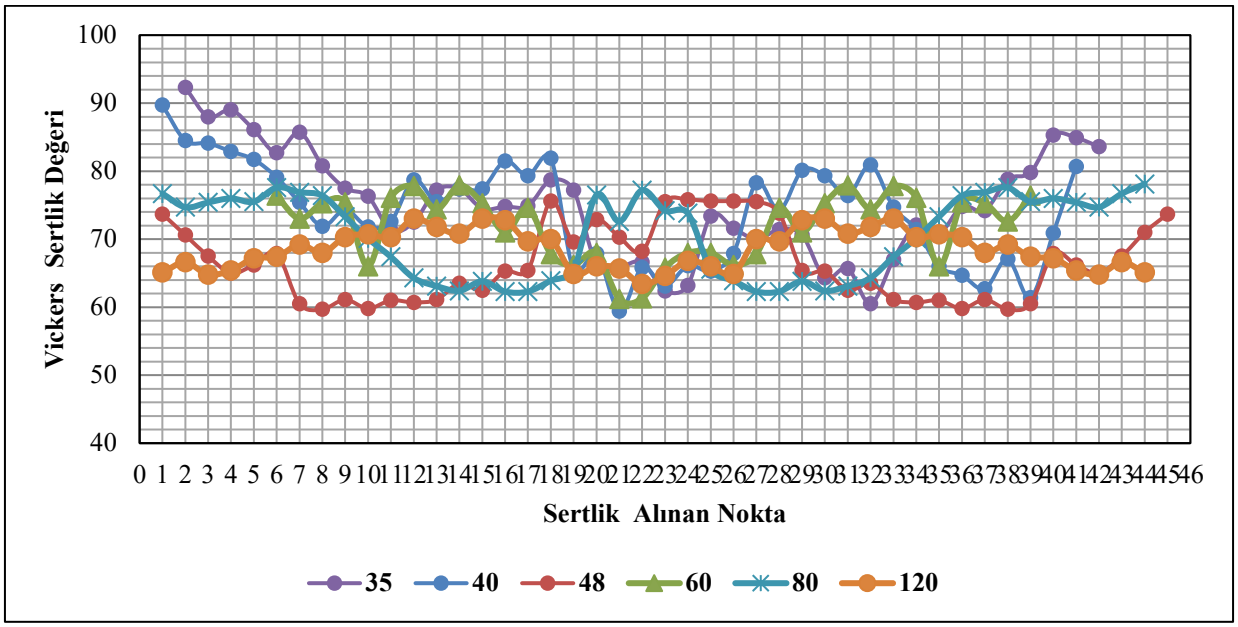
Şekil 5 ve **Şekil 6**'daki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, kaynak metalinin, ITAB ve temel malzemeye kıyasla daha ince taneli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Kaynak metalinde ince, eşeksenli ve homojen dağılımlı taneler bulunurken, ITAB bölgesi, kaynak işleminden meydana ısınma ve soğuma nedeniyle daha büyük ve kaba taneli, heterojen bir mikroyapı sergilemektedir. Bu bölge, diğer bölgelere göre farklı bir yapı ve özellik göstermektedir. ITAB bölgesinden kaynak metalinin merkezine doğru ilerledikçe tanelerin inceldiği belirlenmiştir. Kaynak akımı ile uygulanan ısının ardından, kaynak metalinin bulunduğu bölgenin hızlı katılaşması sebebiyle, ITAB'den kaynak metalinin merkezine geçildikçe tane yapısının daha da inceldiği düşünülmektedir.

4.4. Mikrosertlik

Mikrosertlik ölçümünde Vickers sertlik testi yöntemi kullanılmış olup, 100 gr yük, 10 saniye bekleme süresi ve piramit biçiminde elmas batıcı uç (ing. indenter) uygulanmıştır. Sertlik değerleri, temel malzemeden başlayarak kaynak bölgesi boyunca ölçülmüştür. **Şekil 7** ve **Şekil 8**'de, kaynak metali, ITAB ve temel malzeme bölgelerinden alınan sertlik noktaları şematik ve diyagramatik olarak gösterilmektedir. Bazı ölçümler, bazı kaynaklı numunelerde üst şapka ve kök boyutlarının farklılık göstermesi nedeniyle gerçekleştirilememiştir.



Şekil 7. Sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar.

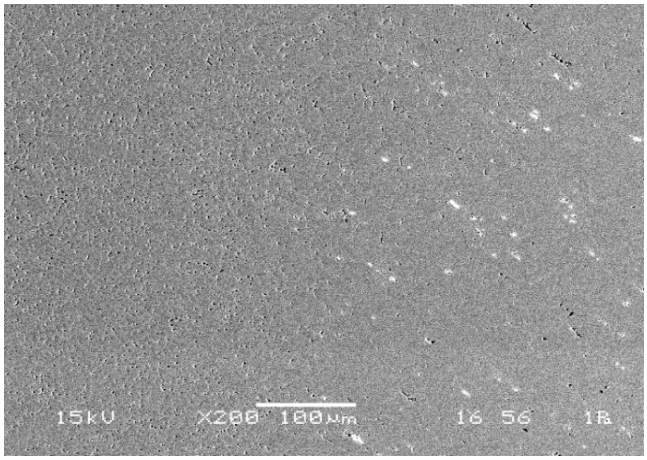


Şekil 8. Farklı kaynak hızlarında mikrosertlik değerleri grafiği (cm/dk).

Şekil 8'deki grafik incelendiğinde, 40, 48, 60, 80 ve 120 cm/dk kaynak hızlarında farklılıkların olduğu ve mikrosertlik değerlerinin kaynak hızına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. En yüksek sertlik değeri, 5754 AlMg alaşımının ana metal bölgesinde tespit edilmiştir.

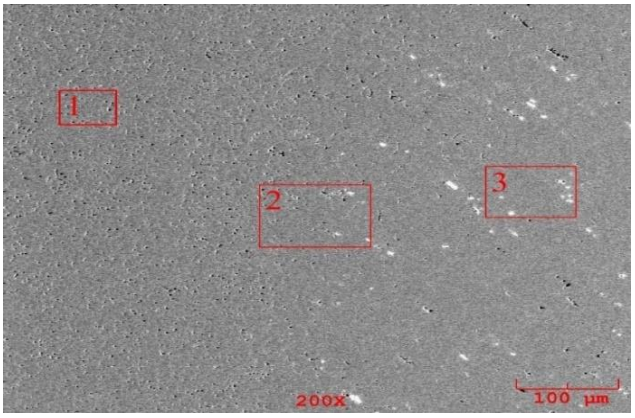
4.5. SEM Görüntüleri ve EDS İncelemesi

Kaynaklı numunelerin farklı bölgelerinden çeşitli SEM görüntüleri alınmış ve bu bölgelerdeki elemental değişimleri belirlemek amacıyla EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. **Şekil 9**, 48 cm/dk kaynak hızında kaynatılan numunenin arayüz bölgesine (5754 – Kaynak Bölgesi) ait SEM görüntüsünü göstermektedir. 5754 ITAB bölgesi ile kaynak bölgesinin farklı mikroyapısal özelliklere sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 9. 48 cm/dk kaynak hızına sahip numunenin arayüz bölgesi (5754 - Kaynak Bölgesi) SEM görüntüsü.

Şekil 10'da, 48 cm/dk kaynak hızında birleştirilen numunenin arayüz bölgesine (5754 - Kaynak Bölgesi) ait bölgesel EDS analizi sunulmaktadır.



Alınan Bölge	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	3,701	-	0,870	0,606	94,823
2	2,545	0,048	0,369	1,158	95,881
3	2,408	0,003	0,289	1,807	95,493

Şekil 10. 48 cm/dk kaynak hızıyla birleştirilen numunenin arayüz bölgesi (5754 - Kaynak Bölgesi) EDS incelemesi.

Şekil 10'da, arayüz bölgesinden elde edilen EDS analiz sonuçları gösterilmektedir. Yapılan incelemede, kaynak metalinde Si elementi ve diğer elementlerin varlığı tespit edilmiştir. Yapıdaki Si'nin temel malzemeden geçtiği düşünülmekte olup, ayrıca Si'nin kaynak metalinde bulunan Mg ile etkileşime girerek Mg_2Si fazını oluşturabileceği öngörülmektedir. Buna ek olarak, 5754 bölgesi ile kaynak bölgesi arasında da elemental değişimlerin meydana geldiği belirlenmiştir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

5754 alüminyum sacların, AlMg4,5Mn kaynak teli kullanılarak soğuk metal transferi yöntemiyle farklı hızlarda alın kaynağı yapılabilirliği incelenmiştir.

Farklı kaynak hızlarında çekme mukavemeti, sertlik ve makro yapı değerlendirmeleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

• Göreceli olarak düşük ısı girdisi nedeniyle temel malzemede sınırlı bir ergime meydana gelmiştir. Kaynak hızının artmasıyla çekme mukavemetinin azaldığı belirlenmiştir.

• Makro yapı incelemelerinde, kaynak hızındaki artışın kaynak üst şapkasının küçülmesine, kaynak kökünün ise küçülmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Mikro yapıdaki farklı bölgelerde ise hız artışıyla yapısal değişiklikler meydana gelmiştir.

• Kaynak hızının artması, bazı bölgelerde temel malzemeden kaynak bölgesine doğru sertlik değerlerinin azalmasına yol açmıştır.

• SEM görüntüleri ve EDS analizleri, kaynak ve ITAB bölgelerinde oluşan ısının mikroyapıyı değiştirdiğini ve elemental difüzyonlara sebep olduğunu ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

Adelkhani, H., Parsayan, F., & Irannejad, L. (2026). Comparative electrochemical study of corrosion behavior of AA 5052 and AA 5754 aluminum alloys in chloride, boric acid, and sulfate media. International Journal of Electrochemical Science, 101432.

Ezequiel, M., Figueroa, I. A., Elizalde, S., Cabrera, J. M., Braham, C., Morin, L., & Gonzalez, G. (2020). Numerical and experimental study of a 5754-aluminum alloy processed by heterogeneous repetitive corrugation and straightening. Journal of Materials Research and Technology, 9(2), 1941–1947.

Florea, R. S., Solanki, K. N., Bammann, D. J., Baird, J. C., Jordon, J. B., & Castanier, M. P. (2012). Resistance spot welding of 6061-T6 aluminum: Failure loads and deformation. Materials & Design, 34, 624–630.

Kisarev, A., Bondarev, K., Vilks, M. V., Vilks, V., Petrovs, V., Moveh, S., & Merchán-Cruz, E. A. (2026). Experimental optimization of robotic CMT welding for 0.5 mm AISI 304 stainless steel under assembly misalignment conditions. Results in Engineering, 110300.

Li, F., Wang, M., Yang, L., Xu, Y., Lin, Q., & Shi, Y. (2026). Contribution of laser surface texturing on Al/Zn-Al-Mg coated steel by CMT weld-brazing joining. International Communications in Heat and Mass Transfer, 179, 112181.

Luo, Z., Ao, S., Chao, Y. J., Cui, X., Li, Y., & Lin, Y. (2015). Application of pre-heating to improve the consistency and quality in AA5052 resistance spot welding. Journal of Materials Engineering and Performance, 24(10), 3881–3891.

Ma, Y., Liu, C., Zhang, S., Xia, H., Li, H., Guo, P., … & He, P. (2026). Welding formation, microstructure and mechanical property evolutions for the laser-CMT hybrid welded joints under various welding speeds. Journal of Materials Research and Technology.

Rajeshkumar, R., Niranjani, V. L., Devakumaran, K., & Banerjee, K. (2021). Fusion boundary microstructure evolution and mechanical properties of cold metal transfer welded dissimilar A5754 and A5083 joint. Materials Letters, 284, 128877.

Torkamany, M. J., Tahamtan, S., & Sabbaghzadeh, J. (2010). Dissimilar welding of carbon steel to 5754 aluminum alloy by Nd: YAG pulsed laser. Materials & Design, 31(1), 458–465.

Zhu, Y., Wang, Y., Bai, J., Tao, D., Yang, S., & Zhu, Z. (2026). Resistance spot welding of 5754 aluminum magnesium alloy via an electrode for optimized current distribution. Materials Characterization, 116547.

DEĞİŞKEN ISI TALEBİNDE DEPO ENERJİ VE GÜÇ SINIRLARININ JEOTERMAL ISITMA KAPASİTESİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Onur Vahip GÜLER[1]

[1]Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

E-posta: onurguler@mu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0910-1743

Özet

Bu çalışmada kısa süreli sıcak su depolamasının, jeotermal ısıtma sisteminin ikincil devresine sağlanması gereken minimum ısıl kapasiteye etkisi incelenmiştir. Araştırma, depo hacminin artırılmasının hangi koşullarda yarar sağladığını ve hangi koşullarda aktarım gücünün belirleyici olduğunu karşılaştırmaktadır. Her biri 14,4 MWh günlük enerjiye sahip üç sentetik yük profili, çevrimsel karma tamsayılı doğrusal optimizasyon modeliyle değerlendirilmiştir. Depo hacmi 0–200 m³ aralığında taranmış; sıcaklık farkı, güç sınırları, transfer verimleri ve zarf kayıpları değiştirilmiştir. 80/40 °C nominal sıcaklıklar ve 0,5 MW şarj/deşarj sınırlarında 50 m³ depo, çift pikli profilde kapasiteyi 1,047 MW'tan 0,605 MW'a düşürmüş; azalma %42,2 olmuştur. Kısa yüksek pikli profilde 0,700 MW sınırını deşarj gücü belirlemiştir. Tepe gücü ve günlük enerjisi sabit dikdörtgen yük ailesi, biriken enerji açığı ile yeniden şarj süresinin etkisini göstermiştir. Hesaplar kayıpsız analitik sınırlarla, bağımsız kapasite hesabıyla ve kayıplı durum denkleminin sayısal integrasyonuyla kontrol edilmiştir. Bulgular, ideal kullanılabilir enerji temsili ve tam yük öngörüsü altında teknik ön boyutlandırma sonuçlarıdır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal bölgesel ısıtma; ısıl enerji depolama; kapasite boyutlandırması; optimizasyon.

EFFECTS OF STORAGE ENERGY AND POWER CONSTRAINTS ON GEOTHERMAL HEATING CAPACITY UNDER VARIABLE HEAT DEMAND

Assist. Prof. Dr. Onur Vahip GÜLER[1]

[1]Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Technology,

Department of Energy Systems Engineering, Muğla, Türkiye

E-mail: onurguler@mu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0910-1743

Abstract

This study examines how short-term hot-water storage affects the minimum thermal capacity that a geothermal heating system must supply to its secondary circuit. It investigates when increasing storage volume is beneficial and when heat-transfer power becomes the limiting factor. Three synthetic load profiles, each with a daily energy demand of 14.4 MWh, are evaluated using a cyclic mixed-integer linear programming model. Storage volume is varied from 0 to 200 m³, with sensitivity analyses covering the usable temperature difference, charging and discharging power limits, transfer efficiencies, and storage envelope heat losses. At nominal hot- and cold-zone temperatures of 80 and 40 °C and charging and discharging limits of 0.5 MW, a 50 m³ tank reduces the required capacity for the double-peaked profile from 1.047 to 0.605 MW, a reduction of 42.2%. For the short, high-peak profile, the discharging power limit imposes a capacity floor of 0.700 MW. A family of rectangular load profiles with fixed peak demand and daily energy demonstrates the effects of the accumulated energy deficit and the available recharging time. The calculations are checked against lossless analytical bounds, an independent capacity calculation, and numerical integration of the storage-state equation with heat losses. The findings provide technical preliminary-sizing results under an idealized usable-energy representation and perfect load foresight.

Keywords: Geothermal district heating; thermal energy storage; capacity sizing; optimization.

DƏB TƏHSİLİNDƏ RƏQƏMSAL TRANSFORMASİYA: GEYİM DİZAYNINDA 3D MODELLƏŞDİRMƏ VƏ SÜNİ İNTELEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ VƏ EFFEKTİVLİYİ

Cəfərli Nəzrin Elçin q

ADPU nəzdində ADPK İxtisasGeyim Dizaynı nazrincf@gmail.com

XÜLASƏ

Bu araştırmada, tekstil ve giyim tasarımı eğitiminde geleneksel kalıp hazırlama ve dikim yöntemlerine alternatif olarak sunulan 3D dijital simülasyon yazılımları (CLO 3D, Browzwear) ile üretken yapay zeka (Generative AI) araçlarının tasarım kalitesi, sürdürülebilirlik ve üretim süreçleri üzerindeki etkisi IMRAD formatına uygun olarak incelenmiştir. Araştırma, moda tasarımı eğitimi alan 60 öğrenci ile 8 haftalık bir deneysel çalışma kapsamında yürütülmüştür. Elde edilen bulgular, dijital prototipleme araçlarının fiziksel numune (sample) üretiminde kumaş israfını %65 oranında azalttığını, tasarım geliştirme süresini %40 hızlandırdığını ve öğrencilerin form-hacim ilişkilendirme becerilerini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Giyim tasarımı, moda eğitimi, 3D dijital prototipleme, CLO 3D, sürdürülebilir moda, yapay zeka, IMRAD.*

ABSTRACT

This empirical study investigates the integration of 3D digital simulation software (e.g., CLO 3D, Browzwear) and Generative AI platforms into apparel design pedagogy. Employing an IMRAD-structured experimental design, the research evaluated 60 fashion design students over an 8-week period, comparing digital prototyping and AI-driven moodboard generation against traditional drafting and manual sampling techniques. Quantitative and qualitative analyses demonstrate that 3D digital draping reduced physical fabric waste by 65%, accelerated the prototyping workflow by 40%, and significantly enhanced students' spatial comprehension of textile mechanics and garment construction.

Keywords: *Apparel design, fashion education, 3D digital prototyping, CLO 3D, sustainable fashion, Generative AI, IMRAD framework.*

Geyim dizaynı və tekstil sənayesi tarixən bədii təxəyyülün, materialşünaslığın və mürəkkəb konstruktiv müəndisliyin kəsişməsində formalaşmışdır. Ənənəvi geyim dizaynı prosesi eskizin çəkilməsi, kağız üzərində lekal/biçim şablonlarının hazırlanması, mulyaj (maneken üzərində formalaşdırma) və sınaq tikilişləri (*proto-sample*) kimi çoxmərhələli, zaman və resurs tələb edən prosedurlardan ibarətdir. Lakin tekstil sənayesinin ekoloji çirklənmədəki yüksək payı və sürətli dəb (*fast fashion*) konseptinin yaraddığı israfçılıq dizayn metodologiyasının yenidən qiymətləndirilməsini zəruri etmişdir.Dördüncü Sənaye İnqilabı (Industry 4.0) şəraitində rəqəmsal geyim dizaynı texnologiyaları — xüsusilə **3D Rəqəmsal Simulyasiya Proqramları** (CLO 3D, Browzwear, Marvelous Designer) və **Generativ Süni İntellekt (GenAI)** alətləri dəb sənayesini və bu sahə üzrə təhsil sistemini köklü şəkildə dəyişdirir. Rəqəmsal əkiz (*digital twin*) texnologiyası sayəsində geyimin fiziki xassələri (kumaşın elastikliyi, ağırlığı, tökülməsi) виртуаль mühitdə dəqiqliklə simulyasiya edilir.Geyim dizaynı təliminda 3D rəqəmsal prototipləşdirmə və süni intellekt texnologiyalarının tətbiqinin dizayn sürətinə, ekoloji dayanıqlılığa (kumaş israfının azalmasına) və tələbələrin konstruktiv-məkan təfəkküründün inkişafına təsirini təcrübi yolla analiz etməkdir.Tədqiqat geyim dizaynı və tekstil yönümlü ixtisaslarda təhsil alan 60 nəfər tələbənin iştirakı ilə 8 həftəlik akademik modulla çərçivəsində həyata keçirilmişdir.Tələbələr ilkin bacarıq testlərinə əsasən iki bərabər qrupa bölünmüşdür:

1. Kontrol Qrupu (n = 30): Kolleksiya konseptinin hazırlanmasını, kağız lekal konstruksiyasını və fiziki parça üzərində sınaq geyiminin (*toile/mock-up*) tikilməsini ənənəvi üsulla icra etmişdir.
2. Təcrübə Qrupu (n = 30): Konseptual siluetlərin generasiyasında süni intellektdən (Midjourney/DALL-E), formanın konstruksiyasında və materialın simulyasiyasında isə CLO 3D proqram təminatından istifadə etmişdir.

Sınaq nümunələrinin hazırlanması zamanı istifadə olunan və tullantıya gedən parça sahəsi (m^2).İlkin konseptual eskizdən hazır siluet görünüşünə qədər sərf olunan saat sayı.Geyimin insan anatomiyasına və hərəkət dinamikasına uyğunluğu (3D gərginlik və təzyiq xəritələri (*tension maps*) vasitəsilə ölçülmüşdür).8 həftəlik sınaq müddətinin sonunda toplanmış kəmiyyət və keyfiyyət göstəriciləri müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir.

Cədvəl 1. *Ənənəvi və rəqəmsal geyim dizaynı metodlarının müqayisəli analizi.*

Ölçmə Parametri	**Kontrol Qrupu (Ənənəvi)**	**Təcrübə Qrupu (3D & AI)**	**Fərq (%) / p-dəyəri**
Ortalama İsraf Olunan Parça (m^2/məhsul)	3.8 m^2	1.3 m^2	**-65.7%** ($p < 0.001$)
Prototip Hazırlama Müddəti (Saat)	24.5 saat	14.7 saat	**-40.0%** ($p < 0.001$)
Siluet Düzəliş Sayı (Iteration)	4.2 dəfə	1.8 dəfə	**-57.1%** ($p < 0.01$)
Anatomik Oturuş Dəqiqliyi (100 bal)	71.4	88.6	**+24.0%** ($p < 0.001$)

3D simulyasiya alətləri tələbələrə parça növünü (məsələn, ipək, cins və ya yun) bir kliklə dəyişərək geyimin dökümünü, qırışma xətlərini və tikş tikişlərinin dinamikasını anında görmək imkanı vermişdir. Süni intellekt dəstəyi isə rəng palitrasının və tekstura kombinasiyalarının seçimində ideya böhranını (*creative block*) aradan qaldırmışdır.Eldə edilən nəticələr rəqəmsal texnologiyaların geyim dizaynında həm ekoloji, həm də iqtisadi baxımdan böyük üstünlüklər təmin etdiyini göstərir. Lakin bu transformasiya bir sıram pedaqoji və sənaye çağırışlarını da bərabərində gətirir:

1. **:** Rəqəmsal mühit nə qədər dəqiq simulyasiya etsə də, tələbələrin materialın real fiziki fakturasını, əl toxunuşunu (*fabric hand-feel*) hiss etməsi dizayn duyğusunun formalaşmasında əvəzolunmazdır.
2. Generativ süni intellektdən istifadə zamanı mövcud dizaynerlərin dəst-xəttinin təkrarlanması və akademik dürüstlük məsələləri etik çərçivələrin müəyyən edilməsini tələb edir.
3. Rəqəmsal dizayn alətləri təkcə rəssamlıq deyil, eyni zamanda texniki parametri, lekalların riyazi açılışını anlayacaq fənlərarası biliklər tələb edir.

NƏTİCƏ

Müasir geyim dizaynerliyi yalnız estetik forma yaratmaq sənəti deyil, texnologiya, ekologiya və mühəndislik sintezidir. 3D prototipləşdirmə və süni intellekt alətlərinin dizayn təhsilinə inteqrasiyası istehsalatda parça israfını 65% azaldır, sınaq müddətini qısaldır və daha dəqiq anatomik uyğunluq təmin edir.

1. Dəb və geyim dizaynı təhsili verən ali və orta ixtisas müəssisələrinin kurikulumlarına "3D Rəqəmsal Dəb və Prototipləşdirmə" fənni daxil edilməlidir.
2. Tələbələrə ənənəvi mulyaj və biçim texnikası ilə rəqəmsal 3D modelləşdirmənin hibrid tətbiqi öyrədilməlidir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Aldrich, W. (2015). *Metric Pattern Cutting for Women's Wear* (6th ed.). Wiley-Blackwell.
2. McKelvey, K., & Munslow, J. (2012). *Fashion Design: Process, Innovation and Practice*. Wiley-Blackwell.
3. Papachristou, E., & Bilalis, N. (2016). Can 3D virtual prototyping replace physical prototypes in the fashion industry? *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 9(1), 86–91.
4. Sayılov, H., & Rüstəmova, L. (2025). Müasir Tekstil Sənayesində Rəqəmsal Proqramların Tətbiqi və Ekologiyaya Təsiri. *Tətbiqi İncəsənət və Dizayn Xəbərləri*, 11(2), 54–62.

FREN BALATASI KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN BİLEŞENLER VE FONKSİYONLARI

Yüksek Lisans Öğrencisi Erdem YILMAZ[1]
Dr. Öğr. Üyesi Arif Hakan YALÇIN[2]
Prof. Dr. İbrahim MUTLU[3]
[1]Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, erdem_yil@hotmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8745-3090
[2]Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, ahyalcin@aku.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-7661-5296
[3]Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, ibrahimmutlu@aku.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-5563-1000

Özet

Fren balataları, taşıtların güvenli bir şekilde yavaşlatılması ve durdurulmasında önemli görev üstlenen sürtünme elemanlarıdır. Frenleme sırasında ortaya çıkan mekanik ve termal yükler, balata malzemelerinin sürtünme kararlılığı, aşınma direnci ve kullanım ömrü açısından belirli performans özelliklerine sahip olmasını gerektirmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan asbestsiz organik fren balataları, farklı işlevlere sahip çeşitli bileşenlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan çok bileşenli kompozit malzemelerdir. Bu çalışmada, fren balatası kompozitlerinde kullanılan temel bileşenler, bu bileşenlerin görevleri ve malzeme performansına etkileri literatür bilgileri doğrultusunda genel olarak değerlendirilmiştir. Fren balatası üretiminde kullanılan malzemeler temel olarak bağlayıcılar, takviye elemanları, dolgu malzemeleri, sürtünme düzenleyiciler ve yağlayıcılar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bağlayıcı olarak yaygın şekilde kullanılan fenolik reçineler, kompozit bileşenlerin bir arada tutulmasını ve yapısal bütünlüğün korunmasını sağlamaktadır. Cam, çelik, aramid ve çeşitli bitkisel kökenli lifler gibi takviye elemanları, malzemenin mekanik dayanımına ve yapısal kararlılığına katkıda bulunmaktadır. Barit ve benzeri dolgu malzemeleri, kompozit yapının fiziksel özelliklerinin ve üretim maliyetinin düzenlenmesinde görev alırken, alümina gibi aşındırıcı bileşenler sürtünme yüzeyindeki etkileşimleri düzenlemektedir. Grafit gibi katı yağlayıcılar ise sürtünme davranışının kontrol edilmesine ve aşınma mekanizmalarının düzenlenmesine katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, bileşenlerin frenleme performansı üzerindeki etkileri yalnızca kendi özelliklerine değil, kompozit içerisindeki oranlarına, parçacık boyutlarına ve diğer bileşenlerle etkileşimlerine de bağlıdır. Bu nedenle fren balatası tasarımında malzeme bileşenlerinin uygun şekilde seçilmesi ve birbirleriyle uyumlu oranlarda kullanılması önem taşımaktadır. Sonuç olarak, fren balatası kompozitlerinde kullanılan bileşenlerin işlevlerinin ve aralarındaki etkileşimlerin anlaşılması; sürtünme kararlılığı, aşınma direnci, termal dayanım ve kullanım ömrü bakımından uygun özelliklere sahip fren malzemelerinin geliştirilmesine bilimsel temel oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Fren balatası, kompozit malzemeler, fenolik reçine, sürtünme, aşınma.

COMPONENTS AND FUNCTIONS USED IN BRAKE PAD COMPOSITES

Master's Student Erdem YILMAZ[1]
Assist. Prof. Dr. Arif Hakan YALÇIN[2]
Prof. Dr. İbrahim MUTLU[3]
[1]Afyon Kocatepe University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Automotive Engineering, erdem_yil@hotmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8745-3090
[2]Afyon Kocatepe University, Department of Transportation Services, ahyalcin@aku.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-7661-5296
[3]Afyon Kocatepe University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering, ibrahimmutlu@aku.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-5563-1000

Abstract

Brake pads are friction elements that play a crucial role in the safe deceleration and stopping of vehicles. The mechanical and thermal loads generated during braking require brake pad materials to possess specific performance characteristics in terms of friction stability, wear resistance, and service life. Asbestos-free organic brake pads, commonly used today, are multi-component composite materials formed by combining various components with different functions. In this study, the basic components used in brake pad composites, their functions, and their effects on material performance are generally evaluated in light of the literature. Materials used in brake pad production are primarily classified as binders, reinforcing elements, fillers, friction modifiers, and lubricants. Phenolic resins, commonly used as binders, ensure the cohesion of composite components and the preservation of structural integrity. Reinforcing elements such as glass, steel, aramid, and various plant-derived fibers contribute to the mechanical strength and structural stability of the material. Barite and similar fillers play a role in regulating the physical properties and production cost of the composite structure, while abrasive components such as alumina regulate the interactions on the friction surface. Solid lubricants, such as graphite, can contribute to controlling friction behavior and regulating wear mechanisms. However, the effects of components on braking performance depend not only on their individual properties but also on their proportions within the composite, particle sizes, and interactions with other components. Therefore, the appropriate selection of material components and their use in compatible ratios are crucial in brake pad design. Consequently, understanding the functions of the components used in brake pad composites and their interactions provides a scientific basis for developing brake materials with suitable properties in terms of friction stability, wear resistance, thermal resistance, and service life

Keywords: Brake pad, composite materials, phenolic resin, friction, wear.

DEMİRYOLU ALTYAPISINDA MENFEZ TASARIMI, YENİLENMESİ VE İMALAT YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İnş. Müh. Ali PAMUKÇU[1]/ Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK[2]

[1]TCDD, Demiryolları Altyapı ve Üstyapısı, alipamukcu@tcdd.gov.tr, ORCID: 0009-0005-3004-4164

[2]Munzur Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., hilalarslanoglu@munzur.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8878-8984

Özet

Demiryolu ulaşımı, yüksek taşıma kapasitesi, güvenilirliği ve özellikle uzun mesafeli taşımacılıkta sunduğu ekonomik avantajlar nedeniyle önemli bir ulaşım sistemidir. Demiryolu sistemleri genel olarak altyapı ve üstyapı olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır. Altyapının taşıma kapasitesi ve stabilitesi, hattın güvenli ve sürdürülebilir işletilmesi açısından belirleyici olup, tasarım aşamasında jeomorfolojik, hidrolojik ve geoteknik koşulların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda zemin taşıma kapasitesi ve stabilitesinin belirlenmesi, altyapı drenaj sistemlerinin tasarlanması ve gerekli sanat yapılarının uygun tip ve kesitlerde projelendirilmesi önem taşımaktadır.

Menfezler, demiryolu ve karayolu güzergâhlarında yüzeysel akışların güvenli şekilde yolun bir tarafından diğer tarafına aktarılmasını sağlayan ve altyapının su etkilerine karşı korunmasında önemli rol üstlenen hidrolik yapılardır. Menfezlerin yetersiz kapasitede olması veya zaman içerisinde yapısal ve hidrolik işlevini kaybetmesi, demiryolu altyapısında deformasyon, stabilite kaybı ve işletme güvenliği açısından çeşitli risklere neden olabilmektedir. Bu nedenle, işletme hâlindeki demiryolu hatlarında kullanım ömrünü tamamlayan veya muayeneler sonucunda yetersiz olduğu belirlenen menfezlerin yenilenmesi öncesinde güncel ve geçmiş veriler dikkate alınarak hidrolik hesapların yeniden yapılması gerekmektedir.

Menfez yenileme ve imalatı için fizibilite çalışmaları sonrasında proje üretim esnasında saha verileri ile birlikte kurumsal tecrübe ve teknik personel bilgi birikimi birleştirildiğinde en avantajlı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada mevcut araştırmalar incelenerek; demiryolu altyapısında yeni menfez inşası veya çeşitli sebeplerle menfez yenilemesi gerektiği durumlarda, menfez tipi ve imalat yöntemi seçiminde tüm değişkenler ayrı ayrı değerlendirilerek DSİ hidrolik veri hesaplamaları ışığında kullanılması gereken yöntem ve seçim kriterlerine yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Demiryolu, sanat yapıları, menfez, menfez imalatı

EVALUATION OF CULVERT DESIGN, REHABILITATION, AND CONSTRUCTION METHODS IN RAILWAY INFRASTRUCTURE

Abstract

Railway transportation is an important mode of transport due to its high carrying capacity, reliability, and economic advantages, particularly for long-distance transportation. Railway systems generally consist of two main components: infrastructure and superstructure. The load-bearing capacity and stability of the infrastructure are critical for the safe and sustainable operation of railway lines. Therefore, geomorphological, hydrological, and geotechnical conditions should be evaluated comprehensively during the design stage. In this context, determining the bearing capacity and stability of the ground, designing infrastructure drainage systems, and planning the required engineering structures with appropriate types and cross-sections are of particular importance.

Culverts are hydraulic structures constructed along railway and highway routes to safely convey surface runoff from one side of the transportation corridor to the other and to protect the infrastructure against the adverse effects of water. Insufficient hydraulic capacity or the deterioration of their structural and hydraulic functions over time may result in deformation, loss of stability, and various risks to the operational safety of railway infrastructure. Therefore, before the rehabilitation or replacement of culverts that have reached the end of their service life or have been identified as inadequate during inspections on operational railway lines, hydraulic calculations should be revised based on both historical and current data.

Integrating field data, institutional experience, and technical expertise into culvert rehabilitation and construction projects can contribute to more effective and appropriate solutions. This study reviews the methods and selection criteria for the construction of new culverts and the rehabilitation of existing culverts in railway infrastructure. Culvert type and construction method are evaluated considering hydraulic requirements, existing infrastructure conditions, technical feasibility, and operational constraints, with reference to hydraulic data and calculation approaches provided by the State Hydraulic Works (DSİ). The study aims to contribute to the systematic selection of appropriate culvert types and construction methods in railway infrastructure.

Keywords: Railway, engineering structures, culvert, culvert construction

1. INTRODUCTION

Railway transportation is an important mode of transport owing to its high carrying capacity, reliability, and economic advantages, particularly over long distances. Ensuring the safety and long-term performance of railway infrastructure requires appropriate assessment of geotechnical, hydrological, and geomorphological conditions, together with effective drainage and hydraulic structures. In this context, culverts play a critical role in conveying surface runoff beneath railway corridors and protecting the track infrastructure against water-related hazards. Insufficient hydraulic capacity or deterioration of existing culverts may adversely affect track stability and operational safety. Therefore, hydraulic assessments based on both historical and current data should be conducted before the rehabilitation or replacement of existing culverts (İnan & Demir, 2017; Özkan, 2022).

This study focuses on culverts located within railway infrastructure, which constitutes one of the oldest and most reliable modes of land transportation. Railway culverts, as frequently utilized engineering structures among the various types of railway infrastructure, are examined with particular emphasis on structures exposed to potential flood hazards and those that have reached the end of their service life. For culverts planned for rehabilitation or replacement, site characteristics, geomorphological conditions, hydrological parameters, and other relevant data are investigated, and flood return-period analyses are conducted based on current meteorological records. In addition, structural and hydraulic assessments are performed to support the development of appropriate design solutions. Based on the resulting calculation reports and considering the remaining or completed service life of the existing structures, alternative design and rehabilitation methods are evaluated. Accordingly, the study emphasizes culvert renewal approaches that can provide safe, economical, and practical solutions while maintaining railway operations without compromising train traffic safety or causing unnecessary service interruptions (URL-1, 2025).

An assessment of railway culverts and previously implemented construction practices indicates that several interrelated factors should be taken into account when constructing or rehabilitating a culvert under active railway operations. These factors include flood-risk assessment, hydraulic comparisons based on field observations, site-specific ground conditions, the discharge volume to be conveyed, the intended function of the culvert, train traffic conditions, potential train delays, weather conditions, and the availability of logistical support. Accordingly, the culvert rehabilitation method and structural type should be determined following a comprehensive assessment of these parameters and the completion of the required hydraulic calculations. Figure 1 presents an arch culvert located within a stream channel.

This study was primarily developed based on relevant technical documents, particularly the TCDD Track Maintenance Manual and the Principles of Bridge and Culvert Inspection for Railways. A preliminary review of the literature indicates that scientific publications addressing the design, construction, rehabilitation, and inspection of railway culverts are relatively limited. This scarcity highlights the importance of evaluating existing technical practices together with the available scientific literature.

Figure 1. Arch Culvert Constructed in a Stream Channel

2. METHODOLOGY

Periodic inspections are conducted within the jurisdiction of the 4th Regional Directorate of the Turkish State Railways (TCDD) to identify culverts that have reached the end of their service life or require maintenance. A total of 5,304 bridges and culverts are located along the Kayseri–Sivas, Divriği–Kars–Border, and Samsun–Kalın railway sections. The Road Service Directorate of the TCDD 4th Regional Directorate carries out regular inspections and assessments of railway infrastructure and superstructure. Within this framework, field investigations and condition assessments are performed both to support TCDD maintenance activities and to provide the technical basis for the present study (TCDD, 2016).

With a history spanning approximately 170 years, TCDD has developed extensive institutional experience in maintaining the safety of the railway network and expanding its operational infrastructure. The organization employs specific construction techniques, technical standards, and implementation practices that are distinctive to railway infrastructure. Since some of these practices are not widely applied in the broader construction sector, railway-related technical knowledge has remained relatively specialized within the institution. Consequently, scientific studies, research and development activities, and publicly available technical data concerning railway infrastructure are comparatively limited (URL-2, 2025)

The principal institutional references to be used in the development of this study include the TCDD Track Maintenance Manual and the Principles for the Inspection of Railway Bridges and Culverts**.** Preliminary assessments indicate that the number of scientific publications directly addressing the specific railway construction and inspection practices considered in this study is relatively limited. Figure 2 illustrates a culvert with a steel deck.

Figure 2. Steel-deck culvert

3. RESULTS

One of the primary objectives of railway maintenance activities is to ensure the continuous and reliable performance of infrastructure and superstructure components while extending their service life as far as

practicable. Nevertheless, culverts, like other engineering structures within railway systems, are subject to deterioration and have a finite service life. Therefore, their condition should be regularly monitored, and maintenance, rehabilitation, or replacement interventions should be implemented when necessary to prevent unexpected structural or operational problems. Figure 3 shows a corrugated steel culvert (TCDD HBEK, 2021) For a culvert requiring complete replacement, one of the most economical alternatives is to close the railway line, remove the existing track superstructure, and construct the new culvert at its original location. Where train operations are limited and temporary closure of the relevant line section can be implemented without significant operational consequences, this approach can be considered a safe and cost-effective method for culvert renewal (Fig. 3 & Fig. 4) (Koçtürk, 2015).

Figure 3. Corrugated steel culvert

Figure 4. Culvert installation with a spiral corrugated steel pipe

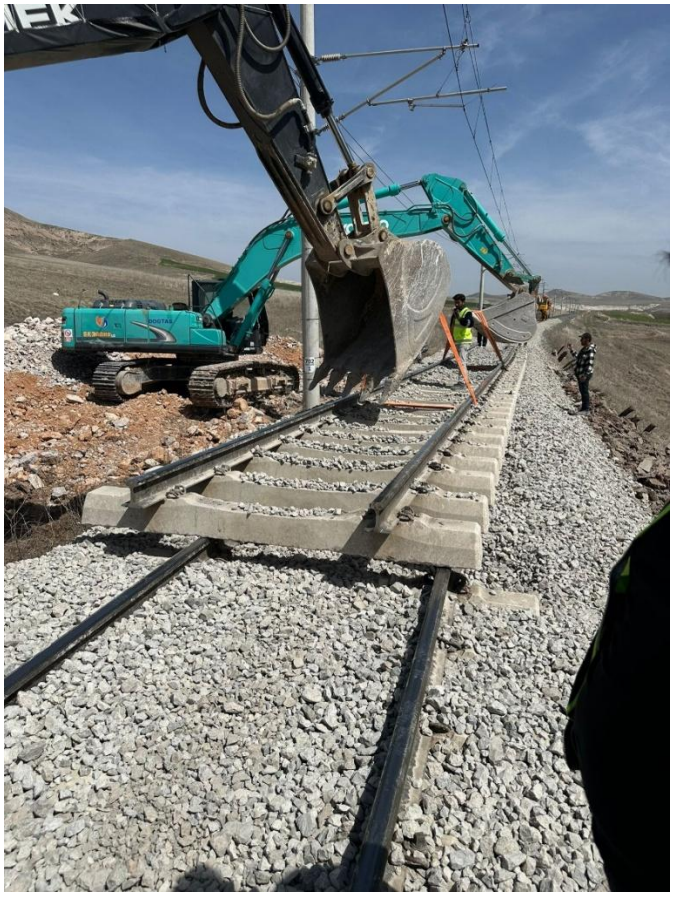


Figure 5. Removal of the railway track for the construction of a cast-in-place culvert

When closure of the railway line to train operations is not feasible, culvert construction can be carried out by establishing a temporary diversion track alongside the existing railway alignment at the construction location. This approach can be implemented without significantly interfering with train movements, even when traffic frequency is relatively low, and may provide an economical solution by eliminating the need for suspension systems and similar supporting arrangements (Fig. 5) (DDGM, 2016).

In cases where the construction site does not provide sufficient space for additional excavation, embankment works, or the establishment of a temporary diversion route, new culverts can be constructed while maintaining railway operations by using a steel suspension system. This method is widely applicable and allows construction activities to proceed without interrupting train traffic. The design of the steel suspension arrangement is determined by considering several operational and site-specific factors, including train frequency, the volume of freight transported along the relevant railway section, axle loads, the alignment characteristics of the track (tangent or curved sections), and local ground conditions.

For implementation, the suspension system is transported to the culvert construction site and installed on the existing track foundation following removal of the railway superstructure. The track is subsequently reconstructed on the steel suspension system using rails without ballast and sleepers, thereby allowing train operations to continue. Once the temporary support system has restored the operational continuity of the track, the existing culvert beneath the railway can be demolished and the newly designed concrete culvert can be constructed without requiring a complete interruption of railway traffic (Fig. 6, Fig. 7).

Figure 6. Suspension system ınstalled on the railway track

Figure 7. Culvert construction beneath the suspension system

Based on the data provided by the State Hydraulic Works (DSİ) and the findings obtained through field investigations, where the need for a culvert is identified at a location without an existing structure, horizontal directional drilling may be considered as an alternative construction method to those described above.

This technique is particularly applicable in areas with intensive railway traffic, where closing the line is not a viable option, and at locations with high embankments where the use of a suspension system is impractical. In such cases, steel or reinforced concrete pipes can be installed through horizontal drilling to establish the required water passage beneath the railway line.

Horizontal drilling enables an underground passage to be created beneath the railway, after which steel or concrete pipes can be inserted to provide the necessary conveyance and discharge of water. However, this method is not suitable for the construction of all culvert types. Since the available working space is limited, conventional concrete casting or the construction of box culverts may not be feasible. Although horizontal drilling provides an effective solution for ensuring water conveyance beneath railway sections constructed on high embankments, its relatively high cost and the specialized skills required for execution mean that it is generally not preferred as a first-choice method (Fig. 8)

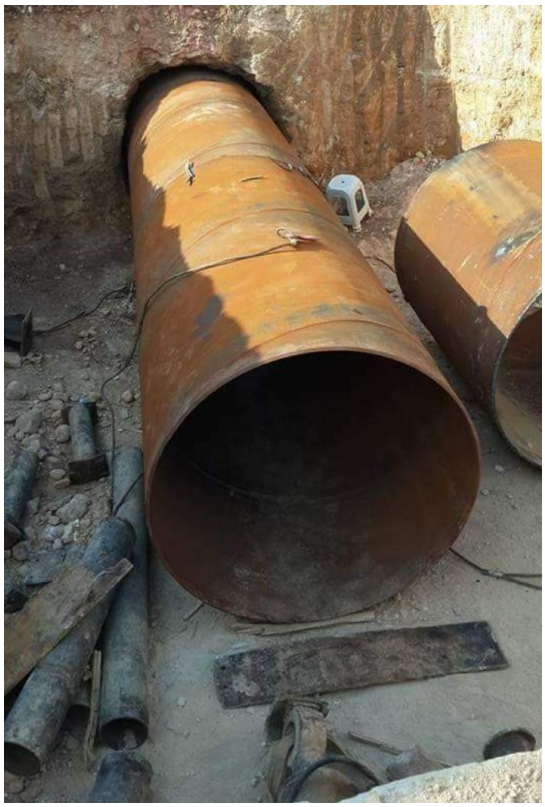


Figure 8. Installation of a steel pipe using the horizontal drilling method

4. CONCLUSIONS, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

Culverts constitute a critical component of railway infrastructure and are essential for maintaining safe, durable, and efficient railway operations. They perform important functions in several areas, including water conveyance and management, ground stability, environmental protection, and transportation safety. Accordingly, culverts should not be regarded merely as structural elements of the railway platform; rather, they represent integral components that contribute to the overall reliability and functionality of the railway system.

The function of railway culverts extends beyond providing uninterrupted passage for surface water at locations where railway lines intersect natural drainage channels. Subject to the necessary approvals, culverts may also be utilized for under-track crossings required for agricultural activities or the passage of utility and energy lines. However, for culverts originally designed solely for surface-water conveyance, such under-track crossings should only be permitted after the hydraulic capacity and relevant technical requirements have been reassessed.

The long operational history of TCDD, extending over more than a century, demonstrates the need for continuous adaptation to changing technical requirements, emerging technologies, and evolving operational conditions. From this perspective, railway infrastructure includes numerous examples of both currently utilized and outdated culvert types and construction practices. This situation highlights the importance of evaluating existing applications and adopting more appropriate solutions in accordance with contemporary engineering practices.

Precast and cast-in-place box culverts offer several advantages, including their adaptability to variable and moving loads, ease of installation, and structural quality and durability. Corrugated steel culverts, on the other hand, can provide considerable practical advantages where construction time is a critical factor. Nevertheless, their application across all railway sections may be restricted by relatively high manufacturing costs and the requirement for extensive construction equipment.

The most appropriate solutions can be achieved when field data obtained during feasibility studies are integrated with institutional experience and the technical knowledge of engineering personnel throughout the design process. Based on the overall assessment, when a new culvert is required or an existing culvert must be renewed for various reasons, the selection of culvert type and construction method should be based on a comprehensive evaluation of all relevant variables. In this process, site conditions, operational requirements, technical feasibility, and other applicable constraints should be assessed individually and collectively, while hydraulic calculations and data provided by the State Hydraulic Works (DSİ) should constitute an important basis for the final selection.

KAYNAKLAR

DDGM, 2016. Demiryolu Altyapısı Asgari Sınır ve Şartları

İnan M. & Demir M., 2017. Demiryolu ulaşımı ve Türkiye'de hızlı tren yatırımlarının etkileri: Eskişehir-Konya Örneği. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 27 (1):99-120

Koçtürk B., 2015. Altyapı ve Korunması TCDD Yayınları.

Özkan B., 2022. Ulaştırma sistemleri altyapılarının SPSS ile analizi, 51s.

TCDD HBEK, 2021. Hat Bakım El Kitabı.

TCDD, 2016. TCDD Genel Müdürlüğü Hizmet İçi Eğitim Ders Notları "Yol Bakım ve Tamiratı"

URL-1, 2025. https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/istrapor/2020sektor.pdf Erişim Tarihi: 10.01.2025

URL-2, 2025. https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/istrapor/2021sekrorr.pdf Erişim Tarihi: 10.01.2025

TARİHİ BİNALARDAKİ AHŞAP TAŞIYICI ELEMANLARIN TASARIMININ GÜNCEL AHŞAP YAPI YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Fatma ÜLKER PEKER[1]

[1] Malatya Turgut Özal Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mühendisliği, fatma.peker@ozal.edu.tr, 0000-0002-0805-4367

Özet

Ahşap yapılar, yapıldıkları bölgenin yerel mimari ve kültürel özelliklerini yansıtan, yüksek dayanım, düşük ağırlık ve sürdürülebilirlik potansiyeline sahip yapılardır. Ahşabın doğal dokusu ve işlenebilirliği mimari tasarıma katkı sağlarken, fiziksel ve mekanik özellikleri yapısal bakımdan avantajlar sunmaktadır. Bu yapıların kullanımında yapısal güvenliğin sağlanması amacıyla, temel mühendislik esasları ve yürürlükteki ahşap yapı yönetmeliği doğrultusunda değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda TS 647, ahşap yapıların hesap ve yapım kurallarını tanımlayan temel yönetmeliklerden biridir. Yayımlanmasından itibaren kırk yılı aşkın süre boyunca Türkiye'de ahşap yapıların tasarımında başvurulan bu yönetmelik, taşıyıcı elemanların boyutlandırılması, birleşimlerin tasarımı ve emniyet gerilmelerine göre değerlendirilmesine ilişkin temel hesap esaslarını içermektedir. Bununla birlikte, hesap yöntemleri ve ahşap yapı teknolojilerindeki gelişmeler, bu standardın güncel tasarım gereksinimlerini karşılama açısından sınırlılıklarını ortaya çıkarmış ve daha kapsamlı hesap esaslarına duyulan ihtiyacı artırmıştır. 2025 yılında yürürlüğe giren Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ABTHYE-2025), ahşap yapıların tasarımına ilişkin güncel hesap esaslarını içermektedir. Bu yönetmelik, ahşap taşıyıcı elemanların boyutlandırılması ve birleşimlerin tasarımına ilişkin hesap ve uygulama esaslarını sınır durumlar yaklaşımına göre tanımlamakta; dayanım, stabilite ve kullanılabilirlik koşullarını birlikte ele almaktadır. Bu çalışmada, 2023 Kahramanmaraş depremlerini hasarsız veya az hasarla atlatan tarihi binalardaki ahşap taşıyıcı elemanların tasarımı, ABTHYE-2025'te tanımlanan hesap esasları doğrultusunda incelenmektedir. Ahşap elemanların tasarım esasları dikkate alınarak dayanım, stabilite ve kullanılabilirlik kontrollerine dayalı hesap yaklaşımı ele alınmaktadır. Yönetmeliğin kapsamı ve sınırları gözetilerek, hesaplarda kullanılan kabuller ve uygulamada dikkate alınması gereken sınırlamalar tartışılmaktadır. Çalışma, tarihi binaların ahşap taşıyıcı elemanlarına ilişkin tasarım kararlarının, yapıya özgü koşullar ve güncel hesap esasları birlikte gözetilerek geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ahşap yapılar, tarihi binalar, ABTHYE-2025

INVESTIGATION OF THE DESIGN OF TIMBER LOAD-BEARING MEMBERS IN HISTORICAL BUILDINGS ACCORDING TO THE CURRENT TIMBER BUILDING REGULATION

Abstract

Timber structures reflect the local architectural and cultural characteristics of the regions in which they are built and offer high strength, low weight, and sustainability potential. While the natural texture and workability of timber contribute to architectural design, its physical and mechanical properties provide structural advantages. To ensure structural safety, these structures should be assessed in accordance with fundamental engineering principles and the current timber building regulation. In this context, TS 647 has long been one of the fundamental standards defining the calculation and construction rules for timber structures. Having been used in the design of timber structures in Türkiye for more than forty years since its publication, this standard includes the basic calculation principles for the dimensioning of load-bearing members, the design of connections, and assessment based on allowable stresses. However, developments in calculation methods and timber construction technologies have revealed the limitations of this standard in meeting current design requirements and have increased the need for more comprehensive calculation principles. The Regulation on the Design, Calculation and Construction Principles of Timber Buildings (TTBR-2025), which entered into force in 2025, includes current calculation principles for the design of timber structures. This regulation defines the calculation and application principles for the dimensioning of timber load-bearing members and the design of connections according to the limit states approach, considering strength, stability, and serviceability requirements together. In this study, the design of timber load-bearing members in historical buildings that experienced no damage or only slight damage during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes is examined in accordance with the calculation principles defined in TTBR-2025. Considering the design principles for timber members, a calculation approach based on strength, stability, and serviceability checks is discussed. Taking into account the scope and limitations of the regulation, the assumptions used in the calculations and the limitations that should be considered in practice are evaluated. The study contributes to the development of design decisions for timber load-bearing members in historical buildings by considering both structure-specific conditions and current calculation principles.

Keywords: Timber structures, historical buildings, TTBR-2025

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE DYNAMIC RESPONSE OF AN INVERTED SLIDER–CRANK MECHANISM UNDER UNIDIRECTIONAL CUTTING LOAD

Dr. Çağlar SEVİM

Niğde Ömer Halisdemir University, Mechanical Engineering, caglar.sevim@ohu.edu.tr,

0000-0001-6456-5949

Abstract

In this study, the effect of a unidirectional cutting load on the dynamic behavior of an inverted slider-crank mechanism was numerically investigated. The equation of motion of the mechanism, formulated using the Lagrange method, was solved using the Runge–Kutta method under continuous motor drive. The distance between the fixed bearings was set to 0.65 m, and the cutting load was applied after 2 s in the 10 s analyses. A force was applied to the tip of the output link in the +Y direction only during the downward cutting stroke, while the return stroke remained unloaded. The crank angular velocity and acceleration, motor torque, relative slider motion, and work performed per cycle were compared for cutting force values of 0, 10, 20, and 30 N. The results for the final completed crank revolution showed that, as the cutting force increased from 0 N to 30 N, the average crank angular velocity decreased from 12.37536 rad/s to 12.14964 rad/s, corresponding to a 1.82% reduction. Under the same conditions, the average motor torque increased from 0.16671 N·m to 1.90442 N·m, the cutting stroke duration increased by 3.28%, and the average tangential velocity of the tip during the cutting stroke decreased by 3.18%. While the return stroke duration remained at approximately 0.22012 s, the cutting work per cycle under a 30 N load was calculated as 11.07692 J. The findings showed that, under the investigated conditions, the effect of the cutting load occurred predominantly during the cutting stroke and that the mechanism maintained its rotational motion with an increase in motor torque.

Keywords: Inverted slider-crank mechanism, unidirectional cutting load, dynamic analysis, motor torque, Runge–Kutta method.

1. Introduction

Mechanisms that convert rotary motion into oscillatory or reciprocating motion are fundamental components of machine systems requiring repetitive operations. In these systems, the working and return strokes occurring under different loading conditions directly affect the dynamic behavior of the mechanism. Particularly in applications where the cutting process is performed during only one stroke, the engagement and disengagement of cutting resistance within the cycle cause variations in drive torque and motion speed. Evaluating the motor torque–speed characteristics together with the loads acting on the mechanism is important for determining these variations. Therefore, investigating the behavior of inverted slider-crank mechanisms under unidirectional cutting loads contributes to understanding the effects of the load on the motion characteristics and the mechanical work supplied by the motor throughout the cycle.

The dynamic behavior of quick-return mechanisms, motor–mechanism interaction, and motion control during cutting have been investigated in various studies. Fung and Chen (1997) formulated the equations of motion of a quick-return mechanism driven by a direct current motor using Hamilton's principle and the method of Lagrange multipliers; they developed a modified PID controller to reduce fluctuations in the crank angular velocity in cases with and without the cutting force. Fung et al. (2000) analyzed the kinematics of a quick-return mechanism driven by a permanent magnet synchronous servomotor and proposed a fuzzy neural network-based approach for motion control of the mechanism. The effectiveness of the proposed control approach was evaluated experimentally. Ha et al. (2006) considered mass, external force, and the electrical inputs of the motor together in the dynamic model of a servomotor-driven slider-crank mechanism. The numerical results of the model, formulated using a single independent variable, were compared with experimental motion data. Mohammadzadeh et al. (2007) performed the synthesis and dynamic analysis of a four-bar quick-return mechanism in MATLAB and Simulink. They calculated the variations in the angular position, velocity, and acceleration of the mechanism under a specified motor torque using Lagrange's equations.

In a subsequent study focusing on the cutting motion, Perrusquía et al. (2022) developed an optimal sliding mode control method to ensure a constant cutting speed in quick-return mechanisms. A velocity profile dependent on the mechanism and workpiece geometry was established, and the approach was experimentally evaluated on a prototype. Sevim and Uzmay (2022) solved the equation of motion of a slider-crank mechanism using the Runge–Kutta method and investigated the speed variation at the drive shaft by comparing the resulting dynamic response with encoder measurements. Gong et al. (2022) performed kinematic and dynamic analyses of a Whitworth quick-return mechanism and compared the forces and moments obtained from distributed and

lumped mass models with the results of a multibody dynamics solution. They showed that the method used to model the mass distribution particularly affects the joint reaction forces. Taken together, these studies highlight the importance of considering the motion characteristics of the mechanism together with motor actuation, loading conditions, and the dynamic model. In this context, evaluating the effects of the resistive force applied only during the cutting stroke on crank motion, motor torque, stroke durations, and mechanical work per cycle will contribute to understanding the operating behavior under load.

In this study, the dynamic response of an inverted slider-crank mechanism operating under continuous motor drive to a unidirectional cutting load was numerically investigated. The equation of motion, formulated using the Lagrange approach, was solved in MATLAB using the Runge–Kutta method, taking into account the motor torque–speed characteristics. A representative cutting force was applied in the constant +Y direction; the force was activated only during the cutting stroke, while the return stroke remained unloaded. By comparing the unloaded condition with cutting loads of 10, 20, and 30 N, variations in the crank angular velocity and acceleration, motor torque, relative slider motion, and cutting power were evaluated. Furthermore, the effects of the cutting load on the cycle characteristics of the mechanism were determined by calculating the cutting and return stroke durations, mean tangential tip speed during the cutting stroke, cutting work, and net motor work based on the final complete crank revolution.

2. Mathematical Model and Numerical Solution

2.1. Mechanism kinematics and equation of motion

Figure 1 illustrates the geometry, motion variables, and point of application of the cutting force for the inverted slider-crank mechanism under study. The links of the mechanism were assumed to be rigid, and the motion was defined by the crank angle θ, selected as the generalized coordinate. The crank length is denoted by r, the distance between the fixed joints by d, and the distance between the fixed joint of the output link and the force application point by L.

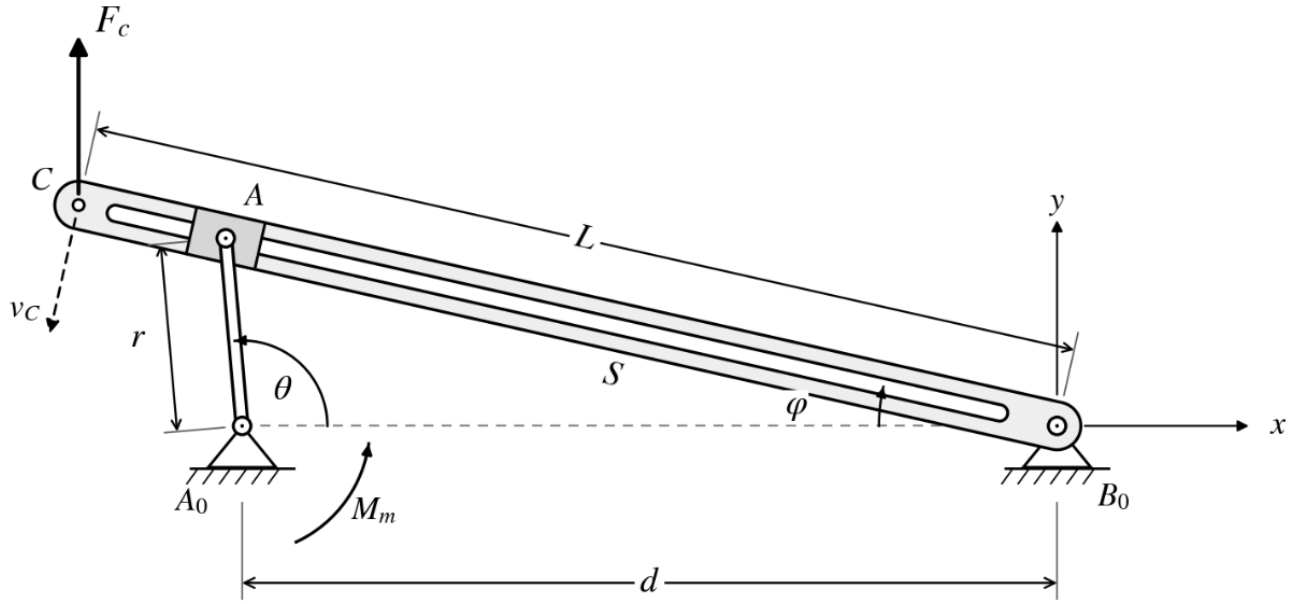


Figure 1. Geometry, motion variables, and application of the cutting force for the inverted slider-crank mechanism

In the numerical model, the crank length (r) was taken as 0.15 m, the distance between the fixed joints (d) as 0.65 m, and the length of the output link up to the force application point (L) as 0.80 m. The geometric dimensions, link masses, and moments of inertia of the mechanism are presented in Table 1.

Based on the mechanism geometry, the relative slider position (S) and the angular position of the output link (φ) were calculated using the following expressions:

$$S(\theta) = \sqrt{r^2 + d^2 - 2.r.d.\cos\theta} \quad (1)$$

$$\varphi(\theta) = \tan^{-1}\left(\frac{r.\sin(\theta)}{d - r.\cos(\theta)}\right) \quad (2)$$

When the fixed joint of the output link is selected as the coordinate origin, the position vector of point C, where the force is applied, is expressed as follows:

$$x_c = -L.\cos(\varphi) \quad and \quad \dot{x}_c = L.\sin(\varphi).\dot{\varphi} \quad (3)$$

$$y_c = L.sin(\varphi) \quad and \quad \dot{y}_c = L.\cos(\varphi).\dot{\varphi} \quad (4)$$

Table 1. Geometric and physical parameters of the mechanism

Parameter	Value	Unit
$\boldsymbol{r = A_0A}$	0.15	m
$\boldsymbol{d = A_0B_0}$	0.65	m
$\boldsymbol{L = B_0C}$	0.80	m
$\boldsymbol{A_0G_2}$	0.075	m
$\boldsymbol{B_0G_4}$	0.40	m
$\boldsymbol{m_2}$	0.25	kg
$\boldsymbol{m_3}$	0.50	kg
$\boldsymbol{m_4}$	1.50	kg
$\boldsymbol{I_2}$	0.00080	kg·m²
$\boldsymbol{I_3}$	0.00016	kg·m²
$\boldsymbol{I_4}$	0.060	kg·m²
$\boldsymbol{g}$	9.80665	m/s²

link 2 (crank), link 3 (slider), link 4 (output)

The derivative of the angular position of the output link with respect to the crank angle and the signed tangential velocity of point C were determined using the following expressions:

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{r.(d.\cos(\theta) - r)}{r^2 + d^2 - 2.r.d.\cos(\theta)} \tag{5}$$

$$v_c = L.\frac{d\varphi}{d\theta}.\dot{\theta} \tag{6}$$

Here, the sign of v_c indicates the direction of motion of the output link. In the loading condition investigated, the stroke for which $v_c < 0$ was defined as the cutting stroke, whereas the stroke for which $v_c > 0$ was defined as the unloaded return stroke.

The equation of motion of the mechanism, derived using the Lagrange approach, was expressed in the following form by considering the motor torque, equivalent cutting torque, and viscous damping torque:

$$I_{eq}(\theta).\ddot{\theta} + \frac{1}{2}\frac{dI_{eq}}{d_\theta}.\dot{\theta}^2 + \frac{dV}{d\theta} = M_m(\dot{\theta}) + Q_{cut} - c.\dot{\theta} \tag{7}$$

Here, $I_{eq}(\theta)$ represents the equivalent inertia term obtained by reducing the masses and moments of inertia of the links to the crank coordinate; V represents the gravitational potential energy; M_m represents the motor torque; and Q_{cut} represents the generalized torque of the cutting force applied at the tip, referred to the crank coordinate. The inertia and potential energy expressions of the existing model were retained (Sevim & Uzmay, 2022), and the effect of the cutting force was incorporated into the equation of motion through the Q_{cut} term.

$$M_m = \frac{M_d}{1 + (s_d - s)^2\left(\frac{a}{s} - bs^2\right)} \tag{8}$$

Here, $s = 1 - (\frac{n}{n_s})$ denotes the slip, M_d=14.91 N·m is the breakdown torque, n is the instantaneous motor speed, and n_s=118.4 rpm is the synchronous speed. The motor-model constants were taken as s_d=0.315, a=1.565, and b=1.380. The drive source represented in the model was a 1.5 kW GAMAK asynchronous motor. The motor torque was calculated using the torque–speed relationship of the motor used, and the motor remained active throughout the entire operating period. The viscous damping coefficient was assumed to be c = 0.01 N·m·s/rad for all loading conditions.

2.2. Modeling the unidirectional cutting load

The cutting process was modeled by a representative resistive force applied at point C of the output link. The force was defined in the constant +Y direction, thereby ensuring that energy was extracted from the mechanism. The model represents the equivalent load at the tip of the oscillating link.

To ensure that the initial motion occurred under no-load conditions, the cutting load was activated from t_{cut} = 2 s onward. The activation function, which ensures that the cutting force is applied only during the selected stroke, was defined as follows:

$$X(t,\theta,\omega) = \begin{cases} 1, & t \geq t_{cut} \ and \ \dot{y}_c < -\varepsilon_v \\ 0, & otherwise \end{cases} , F_x = 0 , \quad F_y = F_0 X \tag{9}$$

Here, $\varepsilon_v = 10^{-9}$ m/s is a small velocity threshold used to numerically determine the direction of motion at the reversal points. The force direction was defined as constant +Y, and the force was set to zero during the return stroke. The no-load condition was compared with cutting loads of 10, 20, and 30 N under identical initial conditions.

The equivalent moment of the cutting force acting on the crank was calculated using the principle of virtual work:

$$Q_{cut} = F_y . \frac{dy_c}{d\theta} = F_y . L . \cos(\varphi) . \frac{d\varphi}{d\theta} \tag{10}$$

This expression ensures that the equivalent moment acting on the crank varies with the mechanism position, even if the magnitude of the cutting force remains constant throughout the stroke. Since the force was defined to oppose the direction of motion, the power transferred to the mechanism by the cutting force is either zero or negative.

2.3. Numerical solution

The equation of motion was transformed into the following system of first-order equations, with the crank angular velocity denoted by ω:

$$\dot{\theta} = \omega, \quad \dot{\omega} = \frac{M_m(\omega) + Q_{cut}(t,\theta,\omega) - c\omega - \frac{dV}{d\theta} - \frac{1}{2}.\frac{dI_{eq}}{d\theta}.\omega^2}{I_{eq}(\theta)} \tag{11}$$

The system of equations was solved in MATLAB using the existing four-stage Runge–Kutta solution scheme. The motor torque, equivalent inertia, derivative of inertia with respect to the crank angle, and derivative of potential energy were calculated at the beginning of each time step and held constant during the intermediate stages of that step. The cutting load, however, was re-evaluated using the time, position, and velocity values at the intermediate stages. The viscous damping torque was also calculated based on the velocity at the corresponding intermediate stage.

Each loading case was solved independently, starting from initial conditions of zero crank angle and zero angular velocity. The total simulation time was set to 10 s, and the nominal time step was set to 0.0001 s. The time instant of 2 s, at which the cutting load was activated, and the final time of the simulation were explicitly added to the time sequence, and the actual local time steps were used in the solution. The numerical solution and loading conditions are summarized in Table 2.

Table 2. Numerical solution and loading conditions

Parameter	**Value**
Total simulation time, t_{end}	10 s
Nominal time step, h	0.0001 s
Cutting-load activation time, t_{cut}	2 s
Cutting-force levels, F_0	0, 10, 20, 30 N
Initial crank angle, θ_0	0 rad
Initial crank angular velocity, ω_0	0 rad/s
Viscous damping coefficient, c	0.01 N·m·s/rad
Direction threshold, ε_v	10^{-9} m/s
Motor operation	Continuous
Synchronous speed, n_s	118.4 rpm (12.3988 rad/s)
Nominal motor torque, T_n	4.97 N·m

The relative slider velocity and acceleration were calculated by taking the time derivatives of the position relation:

$$\dot{S} = \frac{r.d.\sin(\theta)}{S}.\omega \tag{12}$$

$$\ddot{S} = \left(\frac{r.d.\cos(\theta)}{S} - \frac{r^2.d^2.\sin^2(\theta)}{S^3}\right).\omega^2 + \frac{r.d.\sin(\theta)}{S}.\dot{\omega} \tag{13}$$

To enable comparison of the loading cases at identical mechanism positions, the final complete crank revolution after activation of the cutting load was selected. The start and end points of the cycle were determined by

interpolation, and the results were presented over the 0°–360° crank angle range. In addition, the initial motion and the behavior following load activation were examined using time histories covering the entire simulation period.

2.4. Calculation of cycle parameters

The tangential velocity of point C and the vertical component of this velocity were defined by the following expressions:

$$v_c = L.\dot{\varphi}, \quad \dot{y}_c = v_c.\cos(\varphi) \tag{14}$$

Here, v_c represents the signed tangential velocity of point C, and $\dot{y}_c$ represents the vertical velocity component. Since the cutting force was applied in the +Y direction, the cutting power was calculated using the vertical velocity component:

$$P_{cut} = -F_y.\dot{y}_c = -Q_{cut}.\omega \tag{15}$$

The start and end times of the final complete crank revolution were denoted by t_a and t_b, respectively. The cycle time, average crank angular velocity, and average motor torque were calculated using the following expressions:

$$T = t_b - t_a, \quad \bar{\omega} = \frac{2.\pi}{T}, \quad \bar{M}_m = \frac{1}{T}\int_{t_a}^{t_b} M_m(t)dt \tag{16}$$

The cutting work during the cycle and the net mechanical work provided by the motor were determined by the following expressions:

$$W_{cut} = \int_{t_a}^{t_b} P_{cut}dt \ , W_m = \int_{t_a}^{t_b} M_m(t).\omega(t).dt \tag{17}$$

For a constant force throughout the complete cutting stroke:

$$W_{cut} = F_0.\left(y_{c,max} - y_{c,min}\right) = F_0.\frac{2.L.r}{d} \tag{18}$$

Here, W_m is the signed net mechanical work, including both regions where the motor torque is positive and regions where it is negative; it does not represent electrical energy consumption. The time integrals were calculated numerically using the trapezoidal method.

For positive crank rotation, the start and end angles of the selected cutting stroke were determined from the two reversal positions of the output link:

$$\theta_u = \cos^{-1}\left(\frac{r}{d}\right), \quad \theta_l = 2.\pi - \theta_u \tag{19}$$

For the dimensions of the mechanism under study, these angles were found to be approximately 76.66° and 283.34°. The difference between the times corresponding to these angles was taken as the cutting stroke duration, while the return stroke duration was calculated by subtracting the cutting stroke duration from the total cycle time. The arc length traveled by the tip and the average velocity magnitude during the cutting stroke were determined as follows:

$$T_{cut} = t(\theta_l) - t(\theta_u), \quad T_{return} = T - T_{cut} \tag{20}$$

$$l_{cut} = 2.L.\sin^{-1}\left(\frac{r}{d}\right), \quad \bar{v}_{cut} = \frac{l_{cut}}{T_{cut}} \tag{21}$$

The same geometric stroke limits were also used for the no-load condition. Thus, the effects of the cutting force on motion velocities, stroke durations, and mechanical work per cycle were compared on a common evaluation basis.

3. Results and Discussion

3.1. Engagement of the cutting load and time-dependent dynamic behavior

Figure 2 shows the time-dependent variations in crank angular velocity, angular acceleration, motor torque, and cutting force under different cutting loads. The same initial conditions and motor characteristics were used for all loading cases. Since no cutting force was applied during the first 2 s, the curves obtained during this interval overlap. The high angular acceleration and motor torque observed initially occurred during the transition of the mechanism from rest to motion. Since the cutting load was not yet active, these initial values were not caused by the cutting force.

Differences between the loading cases became apparent after 2 s, when the cutting load was activated during the selected stroke. As the cutting force increased, the variation in crank angular velocity during the cutting stroke and the time history of the motor torque changed. The magnified views show phase differences accumulating over time between the loading cases. These differences are associated with the change in the time required to complete a crank revolution due to the load. Therefore, comparing values at the same time may correspond to different crank positions. To evaluate the effect of the load at the same mechanism position, subsequent comparisons were made as a function of crank angle.

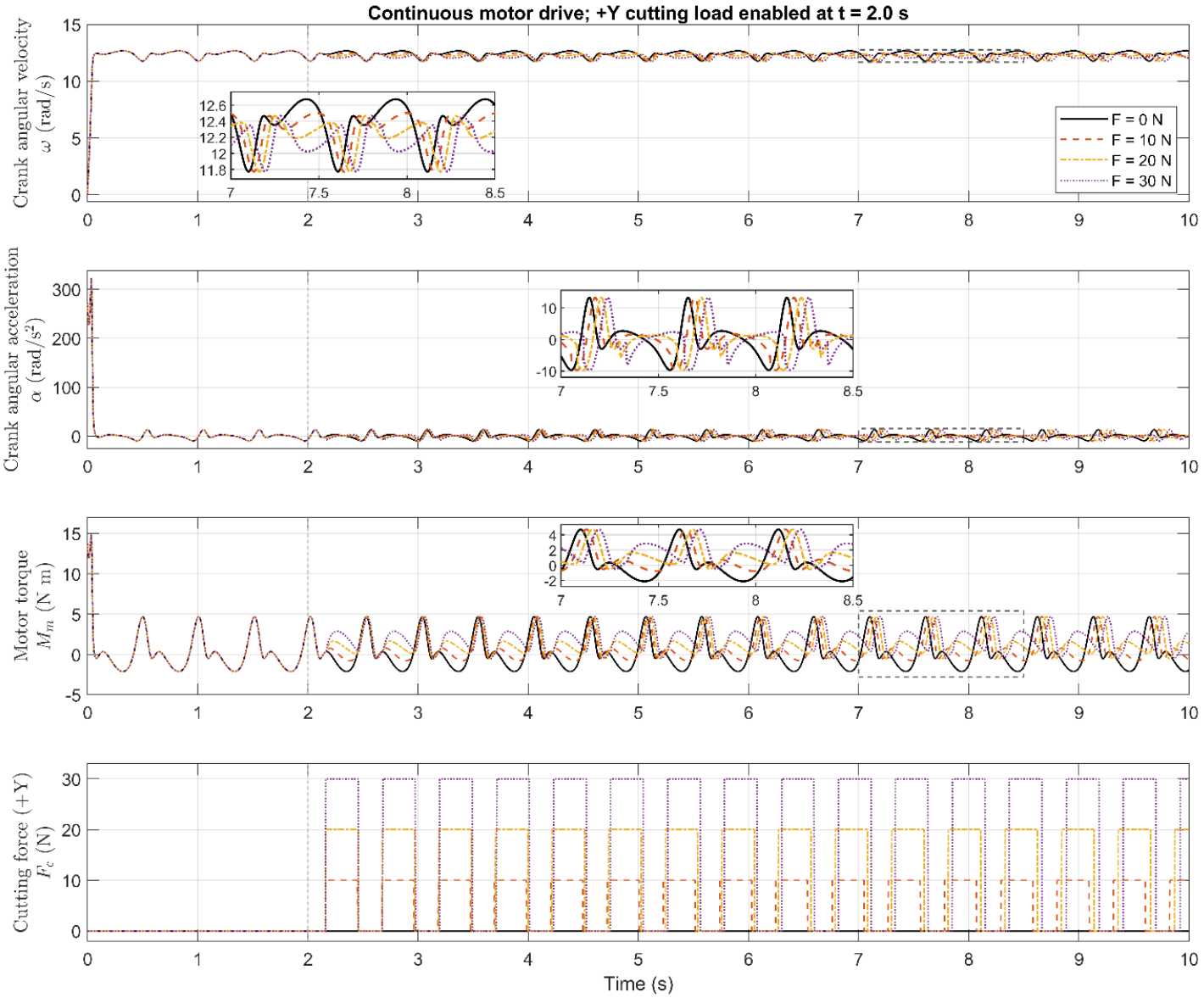


Figure 2. Time-dependent variations in crank angular velocity, angular acceleration, motor torque, and cutting force under different cutting loads

3.2. Effects on crank motion and motor torque

The crank angular velocity, angular acceleration, motor torque, and equivalent cutting torque obtained during the final complete crank revolution are compared in Figure 3. In the mechanism geometry under investigation, the cutting stroke occurs within the crank angle range of approximately 76.66°–283.34°. Within this range, as the load increased, the crank angular velocity decreased, and the motor torque increased in accordance with the motor torque–speed characteristics. Significant changes in the angular acceleration curves were observed

around the start and end of the cutting stroke. The equivalent cutting torque remained negative throughout the cutting stroke and opposed the rotational motion. During the return stroke, as the cutting torque decreased to zero, the dynamic curves corresponding to different loads largely converged. Consequently, the primary effect of the increase in load was observed as a change in the velocity and torque distributions within the cutting interval, rather than a simultaneous increase in peak values throughout the entire cycle.

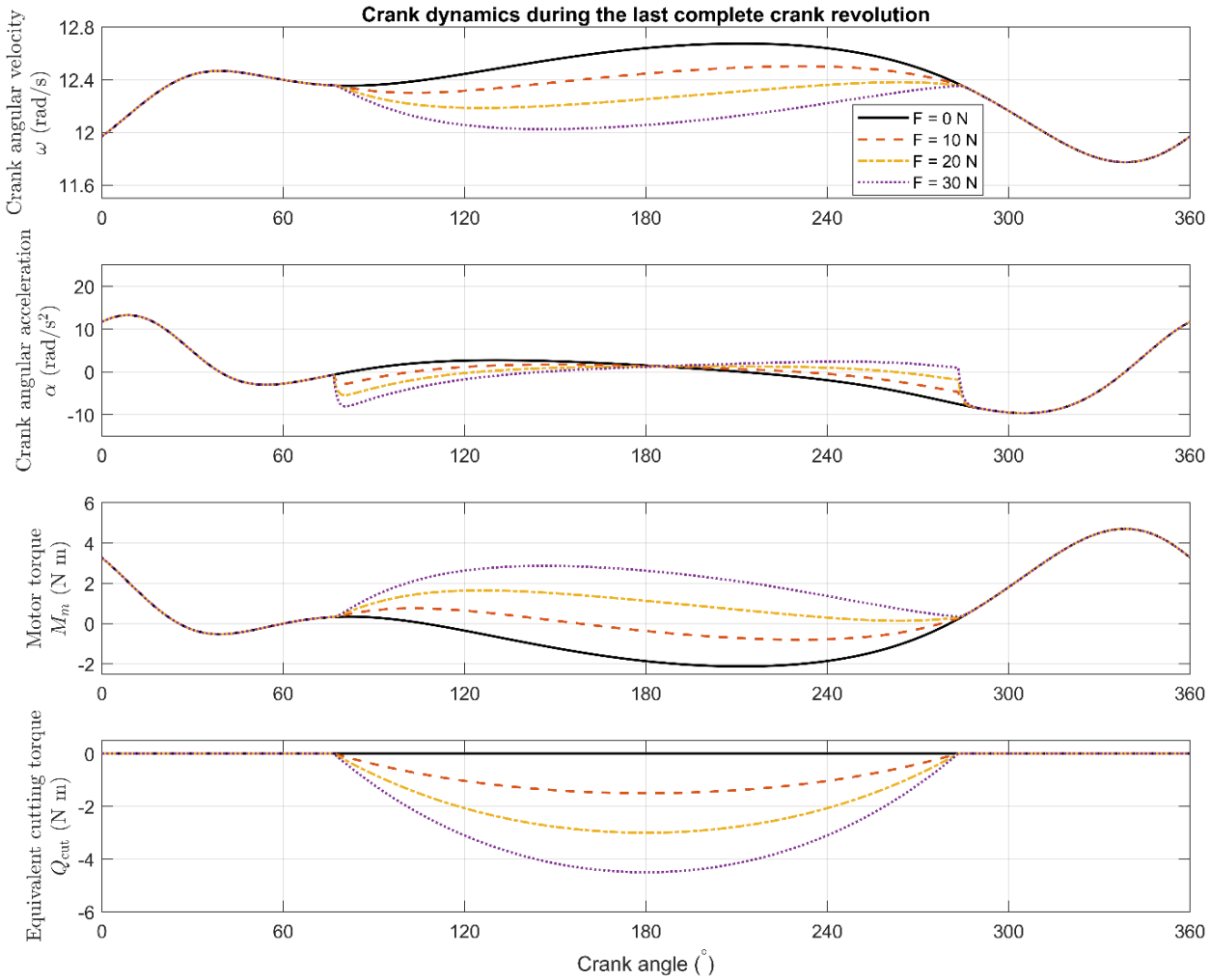


Figure 3. Effect of cutting load on crank angular velocity, angular acceleration, motor torque, and equivalent cutting torque during the final complete crank revolution

3.3. Relative slider motion

Figure 4 shows the relative position, velocity, and acceleration of the slider. The relative position varied between 0.50 and 0.80 m, and the position curves coincided for all loads. In the rigid mechanism model, since the relative position is a geometric quantity dependent on the crank angle, the cutting load did not alter the

position–angle relationship. In contrast, changes in the crank angular velocity and acceleration were reflected in the relative slider velocity and acceleration. Differences between the loads became more pronounced, particularly in the acceleration curves during the cutting stroke.

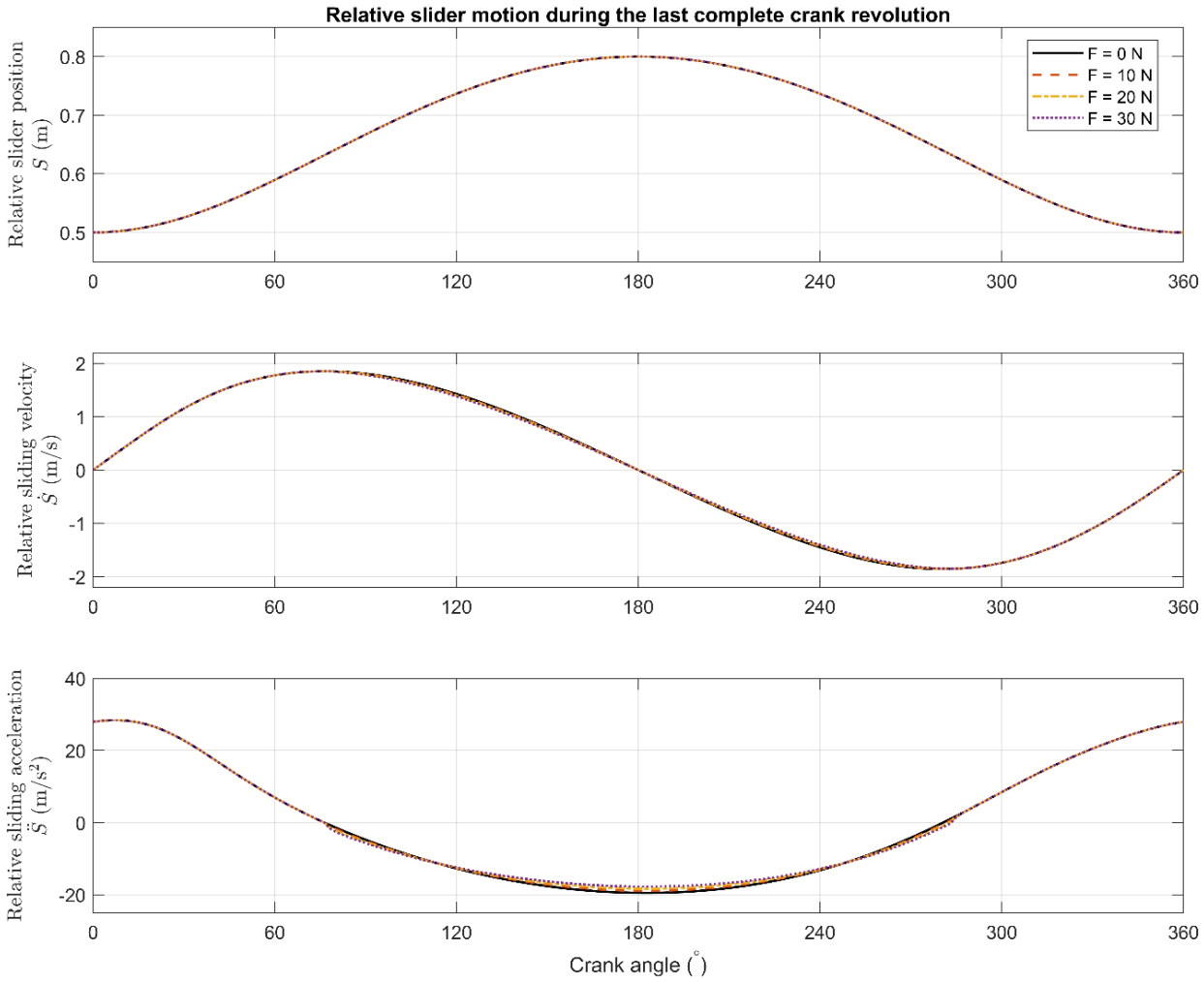


Figure 4. Variation of relative slider position, velocity, and acceleration with crank angle under different cutting loads

3.4. Cutting force, tip velocity, and cutting power

Figure 5 shows the cutting force in the +Y direction, the tangential velocity of point C, and the cutting power. The force was applied only during the downward cutting stroke and was set to zero during the return stroke. The cutting power approached zero at the stroke ends and reached its maximum value in the middle region of the stroke. The cutting power increased with increasing force magnitude; for a 30 N load, the maximum power was

approximately 54.25 W. The vertical velocity component of point C was used in the power calculation. Thus, the cutting work was calculated based on the vertical displacement in the direction of the force.

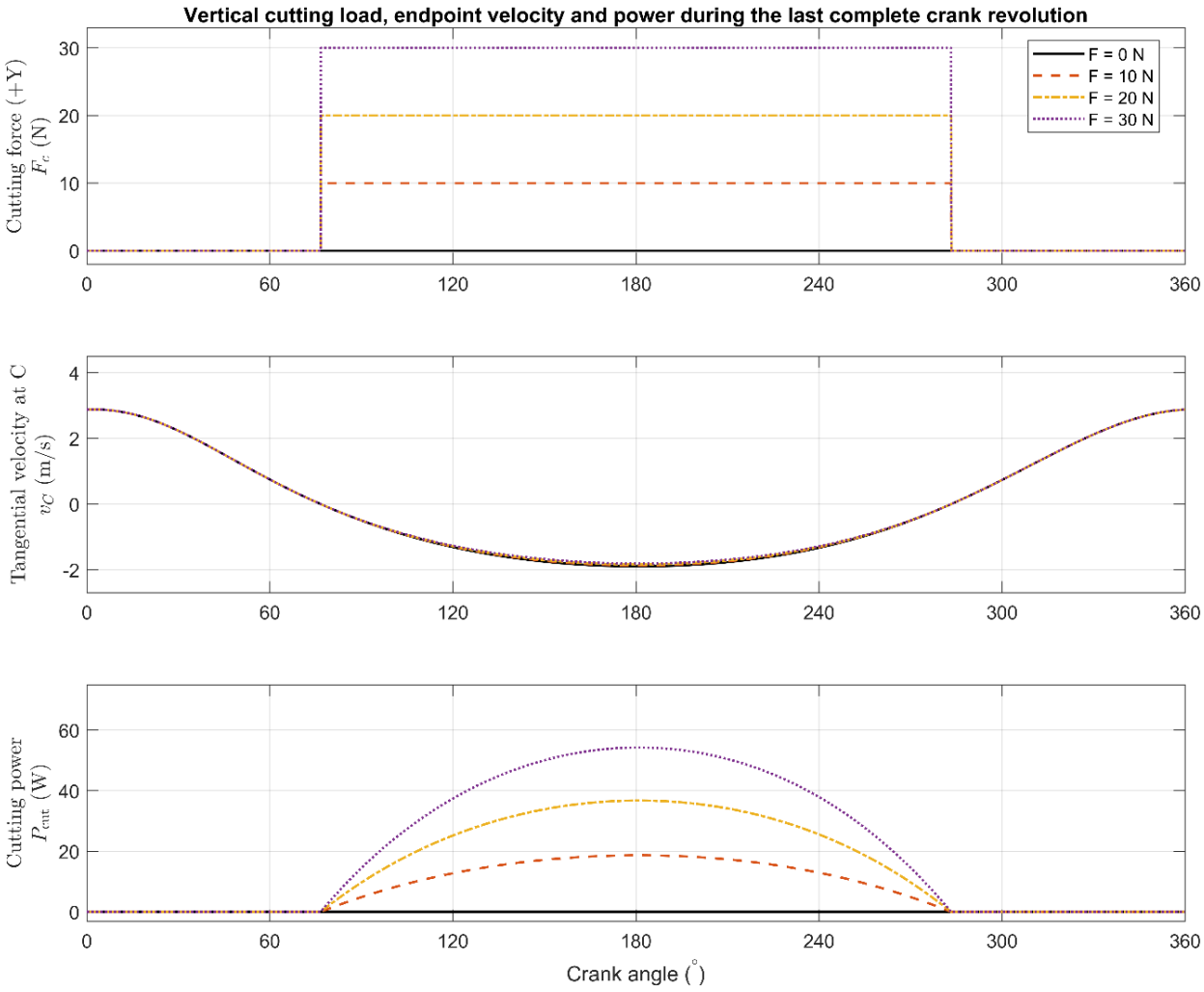


Figure 5. Variation of cutting force, tangential velocity at point C, and cutting power during the final complete crank revolution

3.5. Comparison of cycle parameters

The average velocities, motor torque, stroke durations, and mechanical work values calculated over the final complete crank revolution are compared in Table 3. As the cutting force increased from 0 N to 30 N, the average crank angular velocity decreased by 1.82%, while the average motor torque increased from 0.16671 N·m to 1.90442 N·m. The cutting stroke duration increased from 0.287594 s to 0.297025 s, corresponding to an increase of 3.28%, whereas the return stroke duration remained at approximately 0.22012 s. The average tangential velocity during the cutting stroke decreased from 1.29554 m/s to 1.25440 m/s, corresponding to a

reduction of 3.18%. The cutting work was calculated as 3.69231, 7.38462, and 11.07692 J/cycle for forces of 10, 20, and 30 N, respectively. Since the geometric vertical stroke remained unchanged, the cutting work increased in direct proportion to the force. The net mechanical work of the motor per cycle increased from 0.77790 J under the no-load condition to 11.84043 J under a 30 N load.

The results indicate that, within the investigated load range, the effect of the cutting force occurred predominantly during the cutting stroke. Increasing the load slowed the motion during this stroke, increased the stroke duration, and increased the average motor torque. These findings were obtained for the motor characteristics, mechanism dimensions, and defined cutting load conditions used in this study.

Table 3. Comparison of cycle parameters calculated over the final complete crank revolution for different cutting loads

Cutting force (N)	Average crank angular velocity (rad/s)	Average motor torque (N·m)	Cutting stroke duration (s)	Return stroke duration (s)	Cutting work (J/cycle)	Net motor work (J/cycle)	Mean tangential tip speed during cutting stroke (m/s)
0	12.37536	0.16671	0.287594	0.220123	0.00000	0.77790	1.29554
10	12.30139	0.73835	0.290647	0.220124	3.69231	4.46543	1.28193
20	12.22642	1.31751	0.293778	0.220125	7.38462	8.15295	1.26827
30	12.14964	1.90442	0.297025	0.220125	11.07692	11.84043	1.25440

4. Conclusions

In this study, a unidirectional cutting load was applied to an inverted slider-crank mechanism under continuous motor drive, and the effects of the load on its dynamic behavior were numerically investigated. The cutting force was applied at point C of the output link in the constant +Y direction, while the return stroke remained unloaded.

Within the investigated load range of 0–30 N, the mechanism maintained its rotational motion. As the load increased, the average crank angular velocity decreased by 1.82%, while the average motor torque increased from 0.16671 N·m to 1.90442 N·m. The cutting stroke duration increased by 3.28%, while the average tangential cutting velocity decreased by 3.18%. The approximately constant return stroke duration indicated that the effect of the load occurred predominantly during the cutting stroke.

The variation in relative slider position with crank angle was unaffected by the load, whereas the effect of the load was reflected in the velocity and acceleration magnitudes. The cutting work per cycle increased in direct

proportion to the force and was calculated as 11.07692 J at 30 N. The results demonstrated that the unidirectional cutting load affected both the motor torque requirement and the stroke durations.

The findings showed that, when evaluating the effect of the cutting load on the mechanism, stroke durations, cycle averages, and mechanical work values should be considered together with the extreme values of velocity and torque. The results are limited to the investigated rigid mechanism model and representative cutting force conditions. In future studies, incorporating experimentally measured cutting forces into the model and comparing the results with measured motion data will contribute to evaluating the extent to which the model represents the behavior of the actual system.

References

Fung, R.-F., & Chen, K.-W. (1997). Constant speed control of the quick return mechanism driven by a DC motor. *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, 40*(3), 454–461. https://doi.org/10.1299/jsmec.40.454

Fung, R. F., Lin, F. J., Wai, R. J., & Lu, P. Y. (2000). Fuzzy neural network control of a motor-quick-return servomechanism. *Mechatronics, 10*(1–2), 145–167. https://doi.org/10.1016/S0957-4158(99)00075-6

Gong, J., Yu, Z., & Chang, H.-K. (2022). Dynamic analyses of Whitworth quick return mechanism. *International Journal of Mechanical Engineering Education, 50*(4), 883–901. https://doi.org/10.1177/03064190221082931

Ha, J.-L., Fung, R.-F., Chen, K.-Y., & Hsien, S.-C. (2006). Dynamic modeling and identification of a slider-crank mechanism. *Journal of Sound and Vibration, 289*(4–5), 1019–1044. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.03.011

Mohammadzadeh, A., Barakat, N., & Haidar, S. (2007). Synthesis and dynamic analysis of a quick-return mechanism using MATLAB and SIMULINK. In *Proceedings of the ASME 2007 International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (Paper No. IMECE2007-41441). https://doi.org/10.1115/IMECE2007-41441

Perrusquía, A., Flores-Campos, J. A., & Yu, W. (2022). Optimal sliding mode control for cutting tasks of quick-return mechanisms. *ISA Transactions, 122*, 88–95. https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.04.033

Sevim, Ç., & Uzmay, İ. (2022). Experimental analysis of dynamics of inverted slider-crank mechanism. *Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, 11*(2), 404–409. https://doi.org/10.28948/ngumuh.1087806

İSLAMİ BANKACILIKTA PARADİGMA DEĞİŞİMİ: FİNTECH EKOSİSTEMİNİN GELENEKSEL KURUMLAR ÜZERİNDEKİ YAPISAL ETKİLERİ

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAMBEL[1]/ Prof. Dr. Ahmet Emre BİBER[2]

[1]Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, Bolu, Türkiye, hakancambel@ibu.edu.tr, ORCID no: 0000-0001-6304-4711

[2]Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, Bolu, Türkiye, biber_a@ibu.edu.tr, ORCID no: 0000-0001-5251-3156

Özet

İslami finans ekosistemi, Finansal Teknoloji (FinTech) uygulamalarının entegrasyonu ile küresel çapta köklü bir dönüşüm yaşamaktadır. Bu bildiri, İslami bankacılıkta meydana gelen paradigma değişimini incelemekte ve FinTech ekosisteminin geleneksel İslami finans kurumları üzerindeki yapısal etkilerini analiz etmektedir. FinTech; kitle fonlaması (crowdfunding), eşler arası (P2P) finansman, mobil cüzdanlar ve blokzincir gibi araçlarla, Şeri prensiplere uygun, şeffaf ve daha düşük maliyetli finansal hizmetler sunmaktadır. Geleneksel İslami bankalar, yüksek işletme maliyetleri ve kredi boşlukları (credit gap) gibi yapısal sorunlarla yüzleşirken, FinTech firmaları finansal sisteme dahil olmayan kitlelere (unbanked) doğrudan ulaşarak finansal kapsayıcılığı (financial inclusion) muazzam ölçüde artırmaktadır. Çalışmada, FinTech ekosisteminin geleneksel bankalar için yalnızca kâr havuzlarını daraltan yıkıcı (disruptive) bir rakip olmadığı, aynı zamanda yenilikçi ürünler geliştirmek ve pazar payını genişletmek için stratejik bir ortak olabileceği vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, Şeri uyumun (shariah compliance) standartlaştırılması, regülasyon eksiklikleri ve yasal çerçevelerin ülkeler arası uyumlaştırılması (harmonization) gibi temel zorluklar sektörün önünde durmaya devam etmektedir. Düzenleyici kum havuzları (regulatory sandboxes) ve akıllı sözleşmeler gibi yenilikçi mekanizmalar, bu engellerin aşılmasında ve İslami bankacılığın sürdürülebilir büyümesinde kritik rol oynamaktadır.

Anahtar kelimeler: İslami FinTech, Finansal Kapsayıcılık, Yıkıcı İnovasyon, Şeri Uyum ve Regülasyon

PARADİGM SHİFT İN ISLAMİC BANKİNG: THE STRUCTURAL IMPACTS OF THE FİNTECH ECOSYSTEM ON TRADİTİONAL INSTİTUTİONS

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAMBEL[1]/ Prof. Dr. Ahmet Emre BİBER[2]

[1] Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Applied Sciences, Department of Finance and Banking, Bolu, Türkiye, hakancambel@ibu.edu.tr, ORCID no: 0000-0001-6304-4711

[2] Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Applied Sciences, Department of Finance and Banking, Bolu, Türkiye, biber_a@ibu.edu.tr, ORCID no: 0000-0001-5251-3156

Abstract

The Islamic finance ecosystem is experiencing a radical transformation globally with the integration of Financial Technology (FinTech) applications. This paper examines the paradigm shift occurring in Islamic banking and analyzes the structural impacts of the FinTech ecosystem on traditional Islamic financial institutions. FinTech offers transparent and lower-cost financial services that comply with Shariah principles through tools such as crowdfunding, peer-to-peer (P2P) financing, mobile wallets, and blockchain. While traditional Islamic banks face structural problems such as high overhead costs and credit gaps, FinTech firms significantly increase financial inclusion by reaching directly to the unbanked populations. The study emphasizes that the FinTech ecosystem is not merely a disruptive competitor that shrinks the profit pools for traditional banks, but can also be a strategic partner for developing innovative products and expanding market share. However, fundamental challenges such as the standardization of Shariah compliance, regulatory shortcomings, and the harmonization of legal frameworks across countries continue to stand before the industry. Innovative mechanisms like regulatory sandboxes and smart contracts play a critical role in overcoming these barriers and ensuring the sustainable growth of Islamic banking.

Keywords: Islamic FinTech, Financial Inclusion, Disruptive Innovation, Shariah Compliance and Regulation

1. GİRİŞ

Dördüncü sanayi devrimi çağında finansal hizmetlerin dijitalleşmesi, teknolojik yeniliklerin baş döndürücü hızına adapte olması gereken finansal kuruluşlar ve tüketiciler için nihai bir ihtiyaç haline gelmiştir (Hassan vd., 2023). Küresel finans sektörü, özellikle 2008 Küresel Finans Krizi'nin ardından geleneksel finans sistemine ve otoritelere olan güvenin sarsılmasıyla birlikte daha şeffaf ve güvenilir yatırım araçları arayışına girmiş; bu tarihsel kırılma noktası "Finansal Teknoloji" (FinTech) kavramının dramatik yükselişine zemin hazırlamıştır (Rabbani vd., 2020). FinTech; bulut bilişim, mobil internet, dağıtık defter teknolojileri ve yapay zeka gibi teknolojik altyapılar ile finansal hizmet süreçlerinin kesişimini ifade etmekte olup, ödemelerden kredi skorlamasına kadar köklü bir paradigma değişimi yaratmaktadır (Hassan vd., 2023).

İslam coğrafyasında ve küresel ölçekte "Helal" hassasiyeti olan tüketiciler ile finans kurumları için geliştirilen İslami FinTech ise, bu teknolojik yeniliklerin doğrudan Şeriat kurallarına ve İslam ekonomisinin genel hedeflerine (Makasıd-ı Şeria) uygun olarak tasarlanmasını ifade eder (Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022). İslami FinTech; kredi, sermaye piyasaları, sigorta (tekâfül), varlık yönetimi, ödeme sistemleri ve kitle fonlaması gibi geleneksel İslami finansal iş modellerini daha çevik, düşük maliyetli ve yenilikçi bir biçimde yeniden kurgulamaktadır (Alshater vd., 2022). Geleneksel İslami bankalar, teknolojik altyapı eksiklikleri, yüksek maliyetler ve geniş kitlelere ulaşamama (finansal dışlanma) sorunlarıyla mücadele ederken (Todorof, 2018), FinTech firmaları finansal sisteme dahil olmayan (unbanked) bireyleri sisteme doğrudan entegre ederek finansal kapsayıcılığı (financial inclusion) muazzam ölçüde artırmaktadır (Kismawadi, 2025; Alshater vd., 2022). Bu çalışma, İslami bankacılık bağlamında gerçekleşen teknolojik paradigma değişimini, geleneksel kurumlar üzerindeki yıkıcı (disruptive) ve bütünleştirici etkileri, finansal kapsayıcılık potansiyelini ve regülatif çerçeveleri akademik bir perspektifle detaylı olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır.

2. İSLAMİ FİNANSIN ONTOLOJİSİ VE GELENEKSEL BANKACILIĞIN YAPISAL SORUNLARI

İslami finans ekosistemi, Kuran ve Sünnet temelli kesin fıkhi yasaklara dayanır (Todorof, 2018; Alshater vd., 2022). Bu sistemin kalbinde; haksız kazanç ve sermayenin risksiz, emeksiz büyümesi anlamına gelen faiz (riba) yasağı bulunmaktadır (Todorof, 2018; Alshater vd., 2022). Buna ek olarak, taraflardan birinin mutlak kazandığı diğerinin kaybettiği, şansa dayalı kumar türü kazançlar (maysir) ve işlemlerdeki aşırı belirsizlik, aldatmaca ve yüksek risk durumları (gharar) kesin olarak yasaklanmıştır (Todorof, 2018; Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022). İslami finansta para başlı başına bir emtia olarak değil, sadece zaman değeri olan bir mübadele aracı olarak görülmektedir (Todorof, 2018). Geleneksel bankacılığın temel felsefesi parayı ödünç verip bileşik faizle

geri almakken, İslami bankalar işlemlere risk ve kâr paylaşımı (Müşaraka ve Mudarebe) veya varlığa dayalı maliyet-artı (Murabaha) temelinde katılmak zorundadır (Todorof, 2018).

Ne var ki, modern İslami bankacılık uygulamaları birtakım ciddi yapısal engellerle karşılaşmaktadır. Özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesindeki işletmelerin %76'sının bir banka hesabı olmasına rağmen, yalnızca %26'sının bir finansal kurumdan kredi (finansman) alabildiği görülmektedir (Todorof, 2018). İslami bankaların uzun vadeli yatırımlarda veya bireysel ve ticari finansman sağlamada gösterdikleri aşırı ihtiyatlılık, Müslüman ülkelerde 140 milyar ABD dolarını aşan devasa bir "kredi boşluğu" (credit gap) yaratmıştır (Todorof, 2018). Ayrıca, geleneksel İslami bankaların sahip olduğu geniş fiziksel şube ağları, ağır bürokratik denetimler (Şeri uyum süreçleri) ve sorunlu kredilerden (non-performing loans) kaynaklanan yüksek genel işletme maliyetleri (overhead costs), sağlanan fonların maliyetini artırmakta ve İslami bankaları geleneksel faizli bankalar karşısında rekabet dezavantajına sürüklemektedir (Todorof, 2018).

3. FİNTECH İNOVASYONLARININ YÜKSELİŞİ VE İSLAMİ FİNTECH EKOSİSTEMİ

FinTech şirketleri, geleneksel bankacılıktaki bu tıkanıklıkları çözmek amacıyla "düşük kâr marjı, hafif varlık yapısı, genişletilebilirlik, inovasyon ve kolay uyumluluk" prensipleri etrafında şekillenmiştir (Alshater vd., 2022). FinTech'in ortaya koyduğu aracısız "paylaşımlı sermaye" (shared capital) yaklaşımı ve şeffaflık vizyonu, İslami finansın adil bölüşüm, sosyal adalet ve refahın tabana yayılması (Makasıd-ı Şeria) gibi ahlaki hedefleriyle ontolojik bir uyum içindedir (Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022). Yapılan projeksiyonlara göre, İslami FinTech şirketlerinin sunduğu adil, düşük maliyetli ve yenilikçi çözümler, sistemin Şeri uyumlu güvenilirliği sayesinde önümüzdeki yıllarda küresel düzeyde 150 milyon yeni müşteriyi ekosisteme entegre etme kapasitesine sahiptir (Rabbani vd., 2020).

Küresel bazda Malezya, Birleşik Krallık ve Endonezya, İslami FinTech start-up'larının kuruluşu ve gelişimi açısından lider konumda bulunmaktadır (Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022). Örneğin, dünyanın en büyük Müslüman nüfusuna sahip ülkesi olan Endonezya, demografik fırsatları ve dijital adaptasyon hızıyla İslami FinTech alanında küresel bir merkez olmaya en hazır pazar olarak değerlendirilmektedir (Firmansyah ve Anwar, 2019). Endonezya'da faaliyet gösteren PT Ammana Fintek Syariah, PT Dana Syariah Indonesia ve PT Investree gibi lisanslı platformlar, faizsiz eşler arası (P2P) finansman modelleri sunarak finansman arayan KOBİ'ler ile yatırımcılar arasındaki boşluğu doldurmaktadır (Firmansyah ve Anwar, 2019). Ayrıca bu ülkede Ekim 2017'de kurulan Endonezya İslami FinTech Birliği (AFSI) gibi sivil inisiyatifler, teknoloji tabanlı İslami finansal hizmetlerin kurumsallaşması ve ekosistemin güvenli bir regülatif zemine oturtulması yönünde belirleyici adımlar atmaktadır (Firmansyah ve Anwar, 2019).

4. GELENEKSEL KURUMLAR ÜZERİNDEKİ YIKICI ETKİLER VE ENTEGRASYON FIRSATLARI

FinTech ekosisteminin İslami finans piyasalarına hızla nüfuz etmesi, yerleşik kredi kurumları ve bankalar için hem "yıkıcı" (disruptive) bir tehdit hem de kaçırılmaması gereken bir inovasyon fırsatı sunmaktadır.

4.1. Aracısızlaştırma (Disintermediation) ve Rekabet Baskısı

FinTech'ler, geleneksel kredi sağlama modelini doğrudan eşleştirme platformları ile ikame ederek bankaların "aracı" pozisyonunu sarsmaktadır (disintermediation) (Todorof, 2018). Algoritmalara dayalı olan, saniyeler içinde risk skorlaması yapan ve neredeyse hiçbir insan müdahalesi gerektirmeyen çapraz sınır (cross-border) P2P ödemeleri veya Robo-yatırım platformları, geleneksel bankaların yüksek komisyonlu hizmetlerini demode (obsolete) hale getirmekte ve bankaların asıl gelir kalemleri olan kâr havuzlarını daraltmaktadır (Todorof, 2018). Akademik incelemeler, FinTech firmalarındaki devasa büyümenin hem geleneksel faizli hem de İslami bankaların aktif kârlılık (ROA) ve özkaynak kârlılık (ROE) oranları üzerinde negatif bir baskı yarattığını göstermektedir (Alshater vd., 2022). Finansal işlemlerini dijital ortamdan, şubeye gitmeden yürütmek isteyen 30 yaş altı genç ve teknolojiye yatkın (tech-savvy) nesil, geleneksel bankaların ağır bürokrasisine ayak uyduramamakta ve doğrudan dijital start-up'lara yönelmektedir; bu durum İslami bankalar için ciddi bir demografik kayıp riski oluşturmaktadır (Todorof, 2018).

4.2. Stratejik Ortaklıklar ve Entegrasyon

Bu ciddi tehditlere karşın, inovasyon rüzgarını arkasına alan bankaların önünde önemli fırsatlar yatmaktadır. Geleneksel finansal kuruluşlar, FinTech firmalarını kendilerini yok edecek birer rakip olarak görmek yerine onlarla stratejik işbirlikleri ve ortak girişimler (joint ventures) kurarak kendi yapısal hantallıklarını modernize edebilirler (Kismawadi, 2025; Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022). Geleneksel İslami bankalar; mevzuat uyumu, kurumsal güven, sermaye birikimi ve geniş müşteri tabanı gibi çok güçlü avantajlara sahiptir. Bu avantajlar, FinTech'lerin çevik, inovatif, müşteri odaklı teknolojik altyapıları ile birleştiğinde ortaya sinerjik bir güç çıkmaktadır (Kismawadi, 2025; Alshater vd., 2022). İslami bankalar, teknoloji odaklı yeni Şeri ürünler (etik yatırım platformları, dijital kumbara vb.) geliştirebilmek için İslami FinTech firmalarına melek yatırımcı (angel investor) veya kurumsal girişim sermayesi (CVC) olarak destek verebilirler (Kismawadi, 2025).

5. İNOVATİF FİNTECH UYGULAMALARI: P2P, KİTLE FONLAMASI VE BLOKZİNCİR

İslami FinTech sektöründe, geleneksel İslami bankacılığın yerini alabilecek veya ona doğrudan entegre olabilecek üç ana yıkıcı inovasyon kanalı öne çıkmaktadır:

5.1. Eşler Arası (P2P) Finansman

P2P (Peer-to-Peer) finansman platformları, borç arayanlar (girişimciler) ile fon fazlası olan yatırımcıları internet üzerinden doğrudan bağlar (Todorof, 2018; Alshater vd., 2022). İslami P2P sistemleri, borç üzerine faiz (riba) yasağı nedeniyle; genellikle yatırımcıların projenin kâr ve zararına doğrudan ortak olduğu (Müşaraka) veya belirli bir emtianın alınıp vadeli satılması (Murabaha) yöntemlerine dayalı çalışır (Alshater vd., 2022). Geleneksel bankalardan yüksek teminat şartları nedeniyle kredi alamayan küçük işletmeler (KOBİ'ler) için bu platformlar, adil oranlar ve esnek ödeme planlarıyla adeta bir can simidi niteliği taşımaktadır (Firmansyah ve Anwar, 2019; Alshater vd., 2022). Ayrıca yatırımcılar da bankaların sunduğu düşük mevduat getirilerinin çok üzerinde bir getiri potansiyeline, teknolojik skorlama güvencesiyle erişmektedir.

5.2. İslami Kitle Fonlaması (Crowdfunding)

Kitle fonlaması, sosyal, ticari veya yenilikçi projeler için çok sayıda bireyden çevrimiçi platformlar aracılığıyla küçük miktarlarda fon toplanmasıdır (Alshater vd., 2022). Literatür, kitle fonlamasını; bağış temelli, borç temelli, ödül temelli ve hisse senedi (equity-based) temelli olarak dört ana türe ayırmaktadır (Alshater vd., 2022). Özellikle hisse senedine dayalı kitle fonlaması, doğrudan kâr ve zarar paylaşımı yapısı (Mudaraba) gerektirdiği için İslami finans ilkeleriyle mükemmel bir ontolojik uyum içindedir (Alshater vd., 2022). İslami kitle fonlaması projeleri sadece salt teknoloji girişimleri için değil; helal gıda tedarik zinciri, kitap yayıncılığı endüstrisi, yenilenebilir enerji projeleri (Malezya'daki düşük karbonlu konut yatırımları gibi) ve Salam sözleşmeleri aracılığıyla tarımsal faaliyetlerin fonlanmasında dahi yüksek başarılı sonuçlar vermektedir (Alshater vd., 2022). İnternet sayesinde yatırımcılar ve proje sahipleri arasındaki bu bağ coğrafi sınırları tamamen ortadan kaldırmaktadır (Todorof, 2018; Alshater vd., 2022).

5.3. Dağıtık Defter Teknolojileri (Blokzincir) ve Akıllı Sözleşmeler

Blokzincir (Blockchain), verilerin merkezi olmayan bir eşler arası ağ üzerinde kriptografik özet (hash) kodlarıyla birbirine bağlandığı; geriye dönük olarak değiştirilemez (immutable), şeffaf ve güvenli bir dağıtık defter teknolojisidir (Rabbani vd., 2020). Blokzincir ekosisteminde merkezi bir otorite veya tek bir sunucu (single point of failure) olmadığı için sistemin çökme riski minimumdur (Rabbani vd., 2020). Bu teknoloji üzerinde koşan "akıllı sözleşmeler" (smart contracts), finansal işlemlerde aracı kurum gereksinimini ortadan kaldırarak finansal denetim ve operasyonel maliyetleri %95'e varan devasa oranlarda azaltma potansiyeline sahiptir (Rabbani vd., 2020). Sukuk gibi karmaşık İslami menkul kıymet ihraçlarının blokzincir üzerinden dijital varlıklara (tokenization) dönüştürülmesi, mülkiyetin saniyeler içinde şeffaf bir şekilde el değiştirmesini ve takip edilmesini sağlayarak, İslami finansta en istenmeyen durumlardan olan belirsizlik (gharar) ve maysir riskini asgari düzeye indirir (Alshater vd., 2022).

Kripto paralar (cryptocurrency) konusunda ise İslam fıkıh alimleri arasında henüz tam bir fikir birliği (icma) sağlanamamıştır (Alshater vd., 2022). Kripto varlıkların çoğunun arkasında reel bir iktisadi değer (asset-backed) olmaması, spekülatif işlemlere açık olmaları ve fiyatlarındaki aşırı volatilite, bu araçların fıkhen yasaklanan işlemler barındırdığı eleştirilerine yol açmaktadır (Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022). Ancak, fiziksel altına veya diğer değerli madenlere dayalı olarak çıkartılan (Precious Metal Backed Cryptocurrency - PMBC) İslami kripto paraların, fiziksel bir karşılığa sahip olmaları sebebiyle Şeri kurallara daha uygun olduğu ve meşru bir mübadele aracı olarak kullanılabileceği yönünde ciddi akademik görüşler ve ampirik kabul çalışmaları bulunmaktadır (Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022).

6. FİNANSAL KAPSAYICILIK (FINANCIAL INCLUSION) BAĞLAMINDAKİ ETKİLER

Finansal kapsayıcılık, resmi finans kuruluşlarına (bankalara) erişimi olmayan dezavantajlı bireylerin ve KOBİ'lerin adil, şeffaf ve karşılanabilir maliyetlerle finansal hizmetlere entegre edilmesini ifade eder (Kismawadi, 2025). Körfez İşbirliği Konseyi (GCC) bölgesi de dâhil olmak üzere birçok gelişmekte olan ülkede milyonlarca yetişkin birey, dini kaygılar (faize bulaşmama isteği) veya geleneksel bankacılığın talep ettiği yüksek teminat ve masraflar nedeniyle finansal sistemin tamamen dışında (unbanked) kalmaktadır (Kismawadi, 2025; Alshater vd., 2022). Küresel Findex Veritabanı verilerine göre İslam İşbirliği Teşkilatı (İİT) üyesi ülkelerde finansal sisteme dahil olan yetişkin oranı sadece %41 seviyelerinde kalırken, yüksek gelirli gelişmiş ülkelerde bu oran %92'ye ulaşmaktadır (Alshater vd., 2022).

İslami FinTech uygulamaları; ahlaki, kapsayıcı ve etik finans ilkelerine vurgu yaparak bu devasa "unbanked" kitleyi sisteme entegre etmede benzersiz bir potansiyel sunmaktadır (Kismawadi, 2025; Alshater vd., 2022). Düşük işlem maliyetli dijital cüzdanlar ve kitle fonlaması platformları, alt gelir gruplarının mikro-kredilere erişimini sağlarken, aynı zamanda sınır ötesi işçi döviz transferlerini (remittance) çok ucuz maliyetlerle gerçekleştirmelerine olanak tanır (Todorof, 2018; Alshater vd., 2022). Daha da önemlisi; zekat, sadaka, karz-ı hasen ve vakıf gibi tamamen İslam'a özgü olan sosyal finans araçları, Yapay Zeka (AI) ve blokzincir teknolojileriyle yönetildiğinde, fonların şeffaf şekilde toplanıp isabetli bir biçimde gerçek ihtiyaç sahiplerine dağıtılmasını sağlayarak yolsuzlukları engeller (Alshater vd., 2022). Bu entegrasyon sadece ekonomik büyümeyi değil; Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'ndan (SDG) yoksulluğu önleme (SDG 1), açlığa son verme (SDG 2) ve eşitsizliği azaltma (SDG 10) gibi hedeflerin başarılmasını doğrudan ve ölçülebilir bir şekilde destekler (Alshater vd., 2022).

7. MÜŞTERİ DAVRANIŞLARI VE TEKNOLOJİ KABUL MODELİ (UTAUT2)

Tüketicilerin yeni teknolojik ürünleri benimseme davranışlarını anlamak, İslami FinTech uygulamalarının pazar payını sürdürülebilir kılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Bangladeş'teki İslami banka müşterileri üzerine yapılan ve literatürde yaygın olarak kullanılan Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modeli'ni (UTAUT2) modifiye ederek kurgulayan bir akademik çalışmada çok önemli bulgular elde edilmiştir (Hassan vd., 2023).

Ampirik sonuçlara göre; müşterilerin İslami Mobil FinTech (MFS) hizmetlerini kabul etme niyetleri üzerinde Sosyal Etki (Social Influence), Kolaylaştırıcı Koşullar (Facilitating Conditions), Fiyat Değeri (Price) ve Algılanan Güvenilirlik (Perceived Credibility) değişkenleri istatistiksel olarak anlamlı, pozitif ve çok güçlü bir etkiye sahiptir (Hassan vd., 2023).

İslami mobil uygulamalar pazarda henüz nispeten yeni olduğundan, tüketiciler güvenlik, işlemsel şeffaflık, siber riskler ve fonların gerçekten faizsiz kullanılıp kullanılmadığı (algılanan güvenilirlik) konularında son derece hassastır (Hassan vd., 2023; Alshater vd., 2022). Bu durum, algılanan güvenilirliği (perceived credibility) inovasyonun benimsenmesindeki en güçlü faktörlerden biri yapmaktadır (Hassan vd., 2023).

Uygun ve rekabetçi işlem maliyetleri, nakit iadesi (cash-back) avantajları ve fiyat fayda dengesi (fiyat değeri), müşterileri geleneksel FinTech'lerden ziyade İslami FinTech platformlarına çekmede belirleyici bir rol oynamaktadır (Hassan vd., 2023). Ayrıca, aile üyelerinin ve arkadaş çevresinin (sosyal etki) yönlendirmesi ile 7/24 canlı destek veya çevrimdışı işlem yapabilme yeteneği (kolaylaştırıcı koşullar) müşteri kabulünü doğrudan artırmaktadır (Hassan vd., 2023).

Buna karşın, ilgili çalışmada "Performans Beklentisi" (Performance Expectancy) ve "Çaba Beklentisi" (Effort Expectancy) değişkenlerinin müşteri kabulleri üzerinde istatistiksel bir etkisi bulunamamıştır (Hassan vd., 2023). Bu ilginç durumun sebebi, araştırmaya katılan kitlenin büyük çoğunluğunu (20-40 yaş arası) teknolojiye son derece yatkın (tech-savvy) Z ve Y kuşağının oluşturmasıdır (Hassan vd., 2023; Alshater vd., 2022). Pazardaki uygulamaların büyük çoğunluğunun benzer standartlarda kullanıcı arayüzlerine sahip olması, kullanım kolaylığının artık karar verdirici bir "ayırt edici" faktör olmaktan çıkmasına neden olmuştur (Hassan vd., 2023).

8. REGÜLASYON İKİLEMİ VE ŞERİ YÖNETİŞİM ÇERÇEVESİ

İslami FinTech sektörünün muazzam büyüme potansiyeline ve finansal kapsayıcılığa katkılarına karşılık karşılaştığı en büyük engel; inovasyonu yakalayabilecek tutarlı bir yasal çerçevenin (regülasyon) olmaması ve Şeri standartların ülkeler (hatta aynı ülke içindeki kurumlar) arasında farklılık göstermesidir (Kismawadi, 2025; Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022). Çok katı ve geleneksel bankacılık normlarına dayalı regülasyonlar

inovasyonun hızını kesip FinTech'leri pazar dışına itebilirken; zayıf regülasyonlar yatırımcıların güvenliğini riske atmakta, şeffaflığı bozmakta ve siber dolandırıcılıklara yol açabilmektedir (Kismawadi, 2025; Rabbani vd., 2020). Ayrıca İslami finans sözleşmelerinin, fıkhi kurallara ve kâr-zarar ortaklıklarına dayandığı için geleneksel borç sözleşmelerinden yapısal olarak daha karmaşık olması, regülatörlerin işini zorlaştırmaktadır (Kismawadi, 2025).

İnovasyonu boğmadan güvenliği sağlamak amacıyla "Düzenleyici Kum Havuzu" (Regulatory Sandbox) modeli geliştirilmiştir (Kismawadi, 2025). Bahreyn Merkez Bankası (CBB), BAE'deki Dubai Finansal Hizmetler Otoritesi (DFSA) ve Suudi Arabistan Para Otoritesi (SAMA) gibi Körfez (GCC) ülkelerindeki düzenleyiciler, bu çerçeveyi başarıyla hayata geçirmişlerdir (Kismawadi, 2025; Todorof, 2018). Kum havuzu uygulamaları, İslami FinTech start-up'larına yenilikçi ürünlerini tam yasal mevzuat baskısı altında kalmadan, sınırlı sayıda müşteriyle ve güvenli bir ortamda test etme imkânı sunmaktadır (Kismawadi, 2025; Todorof, 2018). Ne var ki, her ülkenin kendine özgü regülasyon kuralları belirlemesi ve Şeri danışma kurullarının fıkhi yorum farklılıkları (Şafii, Hanefi veya Hanbeli ekollerinin teknolojiye farklı yaklaşımı gibi), İslami FinTech firmalarının farklı ülkelere genişlemesini zorlaştırmakta ve düzenleyici arbitraj (regulatory arbitrage) sorunlarına yol açmaktadır (Kismawadi, 2025; Alshater vd., 2022). Bu ikilemi çözmek için kural bazlı (rule-based) katı regülasyonlardan ziyade esnek ve ilke bazlı (principle-based) kuralların benimsenmesi; düzenleyici teknolojilerin (RegTech) otomasyona dahil edilmesi ve AAOIFI (İslami Finansal Kurumlar Muhasebe ve Denetim Kurumu) gibi üst kuruluşlar eliyle küresel düzeyde kabul görecek Şeri uyum standartlarının acilen oluşturulması gerekmektedir (Kismawadi, 2025; Rabbani vd., 2020; Alshater vd., 2022).

9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dijital teknolojilerin finansman süreçlerine entegrasyonuyla birlikte İslami bankacılık, sadece yapısal değil, ontolojik bir paradigma değişiminden geçmektedir. Finansal Teknoloji (FinTech), bankacılık ekosisteminde kitle fonlaması, eşler arası (P2P) finansman, yapay zeka ve dağıtık defter (blokzincir) gibi devrimsel yöntemler aracılığıyla aracı kurum maliyetlerini minimize eden, şeffaf ve güvene dayalı yeni bir model inşa etmiştir (Kismawadi, 2025; Todorof, 2018; Rabbani vd., 2020). Geleneksel İslami bankaların bu dijital kasırgaya direnmek yerine, teknolojik start-up'lar ile organik işbirlikleri ve ortak girişimler geliştirerek kendi kurumsal kapasitelerini inovasyonla harmanlamaları stratejik bir zorunluluktur (Kismawadi, 2025; Alshater vd., 2022).

Finansal kapsayıcılık bağlamında İslami FinTech; kredi bulamayan KOBİ'lere alternatif finansman sağlama, zekat-vakıf gibi sosyal finans ağlarını dijitalleştirerek şeffaflaştırma ve banka hesabı dahi olmayan "unbanked" kitleleri faizsiz sisteme entegre etme konularında muazzam bir güç barındırmaktadır (Kismawadi, 2025;

Alshater vd., 2022). Müşterilerin bu teknolojileri benimsemesinde; sistemin kullanım kolaylığından ziyade, "İslami prensiplere olan tam sadakati", sosyal çevrenin etkisi ve algılanan güvenilirliği en temel belirleyici olmaya devam edecektir (Hassan vd., 2023; Alshater vd., 2022). Sektörün sahip olduğu bu tarihi potansiyeli küresel çapta realize edebilmesi için; politika yapıcıların ortak Şeri regülasyon standartları geliştirmesi, düzenleyici kum havuzu uygulamalarının yaygınlaştırılarak uluslararası uyumlaştırılması (harmonization) ve İslami bankaların teknolojik inovasyonları açık bankacılık mimarisine hızla entegre etmesi kaçınılmazdır (Kismawadi, 2025; Todorof, 2018; Alshater vd., 2022).

KAYNAKÇA

Alshater, M. M., Saba, I., Supriani, I. ve Rabbani, M. R. (2022). Fintech in islamic finance literature: A review. *Heliyon*, 8, e10385.

Firmansyah, E. A. ve Anwar, M. (2019). Islamic Financial Technology (Fintech): Its Challenges and Prospect. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 216, 52-58.

Hassan, M. S., Islam, M. A., Yusof, M. F., Nasir, H. ve Huda, N. (2023). Investigating the Determinants of Islamic Mobile FinTech Service Acceptance: A Modified UTAUT2 Approach. *Risks*, 11(40), 1-15.

Kismawadi, E. R. (2025). Islamic fintech: navigating the regulatory framework and promoting financial inclusion in Gulf Cooperation Council (GCC) countries. *Journal of Islamic Marketing*, 16(6), 1742-1769.

Rabbani, M. R., Khan, S. ve Thalassinos, E. I. (2020). FinTech, Blockchain and Islamic Finance: An Extensive Literature Review. *International Journal of Economics and Business Administration*, 8(2), 65-86.

Todorof, M. (2018). Shariah-compliant FinTech in the banking industry. *ERA Forum*, 19, 1-17.

MERKEZİYETSİZ FİNANS (DEFİ) VE İSLAMİ PRENSİPLER: İSLAMİ FİNANSIN WEB3 ÇAĞINDAKİ FIRSATLARI VE KISITLARI ÜZERİNE TEORİK BİR YAKLAŞIM

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAMBEL[1]/ Prof. Dr. Ahmet Emre BİBER[2]

[1]Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, Bolu, Türkiye, hakancambel@ibu.edu.tr, ORCID no: 0000-0001-6304-4711

[2]Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, Bolu, Türkiye, biber_a@ibu.edu.tr, ORCID no: 0000-0001-5251-3156

Özet

Dördüncü sanayi devrimi ile finansal hizmetler, aracı kurumların (bankaların) yerini algoritmaların ve dağıtık defter teknolojilerinin (blokzincir) aldığı Web3 çağma geçiş yapmıştır. Bu bildiri, Merkeziyetsiz Finans (DeFi) ekosisteminin İslami finans prensipleri (Makasıd-ı Şeria) ile ontolojik uyumunu ve potansiyel fıkhi kısıtlarını teorik bir düzlemde tartışmaktadır. Çalışmada, DeFi'nin sunduğu akıllı sözleşmelerin (smart contracts) insan müdahalesini ortadan kaldırarak finansal süreçlerdeki şeffaflığı artırdığı ve aracı maliyetlerini %95'e kadar düşürerek İslami kitle fonlaması (crowdfunding) projelerine büyük ivme kazandırdığı vurgulanmaktadır. Merkeziyetsiz Otonom Organizasyonların (DAO), geleneksel "Müşaraka" (kâr-zarar ortaklığı) modelinin dijital ikizi olarak işlev görebileceği teorisi ileri sürülmektedir. Bununla birlikte, DeFi ekosisteminin karanlık yüzü olarak nitelendirilen; kripto varlıkların arkasında reel bir değer bulunmamasından kaynaklanan aşırı volatilite, spekülasyon (maysir) ve algoritmik kodlama hatalarının doğurabileceği belirsizlik (gharar) riskleri İslami finans açısından temel kısıtlar olarak incelenmektedir. Sonuç olarak, salt spekülatif kripto varlıklardan ziyade, değerli madenlere veya reel varlıklara (RWA) dayalı tokenizasyon modellerinin ve Regüle Edilmiş Merkeziyetsiz Finans (CeDeFi) yapılarının İslami Web3 ekosisteminin geleceğini şekillendireceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Merkeziyetsiz Finans (DeFi), Web3, Akıllı Sözleşmeler, Müşaraka, Kripto Varlıklar.

DECENTRALIZED FINANCE (DeFi) AND ISLAMIC PRINCIPLES: A THEORETICAL APPROACH TO THE OPPORTUNITIES AND CONSTRAINTS OF ISLAMIC FINANCE IN THE WEB3 ERA

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAMBEL[1]/ Prof. Dr. Ahmet Emre BİBER[2]

[1] Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Applied Sciences, Department of Finance and Banking, Bolu, Türkiye, hakancambel@ibu.edu.tr, ORCID no: 0000-0001-6304-4711

[2] Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Applied Sciences, Department of Finance and Banking, Bolu, Türkiye, biber_a@ibu.edu.tr, ORCID no: 0000-0001-5251-3156

Abstract

Along with the fourth industrial revolution, financial services have transitioned into the Web3 era, where intermediary institutions (banks) are being replaced by algorithms and distributed ledger technologies (blockchain). This paper theoretically discusses the ontological compatibility of the Decentralized Finance (DeFi) ecosystem with Islamic finance principles (Maqasid al-Shariah) and its potential fiqhi constraints. The study highlights that smart contracts offered by DeFi eliminate human intervention, thereby increasing transparency in financial processes, and reduce intermediary costs by up to 95%, giving a significant momentum to Islamic crowdfunding projects. The theory that Decentralized Autonomous Organizations (DAOs) can function as the digital twin of the traditional "Musharakah" (profit-and-loss sharing) model is put forward. However, the risks considered as the dark side of the DeFi ecosystem—such as extreme volatility stemming from the lack of real value behind crypto assets, speculation (maysir), and uncertainty (gharar) caused by algorithmic coding errors—are examined as fundamental constraints in terms of Islamic finance. In conclusion, it is predicted that rather than purely speculative crypto assets, tokenization models backed by precious metals or Real World Assets (RWA) and Regulated Decentralized Finance (CeDeFi) structures will shape the future of the Islamic Web3 ecosystem.

Keywords: Decentralized Finance (DeFi), Web3, Smart Contracts, Musharakah, Crypto Assets

1. GİRİŞ

Küresel finansal sistem, internetin gelişim evrelerine paralel olarak köklü bir ontolojik dönüşüm geçirmektedir. Web2 çağında finansal işlemler, güven unsurunu tesis eden merkezi otoriteler (bankalar, takas kurumları ve düzenleyici otoriteler) aracılığıyla yürütülürken; Web3 çağı, güvenin kriptografik algoritmalar ve dağıtık defter teknolojileri (blokzincir) aracılığıyla doğrudan kodlara gömüldüğü "Merkeziyetsiz Finans" (Decentralized Finance - DeFi) paradigmasını doğurmuştur (Laldin ve Djafri, 2019). DeFi ekosistemi, finansal sözleşmelerin otonom akıllı sözleşmeler (smart contracts) vasıtasıyla eşler arası (P2P) bir ağda yürütülmesini sağlayarak, geleneksel bankacılıktaki "aracılık" (intermediation) faaliyetlerini tasfiye etmektedir.

İslami finans perspektifinden bakıldığında bu dönüşüm, hem devasa fırsatlar hem de karmaşık fıkhi kısıtlar barındırmaktadır. İslami finansın temel amacı (Makasıd-ı Şeria), servetin adil dağılımını sağlamak, faizi (riba), aşırı belirsizliği (gharar) ve spekülasyonu (maysir) engellemektir (Alshater vd., 2022; Meera, 2018). DeFi'nin sunduğu şeffaf, izlenebilir ve sansürlenemez altyapı, İslami finansın gerektirdiği "Gharar'dan arındırılmış" sözleşme yapısını güçlendirme potansiyeline sahiptir (Abu-Bakar, 2017). Ancak, aynı ekosistem içerisinde faaliyet gösteren getiri madenciliği (yield farming), staking ve flaş krediler (flash loans) gibi uygulamalar, geleneksel finansın faiz ve spekülasyon odaklı yapısını merkeziyetsiz ağlarda yeniden üreterek İslami prensiplerle derinden çelişebilmektedir (Meera, 2018). Bu çalışma, İslami finansın Web3 çağındaki konumunu, merkeziyetsiz finansın sunduğu fırsatları ve taşıdığı fıkhi kısıtları kavramsal ve teorik bir bütünlük içinde analiz etmeyi amaçlamaktadır.

2. WEB3 VE MERKEZİYETSİZ FİNANSIN (DeFi) ONTOLOJİK TEMELLERİ

Web3, internetin salt bir bilgi paylaşım platformu olmaktan çıkıp, "değer transferinin" gerçekleştirildiği anlamsal ve merkeziyetsiz bir ağa dönüşmesini ifade eder. Bu ağın finansal omurgası olan DeFi, geleneksel finans (TradFi) sisteminin aksine, kapalı kaynak kodlu merkezi veri tabanları kullanmaz. Bunun yerine, açık kaynak kodlu blokzincir ağları (örneğin Ethereum) üzerinde çalışan akıllı sözleşmeler aracılığıyla borç verme, borç alma, varlık takası ve getiri sağlama işlemlerini kurgular (Laldin ve Djafri, 2019).

İslami finans felsefesi açısından bu yapının en dikkat çekici özelliği, geleneksel bankaların "güven satma" tekelini kırmasıdır. İnsan müdahalesini ve bürokrasiyi ortadan kaldıran akıllı sözleşmeler, sözleşme şartları yerine getirildiğinde fonların anında transfer edilmesini sağlar (Laldin ve Djafri, 2019). İşlem maliyetlerini geleneksel sistemlere göre %95'e varan oranlarda düşürebilen bu teknoloji, sermayenin tabana yayılmasına ve finansal kapsayıcılığa (financial inclusion) doğrudan hizmet etme potansiyeline sahiptir (Abu-Bakar, 2017; Muneeza vd., 2018).

3. İSLAMİ FİNANS PERSPEKTİFİNDEN WEB3 FIRSATLARI: GÜVENİN KODLANMASI

DeFi ekosistemi, içerdiği teknolojik mekanizmalar sayesinde İslami bankacılığın mevcut yapısal sorunlarına (yüksek maliyet, şeffaflık eksikliği, bürokrasi) yenilikçi çözümler sunmaktadır.

3.1. Akıllı Sözleşmeler ve Şeffaflık İslam hukukunda ticari sözleşmelerin geçerliliği, tarafların hak ve yükümlülüklerinin kesin olarak bilinmesine ve sözleşme şartlarında belirsizlik (gharar) bulunmamasına bağlıdır. Akıllı sözleşmeler (smart contracts), ifa koşullarını kriptografik kodlarla blokzincire kazıyarak sözleşmenin geriye dönük olarak değiştirilmesini (immutable) imkânsız kılar (Abu-Bakar, 2017). Bu teknoloji sayesinde, Murabaha, İcare veya Müşaraka gibi İslami akitlerdeki şartlar koda dökülebilir (Shariah-in-code); böylece uyuşmazlıklar, insan hatası ve hukuki ihtilaflar algoritmik bir kesinlikle ortadan kaldırılır (Laldin ve Djafri, 2019).

3.2. Merkeziyetsiz Otonom Organizasyonlar (DAO) ve Dijital Müşaraka Web3 ekosistemindeki Merkeziyetsiz Otonom Organizasyonlar (DAO), hiyerarşik bir yönetim yapısı yerine, topluluk üyelerinin kriptografik oy verme (voting) sistemleriyle karar aldığı ortaklık yapılarıdır (Muneeza vd., 2018). Bir DAO içerisindeki yatırımcıların, sermayeleri (token'ları) oranında projelerin kârına ve zararına ortak olmaları, İslami finanstaki "Müşaraka" (kâr-zarar ortaklığı) sözleşmesinin dijital dünyadaki kusursuz bir tezahürü olarak değerlendirilebilir. Yönetim kurulu veya merkezi bir CEO yerine algoritmaların ve topluluk mutabakatının esas alınması, İslami şura (danışma) prensibiyle de kavramsal bir uyum sergiler.

3.3. Varlık Tokenizasyonu (RWA) ve Sukuk İhracının Evrimi Reel varlıkların (Real World Assets - RWA) blokzincir üzerinde dijital token'lara dönüştürülmesi (tokenizasyon), varlıkların çok küçük paylara bölünmesine (fractional ownership) imkân tanır (Alshater vd., 2022). Sukuk (İslami menkul kıymet) ihracında tokenizasyon kullanılması, yatırımcıların projelerin alt varlıklarındaki mülkiyet zincirini şeffaf bir şekilde anlık olarak izlemesini sağlar (Alshater vd., 2022). Bu şeffaflık, Sukuk pazarındaki sahiplik belirsizliklerini (Gharar) ve ikincil piyasalardaki spekülasyon (Maysir) risklerini minimize ederek operasyonel hızı artırır (Alshater vd., 2022).

3.4. Kitle Fonlaması ve Sosyal Finans Entegrasyonu Kitle fonlaması (crowdfunding), internet üzerinden geniş kitlelerden fon toplayarak finansal dışlanmış (unbanked) grupların finansmana erişimini sağlar (Muneeza vd., 2018). Blokzincir destekli İslami kitle fonlaması platformları, Mudaraba ve Müşaraka sözleşmelerini akıllı sözleşmelere entegre ederek, aracı kurum maliyetleri olmaksızın girişimciler ile fon sahiplerini adil bir şekilde buluşturur (Muneeza vd., 2018; Laldin ve Djafri, 2019). Ek olarak, zekat ve vakıf gibi İslami sosyal finans

araçlarının blokzincir üzerinden toplanıp dağıtılması (ZakatTech), bağışların uçtan uca (end-to-end) izlenebilirliğini sağlayarak yolsuzlukları önler ve toplumsal güveni maksimize eder (Laldin ve Djafri, 2019).

4. DeFi EKOSİSTEMİNİN FIKHİ KISITLARI VE RİSKLERİ (THE DARK SIDE OF DeFi)

Web3 teknolojisinin sunduğu şeffaflık vizyonuna rağmen, mevcut DeFi uygulamalarının büyük bir bölümü, İslami finansın ontolojik temelleriyle çatışan spekülatif ve faiz odaklı mekanizmalar barındırmaktadır.

4.1. Kripto Varlıkların Fıkhi Ontolojisi: Mal ve Para İkilemi İslam hukukunda bir değerin mübadele unsuru olabilmesi için "Mal" (property) statüsünde olması; yani arzulanabilir, depolanabilir ve fıkhen meşru (mutaqawwam) olması gerekir (Abu-Bakar, 2017). Bir varlığın "Para" (currency) olarak kabul edilebilmesi için ise mübadele aracı, değer ölçüsü ve hesap birimi olma işlevlerini, geniş kitlelerin veya devlet otoritesinin kabulüyle yerine getirmesi şarttır (Abu-Bakar, 2017; Meera, 2018). Bitcoin ve diğer itibari kripto paralar (fiat cryptocurrencies), içsel bir değere (intrinsic value) sahip olmadıkları ve arkalarında sorumlu bir merkezi otorite bulunmadığı için fıkhi eleştirilerin merkezinde yer almaktadır (Meera, 2018). Meera (2018), içsel değeri olmayan sanal varlıkların uzun vadede servet koruma (hafiziyet-i mal) işlevini yerine getiremeyeceğini ve bu nedenle Makasıd-ı Şeria ile bağdaşmadığını savunmaktadır.

4.2. Riba Şüphesi: Getiri Madenciliği (Yield Farming) ve Staking DeFi ekosistemindeki likidite havuzlarına kripto varlık kilitleyerek (staking) veya borç verme protokollerine (lending protocols) fon sağlayarak (yield farming) algoritmik bir getiri elde etme mekanizması, geleneksel bankacılıktaki faizin (Riba) merkeziyetsiz versiyonudur (Meera, 2018). İslami finansta para yalnızca bir mübadele aracıdır; paranın (veya token'ın) kendi başına bir emtia gibi kiralandığı, ticari bir riske iştirak edilmeksizin önceden belirlenmiş sabit veya algoritmik değişken oranlı faiz kazanıldığı bu yapılar, Riba yasağını açıkça ihlal etmektedir (Meera, 2018).

4.3. Maysir (Spekülasyon) ve Aşırı Volatilite Kripto varlıkların arkasında reel bir ekonomik değer olmaması, fiyatlamaların tamamen arz-talep ve piyasa psikolojisine dayalı olarak şekillenmesine yol açmaktadır (Meera, 2018). Bu aşırı volatilite ve yatırımcıların reel bir iktisadi faaliyet olmaksızın sadece fiyat artışı beklentisiyle alım-satım yapması (sıfır toplamlı oyun), sistemi bir yatırım aracından ziyade spekülatif bir kumar (Maysir/Qimar) arenasına dönüştürmektedir (Meera, 2018; Alshater vd., 2022). Aynı blokzincir bloğu içerisinde saniyeler içinde teminatsız kredi alınarak arbitraj yapılmasına olanak tanıyan "Flaş Krediler" (Flash Loans) gibi DeFi ürünleri, piyasa manipülasyonunu algoritmik olarak meşrulaştıran sistemlerdir ve İslami iktisadın adalet ilkesiyle çelişir (Meera, 2018).

4.4. Gharar (Belirsizlik) ve Güvenlik Zafiyetleri DeFi ağlarının anonim (veya yarı-anonim) yapısı, merkezi bir otoritenin eksikliğiyle birleştiğinde ciddi bir belirsizlik (Gharar) ortamı yaratmaktadır (Abu-Bakar, 2017;

Alshater vd., 2022). Akıllı sözleşmelerde meydana gelebilecek bir kodlama hatası (bug) veya dış siber saldırılar (hack) durumunda, işlemlerin geri alınamaz (irreversible) olması yatırımcıların tüm fonlarını bir saniyede kaybetmesine neden olabilir (Abu-Bakar, 2017). Hukuki bir muhatabın bulunmaması ve kara para aklama (AML) gibi yasa dışı faaliyetlerin ağ üzerinden rahatlıkla yürütülebilmesi, sistemin Şeri meşruiyetini gölgelemektedir (Abu-Bakar, 2017).

5. ALTERNATİF ÇÖZÜMLER: VARLIĞA DAYALI KRİPTO PARALAR VE CeDeFi

Mevcut itibari kripto paraların barındırdığı fıkhi riskleri (Maysir, Gharar, içsel değer eksikliği) aşmak amacıyla, fiziksel altına veya diğer değerli madenlere dayalı kripto varlıklar (Precious Metal Backed Cryptocurrency - PMBC) geliştirilmektedir (Alshater vd., 2022). Dubai menşeli "OneGram" ve altın ile sabit itibari para birimleriyle desteklenen "X8 AG" gibi projeler, kripto varlıklara fiyat istikrarı (stablecoin yapısı) kazandırarak Şeri uyumu güçlendiren çözümler olarak literatürde öne çıkmaktadır (Meera, 2018; Alshater vd., 2022). Bu varlıklar, içsel bir değere (real asset) sahip olmaları ve blokzincirin sağladığı şeffaf transfer avantajlarını kullanmaları hasebiyle İslami para (an-Nuqud al-Islamiyyah) kriterlerini ideal şekilde karşılamaktadır (Meera, 2018).

Ayrıca, DeFi'nin güvencesiz ve tamamen merkeziyetsiz (izinsiz) yapısına karşılık, Şeri kurulların denetiminden geçen, Müşterini Tanı (KYC) ve Kara Para Aklamayı Önleme (AML) standartlarının kodlara "akıllı sözleşme" koşulu olarak eklendiği "Regüle Edilmiş Merkeziyetsiz Finans" (CeDeFi) yapıları, İslami finansın Web3 çağındaki en güvenilir ve sürdürülebilir vizyonu olarak değerlendirilmektedir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Merkeziyetsiz Finans (DeFi) ve Web3 teknolojileri, finansal hizmetlerin aracı kurumlara ihtiyaç duymadan, eşler arası ağlarda yürütüldüğü tarihsel bir kırılma noktasını temsil etmektedir (Laldin ve Djafri, 2019). İslami finans kurumları için bu teknoloji; bürokrasiyi ortadan kaldıran, işlem maliyetlerini minimize eden ve kitle fonlaması ile Müşaraka yapılarını dijitalleştirerek yoksul kitleleri finansal sisteme dahil eden eşsiz bir fırsattır (Muneeza vd., 2018).

Ancak DeFi ekosisteminin mevcut pratiklerinin büyük çoğunluğu, getiri madenciliği, aşırı spekülasyon ve anonimliğin getirdiği belirsizlikler nedeniyle Riba, Maysir ve Gharar yasaklarını açıkça ihlal eden bir yapıdadır (Meera, 2018; Abu-Bakar, 2017). İslami finansın Web3 çağında sürdürülebilir bir paradigma kurabilmesi, salt teknolojik araçları kopyalamakla değil; Şeri kuralların doğrudan akıllı sözleşme kodlarına gömüldüğü (Shariah-in-code), reel varlıklara dayalı (RWA) ve regüle edilmiş ağlar inşa etmesiyle mümkün olacaktır (Alshater vd., 2022). Politika yapıcıların, fıkıh uzmanlarının ve yazılım mühendislerinin işbirliğiyle oluşturulacak "İslami

CeDeFi" standartları, adil, şeffaf ve kapsayıcı bir küresel dijital ekonominin inşasında kritik bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

Abu-Bakar, M. M. (2017). Shariah Analysis of Bitcoin, Cryptocurrency, and Blockchain. *Blossom Finance*.

Alshater, M. M., Saba, I., Supriani, I. ve Rabbani, M. R. (2022). Fintech in islamic finance literature: A review. *Heliyon*, 8, e10385.

Laldin, M. A. ve Djafri, F. (2019). Islamic Finance in the Digital World: Opportunities and Challenges. *Journal of Islam in Asia*, 16(3), 284-299.

Meera, A. K. M. (2018). Cryptocurrencies from Islamic Perspectives: The Case of Bitcoin. *Bulletin of Monetary Economics and Banking*, 20(4), 475-492.

Muneeza, A., Arshad, N. A. ve Arifin, A. T. (2018). The Application of Blockchain Technology in Crowdfunding: Towards Financial Inclusion via Technology. *International Journal of Management and Applied Research*, 5(2), 82-98.

DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİ VE SEKTÖREL KULLANIMI ÖRNEKLERİ: LİTERATÜR İNCELEMESİ

Doç. Dr., Zümrüt Hatice ŞEKKELİ[1]
[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik,
zhkiper@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5090-4372

Özet

Fiziksel varlıkların ve proseslerin sanal ortamda dinamik ve eşzamanlı olarak modellenmesini mümkün kılan Dijital ikiz teknolojisi; zamanla dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Gerçek zamanlı verilerle sürekli güncellenen dijital ikiz modelleri, yalnızca fiziksel sistemlerin mevcut durumunu yansıtmakla kalmamakta; geleceğe yönelik senaryoların test edilmesine, olası sorunların öngörülmesine ve karar süreçlerinin iyileştirilmesine de olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle dijital ikiz teknolojisi, üretimden hizmet sektörüne kadar çok geniş bir alanda işletmelerin dijital ve stratejik dönüşümünü desteklemektedir.

Bu çalışmanın amacı, dijital ikiz teknolojisinin sektörel kullanımına ilişkin güncel literatürü incelemek, öne çıkan uygulamaları karşılaştırmak ve mevcut araştırma eğilimlerini bütüncül bir çerçevede ortaya koymaktır. Bu doğrultuda çalışma, yayımlanan Türkçe ve İngilizce akademik çalışmalar ile doğrulanabilir kurumsal uygulama kaynaklarının değerlendirildiği bütünleştirici bir literatür incelemesi olarak tasarlanmıştır. İncelenen çalışmalar; ikizi yapılan varlık veya süreçler, uygulama alanları ve sağlanan faydalar bakımından değerlendirilmiştir.

Bulgular, dijital ikiz teknolojisinin sektörlere göre farklı amaç ve olgunluk düzeylerinde kullanıldığını göstermektedir. Sağlık alanında insan ve organ dijital ikizleri kişiselleştirilmiş tedavi planlamasıyla ilişkilendirilirken, şehircilikte Virtual Singapore ve Helsinki 3D gibi projeler kentsel planlama ve sürdürülebilirlik uygulamalarıyla öne çıkmaktadır. Üretimde dijital ikizler kalite kontrol, kestirimci bakım ve süreç optimizasyonunda; eğitimde deneyimsel öğrenme ve güvenli simülasyon ortamlarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Enerji sektöründe EDF öncülüğündeki uygulamalar bakım, güvenlik ve verimlilik odaklı çözümler sunarken, afet yönetiminde deprem ve tsunami senaryolarının modellenmesi risk azaltma ve hazırlık çalışmalarını desteklemektedir. Lojistik sektöründe ise DHL, Maersk ve FedEx tarafından açıklanan uygulamalar depo yönetimi, taşıma ağlarının görünürlüğü, gecikme tahmini ve kaynak planlaması açısından dikkat çekmektedir. Genel olarak dijital ikizlerin gerçek zamanlı görünürlük, tahmin, senaryo analizi ve kaynak optimizasyonu sağladığı; buna karşılık veri kalitesi, birlikte çalışabilirlik, siber güvenlik, yatırım maliyeti ve veri yönetişimi sorunlarının yaygınlaşmayı sınırlandırdığı belirlenmiştir. Çalışmanın, dijital ikiz teknolojisinin sektörel gelişimini karşılaştırmalı biçimde ortaya koyarak gelecekteki araştırmalara ve uygulamalara yol göstermesi beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Dijital İkiz, Sektörel Uygulamalar, Dijital Dönüşüm

DIGITAL TWIN TECHNOLOGY AND EXAMPLES OF SECTORAL APPLICATIONS: A LITERATURE REVIEW

Abstract

Digital twin technology, which enables the dynamic and simultaneous modeling of physical assets and processes in virtual environments, has become a fundamental component of digital transformation. Continuously updated with real-time data, digital twin models not only represent the current state of physical systems but also enable future scenarios to be tested, potential problems to be predicted, and decision-making processes to be improved. In this respect, digital twin technology supports the digital and strategic transformation of organizations across a wide range of fields, from manufacturing to services.

This study aims to review the current literature on the sectoral applications of digital twin technology, compare prominent applications, and present existing research trends within an integrated framework. Accordingly, the study was designed as an integrative literature review based on Turkish and English academic publications and verifiable institutional sources describing practical applications. The reviewed studies were evaluated according to the assets or processes represented, application areas, and benefits provided.

The findings indicate that digital twin technology is used for different purposes and at varying levels of maturity across application areas. Human and organ digital twins support personalized treatment planning in healthcare, while projects such as Virtual Singapore and Helsinki 3D contribute to urban planning and sustainability. Digital twins are used for quality control, predictive maintenance, and process optimization in manufacturing; experiential learning and safe simulation in education; and maintenance, safety, and efficiency in the energy sector. Disaster management applications support risk reduction and preparedness through earthquake and tsunami simulations. In logistics, applications announced by DHL, Maersk, and FedEx contribute to warehouse management, transport network visibility, delay prediction, and resource planning. Overall, digital twins provide real-time visibility, forecasting, scenario analysis, and resource optimization. However, data quality, interoperability, cybersecurity, investment costs, and data governance remain major barriers to their widespread adoption.

Keywords: Digital Twin, Sectoral Applications, Digital Transformation

1. GİRİŞ

Dijital dönüşüm, işletmeler açısından yalnızca mevcut süreçlerin elektronik ortama aktarılması değildir. Asıl dönüşüm, fiziksel sistemlerden elde edilen verilerin karar modelleriyle bütünleştirilmesi ve üretilen kararların yeniden fiziksel sisteme yansıtılmasıyla ortaya çıkmaktadır (F. Tao vd., 2019). Bu dönüşüm döngüsünün en belirgin uygulamalarından biri dijital ikiz teknolojisidir. Dijital ikiz, fiziksel bir varlığın, sürecin veya sistemin güncel durumunu yansıtan ve fiziksel yapı ile dijital karşılığı arasında sürekli veri alışverişine dayanan dinamik bir modeldir (Grieves & Vickers, 2017). Sensörler, kurumsal bilgi sistemleri, simülasyon modelleri ve analitik araçlarla beslenen bu yapı; izleme, tahmin, optimizasyon ve kontrol işlevlerini bütünleştirerek karar süreçlerini desteklemektedir (Fuller vd., 2020).

Dijital ikiz kavramının ürün yaşam döngüsü yönetimi ve akıllı üretim bağlamında gelişmesi, ilk dönem araştırmalarının ağırlıklı olarak ürün, makine ve fabrika sistemlerine odaklanmasına yol açmıştır (Kritzinger vd., 2018). Nesnelerin İnterneti, bulut ve uç bilişim, büyük veri analitiği, yapay zekâ, artırılmış gerçeklik ve gelişmiş haberleşme altyapılarındaki ilerlemeler ise dijital ikizlerin teknik kapasitesini ve uygulama alanlarını genişletmiştir (Fuller vd., 2020). Bu gelişmeler sonucunda dijital ikizler; sağlık, enerji, şehircilik, eğitim, afet yönetimi ve lojistik gibi farklı alanlarda simülasyon, izleme, değerlendirme, tahmin, optimizasyon ve kontrol amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Yao vd., 2023). Bununla birlikte dijital ikiz uygulamalarının gelişmişlik düzeyi sektörler arasında farklılaşmaktadır. Sınırları ve veri kaynakları görece belirli olan üretim sistemlerinde fiziksel ve dijital varlıklar arasında sürekli veri akışı daha kolay kurulabilmektedir (Kritzinger vd., 2018). Buna karşılık kentsel dijital ikizler, farklı kurumlara ve paydaşlara ait çok sayıda veri kaynağını bir araya getirdiğinden veri sahipliği ve yönetişim sorunlarını daha belirgin hâle getirmektedir (Dembski vd., 2020). Benzer şekilde tedarik zinciri dijital ikizlerinin oluşturulması, bağımsız işletmeler arasında veri paylaşımı ve sistemlerin birlikte çalışabilirliğini gerektirmektedir (Ivanov & Dolgui, 2020).

Bu çalışma, dijital ikiz teknolojisinin farklı sektörlerdeki uygulama alanlarını ve bu uygulamaların sağladığı başlıca faydaları karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Bu doğrultuda üretim, sağlık, şehircilik, eğitim, enerji, afet yönetimi ile lojistik ve tedarik zinciri alanlarındaki uygulamalar ele alınmış; teknolojinin sektörlere göre kullanım amaçları ve sağladığı faydalar bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

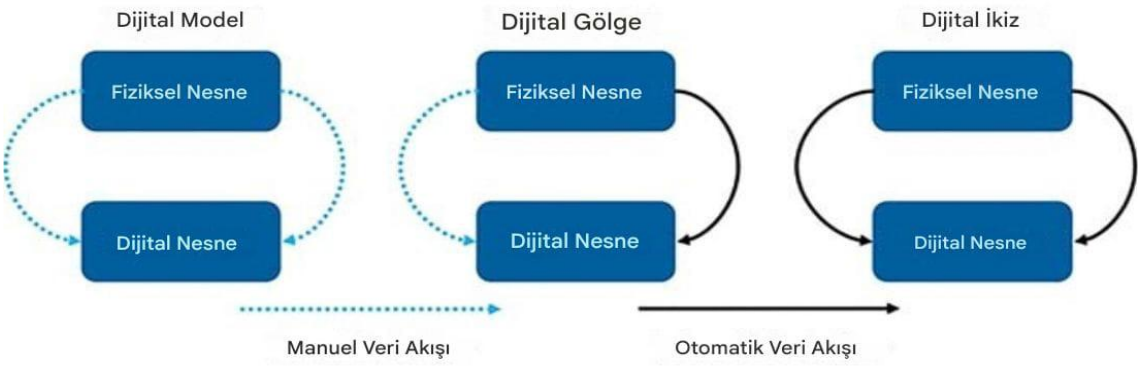
1.1. Kuramsal Çerçeve

Dijital ikiz düşüncesinin kökeni, fiziksel sistemlerin davranışını eşlenik modellerle izlemeye dayanan havacılık ve uzay uygulamalarına kadar götürülmektedir. Kavramın sistematik biçimde ürün yaşam döngüsü yönetimiyle ilişkilendirilmesi ise Grieves'in fiziksel ürün, sanal ürün ve bunlar arasındaki bağlantıyı esas alan

yaklaşımıyla gerçekleşmiştir. Grieves ve Vickers (2017), dijital ikizi belirli bir fiziksel ürünün yapısını ve davranışını ayrıntılı biçimde açıklayan bilgi yapıları üzerinden ele almıştır. NASA'nın sonraki tanımları da fiziksel sistemin geçmiş ve güncel verilerinin çok ölçekli simülasyonlarla birleştirilmesine vurgu yapmıştır (Glaessgen & Stargel, 2012).

Kavramın gelişiminde üç aşama söz konusudur. İlk aşamada sanal prototipleme ve çevrimdışı simülasyon öne çıkmıştır. İkinci aşamada sensörler ve siber-fiziksel sistemler sayesinde fiziksel varlığın durumu sanal modele otomatik olarak aktarılmıştır. Üçüncü aşamada ise yapay zekâ ve optimizasyon araçlarıyla sanal model yalnızca gözlemleyen değil, olası gelecek durumlarını değerlendiren ve fiziksel sisteme karar iletebilen bir yapıya dönüşmüştür (Fei Tao vd., 2019), Zhang ve Nee'nin (2019) beş boyutlu modeli; fiziksel varlık, sanal varlık, hizmetler, ikiz verisi ve bağlantılar bileşenlerini bir araya getirerek bu bütünleşmeyi açıklamaktadır (Tao vd., 2022; Crespi vd., 2023).

Dijital model, dijital gölge ve dijital ikiz kavramları, fiziksel varlıkların sanal ortamda temsil edilmesine dayanmaları nedeniyle sıklıkla birbirine karıştırılmaktadır. Ancak bu kavramlar arasındaki temel farklılık, fiziksel sistem ile dijital temsil arasındaki veri akışının yönü ve otomasyon düzeyidir (Şekil 1).



Şekil 1. Dijital Model, Dijital Gölge ve Dijital İkiz için entegrasyon seviyeleri (Fuller vd., 2020)

Dijital modelde fiziksel ve sanal nesne arasında otomatik bir bağlantı bulunmadığından veriler elle aktarılmaktadır. Dijital gölgede fiziksel sistemde meydana gelen değişiklikler otomatik olarak dijital temsile yansıtılmakta, ancak dijital ortamdan fiziksel sisteme doğru otomatik bir veri akışı gerçekleşmemektedir. Dijital ikizde ise veri alışverişi iki yönlüdür; fiziksel sistemden elde edilen veriler dijital modeli güncellerken, modelin ürettiği analiz, tahmin veya optimizasyon sonuçları da fiziksel sistemdeki karar ve uygulamalara geri beslenebilmektedir. Bu nedenle bir modelin üç boyutlu veya görsel açıdan gerçekçi olması, onun dijital ikiz

olarak nitelendirilmesi için tek başına yeterli değildir (Kritzinger vd., 2018). Bu sınıflandırma, birbirinin yerini alan tarihsel aşamalardan çok farklı veri bütünleşmesi düzeylerini ifade etmekte; uygulamanın amacı ve gereksinimleri doğrultusunda her üç yapı da kullanılmaya devam etmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Dijital Model, Dijital Gölge ve Dijital İkizin Temel Farklılıkları ve Başlıca Kullanım Alanları

Yapı	Başlıca kullanım amacı	Uygulama örnekleri
Dijital model	Tasarım, sanal prototipleme ve çevrimdışı simülasyon	Ürün ve makine tasarımı, BIM tabanlı bina modelleri, fabrika ve depo yerleşim planları, eğitim simülasyonları
Dijital gölge	Fiziksel sistemin otomatik verilerle izlenmesi	Makine durum izleme, bina enerji tüketiminin takibi, araç ve yük konumlarının izlenmesi, stok ve hasta verilerinin anlık görüntülenmesi
Dijital ikiz	Tahmin, optimizasyon ve kararların fiziksel sisteme geri beslenmesi	Kestirimci bakım kararlarının sisteme geri beslenmesi, üretim sürecinin dinamik optimizasyonu, trafik ve enerji sistemlerinin uyarlanması, dinamik rota ve kaynak planlaması

Kaynak: Kritzinger vd. (2018) tarafından geliştirilen sınıflandırma temel alınarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Dijital ikizin Tablo 1'de belirtilen tahmin, optimizasyon ve geri besleme işlevlerini yerine getirebilmesi, birbirini tamamlayan bir teknoloji kümesinin birlikte kullanılmasını gerektirmektedir. Dijital ikiz, tek bir teknolojiye değil, birbirini tamamlayan bir teknoloji kümesine dayanmaktadır. Dijital ikiz modellemesi, fiziksel varlığın doğru biçimde temsil edilmesi ve izleme, simülasyon, tahmin ve optimizasyon gibi işlevlerin gerçekleştirilmesi açısından temel önem taşımaktadır (Tao vd., 2022). Nesnelerin İnterneti sensörleri fiziksel sistemden veri toplarken, haberleşme ağları ve veri platformları bu verilerin zamanında aktarılmasını sağlamaktadır. Bulut bilişim geniş ölçekli depolama ve hesaplama kapasitesi sunarken, uç bilişim gecikmenin kritik olduğu süreçlerde verileri kaynağa yakın işlemektedir. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi arıza tahmini, örüntü tanıma ve talep kestirimi gibi işlevleri yerine getirmekte; simülasyon ve optimizasyon araçları ise alternatif senaryoların fiziksel sisteme müdahale edilmeden sınanmasına olanak sağlamaktadır. Artırılmış ve sanal gerçeklik teknolojileri de karar vericilerin karmaşık modelleri anlamasını ve eğitim ortamlarında deneyimlemesini kolaylaştırmaktadır (Botín-Sanabria vd., 2022; Fuller vd., 2020). Bununla birlikte başarılı bir dijital ikiz uygulaması, teknolojik altyapının yanı sıra veri yönetimi, modelleme ve sistem entegrasyonu alanlarında yeterli kurumsal yetkinlik gerektirmektedir (Crespi vd., 2023).

Bu bileşenlerin varlığı tek başına değer yaratmamaktadır. Dijital ikizin sağladığı değer, güncel ve güvenilir verilerin uygun karar problemleriyle ilişkilendirilmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda dijital ikizler mevcut durumun görünür hâle getirilmesi, sapma ve sorunların belirlenmesi, gelecekteki gelişmelerin tahmin edilmesi ve alternatif eylemlerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilmektedir. Böylece

fiziksel sisteme doğrudan müdahale edilmeden farklı senaryolar sınanabilmekte ve kaynakların daha etkili kullanılması sağlanabilmektedir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, dijital ikiz teknolojisinin farklı sektörlerdeki uygulama alanlarını ve sağladığı faydaları incelemek amacıyla bütünleştirici literatür incelemesi olarak tasarlanmıştır. Bu yaklaşım, farklı araştırma yöntemleriyle hazırlanmış akademik çalışmaların yanı sıra uygulama örneklerini açıklayan doğrulanabilir kurumsal kaynakların birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Literatür taraması Eylül 2026 tarihinde güncellenmiştir. Bu süreçte Türkçe ve İngilizce akademik yayınlar ile yayınevi platformları, kamu kurumları ve işletmelerin resmî kaynakları incelenmiştir. Kaynakların belirlenmesinde "dijital ikiz" kavramı; üretim, sağlık, şehircilik, eğitim, enerji, afet yönetimi, lojistik ve tedarik zinciri alanlarıyla ilişkilendirilerek ele alınmıştır. İncelenen sektörlerdeki kullanım biçimlerini veya sağlanan faydaları açıklayan çalışmalar değerlendirmeye alınmış; kavramdan yalnızca yüzeysel biçimde söz eden kaynaklar kapsam dışında bırakılmıştır.

Seçilen çalışmalar; üretim, sağlık, akıllı şehirler ve kentsel yönetim, eğitim, enerji, afet yönetimi ile lojistik ve tedarik zinciri yönetimi olmak üzere yedi uygulama alanı altında sınıflandırılmıştır. Her sektörde öne çıkan kullanım biçimleri ve bu uygulamaların sağladığı faydalar betimsel olarak karşılaştırılmıştır. Kurumsal kaynaklar, akademik kanıtların yerine değil, belirli uygulama örneklerinin ve açıklanan kullanım amaçlarının doğrulanması amacıyla kullanılmıştır.

3. BULGULAR

İncelenen çalışmalar, dijital ikiz teknolojisinin sektörlerin ihtiyaçlarına ve ikizi yapılan fiziksel varlık ya da süreçlerin özelliklerine göre farklı biçimlerde kullanıldığını göstermektedir. Uygulamalar sektörlere göre çeşitlenmekle birlikte gerçek zamanlı görünürlük sağlama, alternatif senaryoları test etme, olası gelişmeleri tahmin etme ve kaynak kullanımını iyileştirme amaçları ortaklaşmaktadır. Bu bölümde dijital ikiz uygulamaları; üretim, sağlık, şehircilik, eğitim, enerji, afet yönetimi ile lojistik ve tedarik zinciri yönetimi başlıkları altında incelenmiştir. Bölümün sonunda sektörel uygulamalar, sağlanan faydalar ve öne çıkan örnekler bakımından karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

3.1. Üretim Sektörü

Üretim, dijital ikiz teknolojisinin en yaygın ve gelişmiş biçimde kullanıldığı sektörlerden biridir. Dijital ikiz kavramının ürün yaşam döngüsü ve akıllı üretim bağlamında gelişmiş olması, teknolojinin ilk olarak üretim sistemlerinde yaygınlaşmasını sağlamıştır (Kritzinger vd., 2018). Makine, üretim hattı, ürün ve fabrika gibi

fiziksel yapıların sınırlarının belirli, süreçlerinin standartlaştırılabilir ve performans göstergelerinin ölçülebilir olması, dijital modellerin oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır. Üretim işletmelerinde sensör ve otomasyon sistemlerinin uzun süredir kullanılması da fiziksel sistem ile dijital model arasında sürekli veri akışının kurulmasına uygun bir altyapı sunmaktadır. Uhlemann, Lehmann ve Steinhilper (2017), otomatik ve çok kaynaklı veri toplamanın üretim sistemi ile dijital karşılığı arasında bağlantı kurulmasına ve üretim süreçlerinin daha kısa gecikmeyle optimize edilmesine olanak sağladığını belirtmektedir. Bunu tamamlayan diğer çalışmada Uhlemann, Schock, Lehmann vd. (2017); gerçek zamanlı veri toplama ile simülasyon temelli veri işlemenin dijital ikiz uygulamalarındaki önemini bir öğrenme fabrikası üzerinden ortaya koymaktadır.

Dijital ikizlerin üretim alanındaki dikkat çekici örneklerden biri Siemens'in Erlangen elektronik fabrikasıdır. Fabrikada fiziksel üretim hatlarından gerçek zamanlı olarak elde edilen veriler dijital ikize aktarılmakta; üretim süreçleri sanal ortamda test edilerek hat yerleşimi, malzeme akışı ve enerji kullanımı optimize edilmektedir (Siemens, 2024). Böylece olası sorunlar fiziksel üretim hattında değişiklik yapılmadan önce belirlenebilmekte ve farklı üretim senaryoları daha düşük maliyetle değerlendirilebilmektedir. Bir diğer örnek BMW Group'un Virtual Factory uygulamasıdır. BMW, üretim tesislerinin dijital karşılıklarını oluşturarak bina, ekipman, lojistik ve üretim verilerini ortak bir sanal ortamda birleştirmektedir. Bu ortamda fabrika yerleşimleri, robot hareketleri, lojistik sistemleri ve manuel üretim süreçleri gerçek tesislerde uygulanmadan önce test edilebilmektedir. BMW Group tarafından yapılan açıklamaya göre dijital ikiz uygulamaları 30'dan fazla üretim tesisinde kullanılmaktadır.

3.2. Sağlık Sektörü

Sağlık alanındaki dijital ikiz uygulamaları iki ana eksende ele alınabilir. İlk eksende insan vücudu, organlar ve fizyolojik sistemlerin kişiye özgü dijital modelleri oluşturularak tedavi seçenekleri, ilaç etkileri ve hastalıkların olası ilerleyişi değerlendirilmektedir. Björnsson vd. (2019), klinik, biyolojik, genetik ve yaşam tarzı verilerinin bireye özgü hesaplamalı modellerde birleştirilmesini kişiselleştirilmiş tıp açısından önemli bir fırsat olarak değerlendirmektedir. Corral-Acero vd. (2020) ise kardiyoloji alanında hasta özelinde tahmin yapılması ve tedavi seçeneklerinin değerlendirilmesi için dijital ikiz yaklaşımından yararlanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Sağlık alanında dijital ikizler yalnızca hasta ve organ düzeyinde değil, sağlık hizmetlerinin yönetiminde de kullanılabilmektedir. Klinik iş akışlarının, hasta hareketlerinin ve kaynak tahsisinin dijital ortamda modellenmesi, farklı kapasite ve hizmet senaryolarının fiziksel sisteme müdahale edilmeden değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Vallée (2023), dijital ikizlerin iş akışları ile kaynak dağılımını analiz

ederek klinik operasyonların iyileştirilmesine ve sağlık hizmetlerinde operasyonel verimliliğin artırılmasına katkı sağlayabileceğini belirtmektedir. Böylece sağlık alanındaki dijital ikizler, bireysel düzeyde kişiselleştirilmiş karar desteği; kurumsal düzeyde ise kapasite ve kaynak planlaması açısından fayda sağlayabilmektedir.

Sağlık alanındaki dikkat çekici örneklerden biri, Dassault Systèmes öncülüğünde yürütülen Living Heart Project'tir. Proje kapsamında insan kalbinin anatomik ve fizyolojik özelliklerini yansıtan sanal bir model geliştirilmiş; bu model kardiyovasküler cihazların tasarlanması ve dijital ortamda test edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Baillargeon vd., 2014), 2019). Hastane süreçlerine yönelik bir diğer örnek ise Çin'deki bir Şanghay belediye hastanesinde geliştirilen pilot dijital ikiz platformudur. İnsanlardan, fiziksel varlıklardan ve hastane süreçlerinden elde edilen verileri bütünleştiren platform; hastane faaliyetlerinin gerçek zamanlı izlenmesi, operasyonel görevlerin kontrol edilmesi ve karar süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla uygulanmıştır (Han vd., 2023). Ayrıca Siemens Healthineers ile Heidelberg Üniversite Hastanesi tarafından yürütülen çalışmalarda, hastaların MR görüntüleri ve EKG ölçümleri kullanılarak kalbin hastaya özgü dijital modeli oluşturulmaktadır. Bu model aracılığıyla kalbin fizyolojik davranışı ve farklı tedavilere verebileceği yanıtlar fiziksel müdahaleden önce değerlendirilebilmektedir (Siemens Healthineers, 2019).

3.3. Akıllı Şehirler ve Kentsel Yönetim

Şehircilik alanında dijital ikizler; binalar, ulaşım sistemleri, enerji altyapısı, çevresel göstergeler ve nüfus hareketleri gibi farklı kentsel unsurlara ait verileri ortak bir dijital modelde birleştirmektedir. Bu modeller arazi kullanımının planlanması, yeni yapı ve altyapı yatırımlarının değerlendirilmesi, trafik akışlarının izlenmesi ve çevresel etkilerin analiz edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Hämäläinen (2021), veriyle zenginleştirilen kentsel dijital ikizlerin akıllı şehir denemelerini hızlandırdığını, bilgiye dayalı karar süreçlerini güçlendirdiğini ve farklı paydaşların ortak bir platformda çalışmasını kolaylaştırdığını belirtmektedir.

Bu alandaki öne çıkan uygulamalardan biri Virtual Singapore projesidir. Gerçek zamanlı sensör verileriyle desteklenen üç boyutlu kent modeli; yapılaşma kararlarının, güneş enerjisi potansiyelinin, hava kalitesinin ve farklı kentsel düzenlemelerin sanal ortamda değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (GovTech Singapore, 2017). Helsinki'de geliştirilen Helsinki 3D ise açık veriler, coğrafi bilgi sistemleri, hava fotoğrafları ve sürekli güncellenen kentsel verilerden yararlanarak şehrin fiziksel çevresini dijital ortamda temsil etmektedir. Model, planlama ve tasarım çalışmalarının yanı sıra mesafe, yükseklik, hacim ve yüzey alanı gibi kentsel ölçümlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır (City of Helsinki, 2026). Bu uygulamalar, planlama

seçeneklerinin fiziksel çevreye müdahale edilmeden sınanması, kararların görselleştirilmesi ve paydaşlar arasındaki iletişimin güçlendirilmesi açısından fayda sağlamaktadır.

3.4. Eğitim Sektörü

Eğitim alanında dijital ikizler, özellikle uygulamalı beceri gerektiren mühendislik ve sağlık programlarında öğrencilerin gerçek sistemleri güvenli bir ortamda deneyimlemelerine olanak sağlamaktadır. TU Dortmund Üniversitesinde gerçekleştirilen bir uygulamada, proses mühendisliği öğrencileri için bir jet pompasının dijital ikizi Unreal Engine 4 kullanılarak oluşturulmuş ve sürükleyici sanal gerçeklik ortamında çevrim içi laboratuvar deneyine dönüştürülmüştür. Öğrencilerin gerçek hayattaki belirsiz bir problemi bağımsız biçimde çözmelerini gerektiren uygulama, dijital ikizlerin senaryo temelli ve deneyimsel öğrenmede kullanılabileceğini göstermiştir (Boettcher vd., 2023). Böylece öğrenciler fiziksel ekipmana zarar verme riski olmadan deney yapabilmekte, farklı koşulları tekrarlayabilmekte ve teori ile uygulama arasındaki ilişkiyi daha iyi kavrayabilmektedir.

3.5. Enerji Sektörü

Enerji sektöründe dijital ikizler; nükleer santraller, hidroelektrik tesisleri, rüzgâr türbinleri ve güneş enerjisi sistemleri gibi yüksek maliyetli varlıkların izlenmesi, arızaların öngörülmesi ve bakım faaliyetlerinin planlanması amacıyla kullanılmaktadır. Électricité de France (EDF), Fransa'daki nükleer tesislerin teknik belgeler, elektrik ve mekanik şemalar ile yapı planlarını içeren üç boyutlu dijital modellerini oluşturarak tesislerin tasarımından hizmetten çıkarılmasına kadar uzanan yaşam döngüsünü izlemeyi amaçlamaktadır. EDF'nin farklı enerji üretim tesislerinden topladığı operasyonel verilerin analizi, bakım ihtiyaçlarının önceden belirlenmesine, plansız duruşların azaltılmasına ve tesis kullanılabilirliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Électricité de France, 2019). Bu yönüyle dijital ikizler enerji sektöründe bakım, güvenlik, süreklilik ve operasyonel verimlilik açısından değer oluşturmaktadır.

3.6. Afet Yönetimi

Afet yönetiminde dijital ikizler; risk azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarında karar süreçlerini desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Kentsel yapı stoku, ulaşım ağı, nüfus hareketliliği, topoğrafik özellikler ile meteorolojik ve sismik verilerin ortak bir modelde bütünleştirilmesi; deprem, tsunami, taşkın, yangın ve tahliye senaryolarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Dianyou ve He (2022), altyapı sistemlerinin yaşam döngüsü boyunca dijital ikizlerden yararlanılmasının izleme, erken uyarı, hasar değerlendirme ve kaynak tahsisi süreçlerini destekleyebileceğini belirtmektedir. Bununla birlikte bu modellerin

afet yönetiminde etkili olabilmesi, güncel ve güvenilir verilerin sağlanmasına ve ilgili kurumlar arasında kesintisiz veri paylaşımının kurulmasına bağlıdır.

Japonya'da yürütülen Project PLATEAU kapsamında ise Tokyo'daki Shinagawa İstasyonu çevresinin üç boyutlu kent modeli kullanılarak büyük ölçekli tahliye senaryoları oluşturulmuş; afet risklerinin belirlenmesi ve farklı tahliye önlemlerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır (MLIT, 2023).

3.7. Lojistik Sektörü

Lojistik ve tedarik zincirinde dijital ikizler; tedarikçiler, depolar, taşıma araçları, stoklar, siparişler ve müşteri taleplerinden elde edilen verilerin dinamik bir modelde bütünleştirilmesini sağlamaktadır. Bu model üzerinde talep değişimleri, teslimat gecikmeleri, kapasite sorunları ve tedarik kesintileri gibi olası durumlar fiziksel sisteme müdahale edilmeden değerlendirilebilmektedir. Böylece işletmeler stok düzeylerini, depo yerleşimini, taşıma rotalarını ve kaynak kullanımını optimize edebilmekte; tedarik zincirinin görünürlüğünü ve dayanıklılığını artırabilmektedir (Ivanov & Dolgui, 2020).

Lojistik alanındaki uygulamalara bakıldığında, DHL Supply Chain'in Singapur'daki Tetra Pak deposu için geliştirdiği dijital ikiz öne çıkmaktadır. Nesnelerin İnterneti sensörleri ve operasyonel verilerle beslenen model; depo yoğunluğunun azaltılması, iş yükünün dağıtılması, kaynakların planlanması ve ekipman hareketlerinden kaynaklanan güvenlik risklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (DHL, 2019). Maersk'in konteyner terminallerinde kullandığı dijital ikiz uygulaması ise konteyner hacmi, gemi programları ve terminal verilerini bir araya getirerek gemilerin varış zamanlarının, yük miktarlarının ve ihtiyaç duyulacak vinç kapasitesinin tahmin edilmesini sağlamaktadır (Maersk, 2023). FedEx Office tarafından geliştirilen uygulamada da yaklaşık 2.200 mağaza, 18 baskı tesisi ve ülke çapındaki taşıma ağı dijital ortamda modellenmiş; farklı üretim ve teslimat senaryolarının maliyet, kapasite ve müşteri talepleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir (FedEx, 2021). Bu örnekler, dijital ikizlerin depo, terminal ve dağıtım ağı düzeylerinde farklı karar problemlerine uygulanabildiğini göstermektedir.

3.8. Dijital İkiz Uygulamalarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

İncelenen çalışmalar, dijital ikiz teknolojisinin uygulama alanlarına göre farklı fiziksel yapıları ve süreçleri temsil ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte uygulamaların ortak olarak izleme, tahmin, senaryo analizi ve kaynak optimizasyonu amaçlarına yöneldiği görülmektedir. Sektörlere göre öne çıkan kullanım biçimleri, sağlanan faydalar ve uygulama örnekleri Tablo 2'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Dijital İkiz Teknolojisinin Uygulama Alanlarına Göre Karşılaştırılması

Uygulama alanı	İkizi yapılan yapı veya süreç	Başlıca kullanım biçimi	Sağlanan temel fayda	Örnek
Üretim Sektörü	Ürün, makine, üretim hattı ve fabrika	Makine ve üretim hattı modelleme, kestirimci bakım, kalite kontrol, üretim planlama ve ürün yaşam döngüsü üzerine uygulamalı çalışmalar	Arıza ve duruşların azaltılması, verimliliğin artırılması	Siemens Amberg ve Erlangen tesisleri
Sağlık Sektörü	Hasta, organ, fizyolojik sistem ve hastane süreçleri	İnsan ve organ modelleme, kişiselleştirilmiş tedavi, hastalık ilerleyişinin tahmini, tedavi seçeneklerinin sınanması Hastane süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar ve kapasite planlaması,	Kişiselleştirilmiş tedavi ve kaynakların etkin kullanımı	İnsan ve kalp dijital ikizi uygulamaları
Akıllı Şehirler ve Kentsel Yönetim	Binalar, ulaşım ağı, altyapı ve çevresel sistemler	Üç boyutlu kent modelleme, trafik yönetimi, enerji kullanımı, çevresel izleme ve kentsel planlama üzerine proje ve vaka çalışmaları	Sürdürülebilir planlama ve karar desteği	Virtual Singapore ve Helsinki 3D
Eğitim Sektörü	Makine, laboratuvar ve uygulamalı eğitim süreçleri	Sanal laboratuvarlar, mühendislik ve sağlık eğitimi simülasyonları, deneyimsel öğrenme, beceri geliştirme üzerine pilot çalışmalar, güvenli deney, senaryo tekrarı	Deneyimsel öğrenme ve fiziksel ekipman riskinin azaltılması	TU Dortmund jet pompası dijital ikizi
Enerji Sektörü	Santral, türbin, şebeke ve enerji ekipmanları	İzleme, bakım ve performans tahminine yönelik çalışmalar ve güvenlik senaryolarının sınanması	Plansız duruşların azaltılması, güvenlik ve verimlilik	EDF'nin nükleer tesis uygulamaları
Afet yönetimi	Kent, yapı stoku, ulaşım ağı ve tahliye süreçleri	Deprem, tsunami, taşkın ve yangın senaryoları ile hasar tahmini, tahliye planlaması ve kaynak tahsisine yönelik simülasyon çalışmaları, risk analizi,	Hazırlık düzeyinin ve müdahale kapasitesinin artırılması	Japonya Project PLATEAU tahliye simülasyonu
Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi	Depo, terminal, taşıma aracı, yük ve tedarik ağı	Depo ve terminal yönetimi, rota ve stok optimizasyonu, teslimat tahmini, kesinti analizi ve tedarik zinciri dayanıklılığı üzerine çalışmalar	Görünürlük, kaynak optimizasyonu ve dayanıklılık	DHL–Tetra Pak deposu, Maersk terminalleri ve FedEx Office ağı

Yao vd. (2023), dijital ikizlerin farklı uygulama alanlarında izleme, simülasyon, değerlendirme, tahmin, optimizasyon ve kontrol işlevleri sunduğunu belirtmektedir. İncelenen uygulamalar doğrultusunda bu işlevlerin sağladığı değer dört ortak eksende toplanabilir. İlki görünürlüktür: dağınık veri kaynaklarının ortak bir modelde birleştirilmesi, sistemin güncel durumunun izlenmesini sağlamaktadır. İkincisi öngörüdür: fizik tabanlı veya veri odaklı modeller aracılığıyla arıza, gecikme, talep değişimi ve risk gibi gelecekteki durumlar tahmin edilebilmektedir. Üçüncüsü güvenli deneydir: gerçek sistemde pahalı, tehlikeli veya geri döndürülemez sonuçlar doğurabilecek seçenekler sanal ortamda sınanabilmektedir. Dördüncüsü ise optimizasyondur: bakım zamanı, rota, kapasite, enerji kullanımı ve kaynak tahsisi gibi kararlar, farklı amaçlar ve kısıtlar birlikte değerlendirilerek iyileştirilebilmektedir.

Bu faydaların ortaya çıkabilmesi için dijital ikizin örgütsel karar süreçleriyle bütünleştirilmesi gerekmektedir. Yalnızca gösterge paneli oluşturan ancak sorumlulukları, eşik değerleri ve müdahale prosedürlerini tanımlamayan bir sistem, karar kalitesini kendiliğinden yükseltmemektedir. Ayrıca dijital ikiz modelinin doğruluğu bir kez sağlanan ve değişmeden kalan bir özellik değildir. Fiziksel sistem değiştikçe

modelin güncellenmesi, kalibre edilmesi ve doğrulanması gerekmektedir (Rasheed vd., 2020). Bu nedenle dijital ikiz uygulamalarının başarısı, teknik altyapının yanı sıra veri yönetimi, süreç sahipliği, kullanıcı yetkinliği ve kurumsal kapasiteye bağlıdır (Crespi vd., 2023).

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dijital ikiz teknolojisinin üretim, sağlık, akıllı şehirler ve kentsel yönetim, eğitim, enerji, afet yönetimi ile lojistik ve tedarik zinciri alanlarındaki kullanım biçimleri ve sağladığı faydalar bütünleştirici literatür incelemesi kapsamında değerlendirilmiştir. İncelenen çalışmalar, dijital ikizlerin fiziksel varlıkların yalnızca sanal bir temsilini oluşturmadığını; güncel veriler aracılığıyla sistemlerin izlenmesini, gelecekteki durumların tahmin edilmesini ve alternatif kararların fiziksel sisteme müdahale edilmeden sınanmasını sağladığını göstermektedir.

Dijital ikizlerin kullanım yaygınlığı ve gelişmişlik düzeyi, incelenen uygulama alanları arasında farklılık göstermektedir. Üretimde makine, ürün ve üretim hatlarının sınırlarının belirli olması, sensör verilerine erişilebilmesi ve kararların çoğunlukla aynı işletme içinde uygulanabilmesi dijital ikizlerin daha yaygın kullanılmasını sağlamaktadır. Sağlıkta kişiselleştirilmiş tedavi ve hasta akışı, akıllı şehirlerde kentsel planlama, eğitimde deneyimsel öğrenme, enerjide bakım ve güvenlik, afet yönetiminde risk ve tahliye senaryoları, lojistikte ise depo, terminal ve taşıma ağlarının yönetimi öne çıkmaktadır. Alanlar arasındaki farklılıklara rağmen dijital ikizlerin ortak faydaları gerçek zamanlı görünürlük, öngörü, güvenli senaryo denemesi ve kaynak optimizasyonu etrafında toplanmaktadır.

Bununla birlikte dijital ikizlerin yaygınlaşması yalnızca teknik altyapının geliştirilmesine bağlı değildir. Veri kalitesi, sistemlerin birlikte çalışabilirliği, siber güvenlik, kişisel ve ticari verilerin korunması, yatırım maliyeti ve veri yönetişimi başlıca uygulama güçlükleridir. Özellikle farklı kurumların veri paylaşmasını gerektiren kentsel yönetim, afet yönetimi ve tedarik zinciri uygulamalarında paydaşların görev, yetki ve sorumluluklarının açık biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca her üç boyutlu modelin veya simülasyonun dijital ikiz olarak adlandırılması, uygulamaların olgunluk düzeyinin olduğundan yüksek görünmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle fiziksel ve dijital sistem arasındaki veri akışının yönü, güncelleme sıklığı ve model çıktılarının karar süreçlerinde nasıl kullanıldığı açıkça belirtilmelidir.

Gelecekteki araştırmalarda farklı uygulama alanlarının olgunluk düzeylerini karşılaştıran ampirik çalışmaların artırılması; dijital ikizlerin maliyet, verimlilik, dayanıklılık ve karar kalitesi üzerindeki etkilerinin boylamsal verilerle incelenmesi önem taşımaktadır. Çalışmanın bütünleştirici inceleme yaklaşımına dayanması ve kurumsal uygulamalara ilişkin bazı teknik ayrıntıların kamuya açık olmaması temel sınırlılıklarını

oluşturmaktadır. Buna rağmen çalışma, dijital ikizlerin farklı alanlarda nasıl kullanıldığını ve hangi ortak faydaları sağladığını karşılaştırmalı biçimde ortaya koyarak gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için bütüncül bir çerçeve sunmaktadır.

KAYNAKLAR

Baillargeon, B., Rebelo, N., Fox, D. D., Taylor, R. L., & Kuhl, E. (2014). The Living Heart Project: A robust and integrative simulator for human heart function. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, *48*, 38-47. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2014.04.001

Björnsson, B., Borrebaeck, C., Elander, N., Gasslander, T., Gawel, D. R., Gustafsson, M., Jörnsten, R., Lee, E. J., Li, X., Lilja, S., Martínez-Enguita, D., Matussek, A., Sandström, P., Schäfer, S., Stenmarker, M., Sun, X. F., Sysoev, O., Zhang, H., Benson, M., & on behalf of the Swedish Digital Twin, C. (2019). Digital twins to personalize medicine. *Genome Medicine*, *12*(1), 4. https://doi.org/10.1186/s13073-019-0701-3

BMW Group. (2025). BMW Group scales Virtual Factory. https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0450699EN/bmw-group-scales-virtual-factory.

Boettcher, K., Terkowsky, C., Schade, M., Brandner, D., Grünendahl, S., & Pasaliu, B. (2023). Developing a real-world scenario to foster learning and working 4.0 – on using a digital twin of a jet pump experiment in process engineering laboratory education. *European Journal of Engineering Education*, *48*(5), 949-971. https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2182184

Botín-Sanabria, D. M., Mihaita, A.-S., Peimbert-García, R. E., Ramírez-Moreno, M. A., Ramírez-Mendoza, R. A., & Lozoya-Santos, J. d. J. (2022). Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review. *Remote Sensing*, *14*(6), 1335.

City of Helsinki. (2026). Helsinki 3D. https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d.

Corral-Acero, J., Margara, F., Marciniak, M., Rodero, C., Loncaric, F., Feng, Y., Gilbert, A., Fernandes, J. F., Bukhari, H. A., Wajdan, A., Martinez, M. V., Santos, M. S., Shamohammdi, M., Luo, H., Westphal, P., Leeson, P., DiAchille, P., Gurev, V., Mayr, M., . . . Lamata, P. (2020). The 'Digital Twin' to enable the vision of precision cardiology. *European Heart Journal*, *41*(48), 4556-4564. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa159

Crespi, N., Drobot, A. T., & Minerva, R. (2023). The Digital Twin: What and Why? In N. Crespi, A. T. Drobot, & R. Minerva (Eds.), *The Digital Twin* (pp. 3-20). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21343-4_1

Dassault Systèmes. (2026). "Living Heart Project, https://www.3ds.com/industries/life-sciences-healthcare/living-heart-project".

Dembski, F., Wössner, U., Letzgus, M., Ruddat, M., & Yamu, C. (2020). Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany. *Sustainability*, *12*(6), 2307.

DHL Group. (2019). DHL Supply Chain partners Tetra Pak to implement its first digital twin warehouse in Asia Pacific. https://group.dhl.com/en/media-relations/press-releases/2019/dhl-supply-chain-partners-tetra-pak-implement-first-digital-twin-warehouse-asia-pacific.html.

Électricité de France. (2019). IT changes everything: Does digital technology power progress? (Issue No. 2). https://www.edf.fr/sites/groupe/files/2022-07/it-changes-everything-issue-2-does-digital-technology-power-progress-en.pdf.

FedEx. (2021). FedEx Office teams up with Accenture and River Logic to optimize its print production and delivery network. https://newsroom.fedex.com/newsroom/global/fedex-office-accenture-river-logic-optimize-print-production-and-delivery-network.

Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital Twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, *8*, 108952-108971. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358

Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. In *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. https://doi.org/doi:10.2514/6.2012-1818

10.2514/6.2012-1818

Government Technology Agency of Singapore. (2017, March 28). 5 things to know about Virtual Singapore. https://www.tech.gov.sg/technews/5-things-to-know-about-virtual-singapore/.

Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (pp. 85-113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4

Hämäläinen, M. (2021). Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city. *Iet Smart Cities*, *3*(4), 201-210. https://doi.org/https://doi.org/10.1049/smc2.12015

Han, Y., Li, Y., Li, Y., Yang, B., & Cao, L. (2023). Digital twinning for smart hospital operations: Framework and proof of concept. *Technology in Society*, *74*, 102317. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102317

Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, *32*(9), 775-788. https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *Ifac-Papersonline*, *51*(11), 1016-1022. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474

Maersk. (2023). Transforming decision making in supply chain logistics with digital twins. https://www.maersk.com/news/articles/2023/01/20/transforming-decision-making-in-supply-chain-logistics-with-digital-twins.

MLIT. (2023). Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Disaster prevention area management DX. Project PLATEAU. https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-030/.

Rasheed, A., San, O., & Kvamsdal, T. (2020). Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective. *IEEE Access*, *8*, 21980-22012. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970143

Siemens. (2024). Optimizing production in the Siemens Erlangen factory with the digital twin. https://blogs.sw.siemens.com/thought-leadership/optimizing-production-in-the-siemens-erlangen-factory-with-the-digital-twin/.

Siemens Healthineers. (2019). Solutions for individual patients. https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/mso-solutions-for-individual-patients.html.

Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J., & Ji, P. (2022). Digital twin modeling. *Journal of Manufacturing Systems*, *64*, 372-389. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.015

Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *15*(4), 2405-2415. https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186

Tao, F., Zhang, M., & Nee, A. Y. C. (2019). Five-Dimension Digital Twin Modeling and Its Key Technologies. In *Digital Twin Driven Smart Manufacturing* (pp. 63-81). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817630-6.00003-5

Uhlemann, T. H. J., Lehmann, C., & Steinhilper, R. (2017a). The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, *61*, 335-340. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152

Uhlemann, T. H. J., Schock, C., Lehmann, C., Freiberger, S., & Steinhilper, R. (2017b). The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems. *Procedia Manufacturing*, *9*, 113-120. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.043

Vallée, A. (2023). Digital twin for healthcare systems [Mini Review]. *Frontiers in Digital Health*, *Volume 5 - 2023*. https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1253050

Yao, J.-F., Yang, Y., Wang, X.-C., & Zhang, X.-P. (2023). Systematic review of digital twin technology and applications. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, *6*(1), 10. https://doi.org/10.1186/s42492-023-00137-4

Yu, D., & He, Z. (2022). Digital Twin-Driven Intelligence Disaster Prevention and Mitigation for Infrastructure: Advances, Challenges, and Opportunities. *Natural Hazards*, Article contrasting_C8. https://doi.org/10.1007/s11069-021-05190-x

COMPUTATIONAL LAW AND AI-ASSISTED LEGAL DECISION-MAKING FOR EFFECTIVE EDUCATIONAL GOVERNANCE, ADMINISTRATION, COMPLIANCE, AND INSTITUTIONAL TRANSFORMATION

Moses Adeolu AGOI1

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

agoi4moses@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

Oluwakemi Racheal OSHINOWO2

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

oshinowooluwakemiz@gmail.com

ORCID ID: 0000-0003-0568-6446

Adebayo Samuel ADEOGUN3

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

adeogunas.@lasued.edu.ng,

Christiana Toyin ODUWOLE4

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

oduwolect.@lasued.edu.ng

Abstract

The rapid integration of artificial intelligence (AI) into educational institutions is transforming administrative decision-making, regulatory compliance, institutional governance, student management, personnel administration, and policy implementation. This study examined computational law and AI-assisted legal decision-making as an emerging framework for strengthening educational governance, administrative accountability, regulatory compliance, and institutional transformation. Computational law was conceptualised as the application of computational techniques to legal rules, regulatory requirements, institutional policies, and administrative decision processes, enabling educational administrators to retrieve, interpret, classify, monitor, and apply legal information systematically. The study adopted a documentary research design combined with a quantitative assessment of institutional capacity for AI-assisted legal decision-making. Contemporary scholarly publications, policy documents, regulatory instruments, and institutional frameworks published between 2023 and 2026 were examined to establish the conceptual and regulatory foundations of the study. The findings indicate that AI-enabled systems can enhance regulatory monitoring, policy interpretation, risk identification, compliance auditing, documentation, and evidence-informed administration, while simultaneously creating

challenges involving algorithmic bias, explainability, privacy, accountability, due process, cybersecurity, and human oversight. Empirical analysis further indicates positive relationships among governance capacity, legal-compliance infrastructure, transparency, administrator AI competence, and institutional readiness for AI-assisted legal decision-making. The findings are consistent with Wang (2024), who demonstrated that algorithmic decisions can acquire significant policy implications when they influence educational opportunities without adequate transparency and institutional oversight. The study therefore proposes a human-centred computational-law framework integrating legal knowledge representation, AI-assisted analysis, institutional governance, data protection, algorithmic accountability, transparency, and human review. The framework provides a basis for strengthening evidence-informed educational administration while preserving legal accountability, institutional responsibility, procedural fairness, and meaningful human oversight in AI-supported decision-making.

Keywords: Artificial Intelligence; Computational Law; Educational Administration; Legal Decision-Making

INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) is increasingly evolving from a specialised instructional technology into a strategic institutional technology with significant implications for educational administration, governance, policy implementation, regulatory compliance, institutional planning, student services, personnel management, resource allocation, risk management, and organisational accountability. The growing application of machine learning, natural-language processing, knowledge representation, predictive analytics, and generative AI is creating new opportunities for educational institutions to process complex information and support administrative decisions. This transformation is particularly important because contemporary educational institutions operate within increasingly complex legal, regulatory, ethical, and policy environments involving data protection, equality and non-discrimination, academic integrity, employment obligations, procurement, cybersecurity, records management, student rights, intellectual property, professional standards, accreditation, and institutional accountability. Consequently, educational administrators require sophisticated mechanisms for accessing, interpreting, monitoring, and applying legal and policy information while maintaining procedural fairness, institutional responsibility, and human judgment. Computational law provides an emerging pathway for addressing these challenges by transforming legal rules, institutional policies, regulatory requirements, obligations, exceptions, procedures, and compliance conditions into computationally process-representations. Rather than treating legal information exclusively as static textual material, computational-law approaches can organise legal knowledge through structured databases, ontologies, rule-based systems, knowledge graphs, decision trees, and machine-readable regulatory frameworks. These technologies can support the identification of applicable regulations, interpretation of institutional policies, monitoring of compliance requirements, detection of regulatory conflicts, classification of administrative cases, and generation of evidence for institutional decision-making. AI-assisted legal decision-making extends these capabilities through natural-language processing, machine learning, semantic search, document classification, predictive analytics, generative AI, and automated reasoning, thereby supporting policy interpretation, regulatory monitoring, compliance assessment, disciplinary procedures, data-protection obligations, personnel administration, and documentation of institutional decisions. However, AI integration into educational governance also introduces significant concerns involving accountability, transparency, fairness, privacy, explainability, cybersecurity, and human oversight because AI-assisted recommendations can influence

admission, assessment, student progression, staff recruitment, performance evaluation, resource allocation, and disciplinary processes. Wang (2024) argues that algorithmic decisions in education governance can acquire policy significance when computational systems influence important educational outcomes without adequate transparency and institutional oversight, highlighting the need for clear boundaries between computational recommendations and legitimate institutional authority. Educational administrators should therefore remain responsible for evaluating evidence, interpreting applicable rules, considering contextual circumstances, and determining final outcomes. The broader literature similarly demonstrates that technological capability must be accompanied by ethical, methodological, institutional, and interdisciplinary governance. Bond et al. (2024), through a meta-systematic review of 66 reviews, identified important gaps concerning ethics, methodological rigour, collaboration, contextualisation, and responsible implementation in artificial intelligence research within higher education. These findings indicate that institutions should evaluate AI systems not only according to technical performance but also according to legality, transparency, fairness, security, explainability, auditability, and human oversight. Regulatory developments further reinforce the importance of institutional safeguards, with the European Union Artificial Intelligence Act identifying specified educational AI applications involving admission, educational placement, learning assessment, determination of educational levels, and examination monitoring as high-risk applications subject to stronger regulatory requirements. In Nigeria, the National Artificial Intelligence Strategy emphasises responsible, ethical, inclusive, transparent, and accountable AI development, while the Nigeria Data Protection Act 2023 provides an important legal foundation for responsible processing and protection of personal data. Against this background, computational law should be understood not merely as an instrument for automating legal analysis but as a strategic component of contemporary educational governance. Its integration with AI-assisted decision-making can provide administrators with mechanisms for connecting institutional decisions to applicable legislation, regulations, policies, standards, and evidence through regulatory knowledge repositories, AI-supported document analysis, compliance-monitoring dashboards, risk-detection mechanisms, legal-rule mapping, decision audit trails, and human-review procedures. Such an approach can strengthen proactive compliance, institutional accountability, and evidence-informed administration while ensuring that AI remains a decision-support mechanism rather than an autonomous institutional authority. Accordingly, this study examines computational law and AI-assisted legal decision-making as an emerging framework for strengthening educational governance, administration, regulatory compliance, and institutional transformation while preserving human agency, procedural fairness, privacy, transparency, and accountability.

LITERATURE REVIEW

Computational Law and the Transformation of Legal Decision-Making

Computational law refers broadly to approaches that represent, process, analyse, and apply legal rules through computational systems. Its relevance to educational management arises from the increasing volume and complexity of regulations, institutional policies, professional standards, administrative procedures, and data-protection requirements that administrators must interpret. Rather than treating law exclusively as static textual information, computational approaches can represent legal rules through structured knowledge bases, ontologies, decision trees, rule engines, natural-language processing systems, and knowledge graphs. These technologies can facilitate retrieval of applicable rules, identification of regulatory conflicts, compliance checking, and generation of decision-support recommendations. In educational institutions, computational-law systems could support areas such as admission regulations, examination procedures, staff recruitment, disciplinary procedures, procurement, student records, intellectual-property management, and data governance. The emerging literature suggests that computational approaches should not be understood as replacing legal or administrative judgment. Instead, their value lies in improving access to relevant rules and evidence while supporting consistency and traceability. Wang (2024) demonstrates why this distinction is important in educational governance: algorithmic decisions can acquire policy consequences when automated systems influence important institutional outcomes. Consequently, computational law in educational administration should incorporate explicit rule provenance, version control, explainability, exception handling, and human review. The approach can therefore shift institutional compliance from reactive interpretation toward continuous computational monitoring. This transformation is particularly important where educational institutions operate across multiple regulatory layers involving national legislation, ministry directives, accreditation standards, institutional statutes, professional regulations, and internal policies.

AI-Assisted Decision-Making and Educational Governance

AI-assisted decision-making introduces computational capabilities into administrative processes traditionally dependent on human analysis. Machine learning can identify patterns in institutional data, natural-language processing can analyse regulations and administrative documents, and generative AI can assist administrators in summarising policies or preparing preliminary compliance reports. The OECD (2024) identifies productivity, responsiveness, and accountability as major potential objectives for trustworthy AI in public-sector governance while simultaneously emphasising governance structures, capabilities, engagement, and regulatory safeguards. These principles are directly applicable to educational administration because universities and schools perform

many functions that resemble public governance, including allocation of educational opportunities, administration of public resources, maintenance of records, enforcement of institutional rules, and provision of essential services. Bond et al. (2024) found that AI research in higher education has expanded rapidly but requires stronger ethical, methodological, contextual, and interdisciplinary foundations. Similarly, Wang (2024) identifies speed, limited interpretability and transparency, and unpredictable emergence of capabilities as distinctive characteristics that challenge conventional governance approaches. AI-assisted administration therefore requires a shift from technology-centred adoption to governance-centred implementation. Administrators need systems that provide recommendations together with evidence, applicable rules, confidence information, data provenance, and reasons for the recommendation. Such arrangements can enhance decision consistency without transferring institutional authority from accountable administrators to opaque algorithms.

Algorithmic Transparency, Explainability and Human Oversight

Transparency and explainability are central to legally defensible AI-assisted educational decisions because affected individuals may require information about how decisions were reached. This concern becomes particularly important when AI influences admissions, assessment, student progression, disciplinary decisions, recruitment, promotion, or access to institutional resources. The EU AI Act explicitly recognises risks associated with bias, errors, opacity, and fundamental rights in high-risk applications, including certain educational and justice-related AI systems. It also establishes the principle that AI should support rather than replace human decision-making in high-stakes legal contexts. OECD analysis similarly emphasises transparency, explainability, accountability, privacy, security, and human oversight as important elements of trustworthy AI. Mouta et al. (2024) further demonstrate through a systematic review that ethical issues in AI-supported education extend beyond technical performance to broader questions concerning rights, responsibility, fairness, and institutional practice. From an educational-management perspective, explainability should therefore operate at several levels: technical explanation of model behaviour, legal explanation of applicable rules, administrative explanation of institutional procedures, and communicative explanation accessible to affected stakeholders. Human oversight should also be meaningful rather than symbolic. Administrators must retain authority to question, override, document, and appeal AI-generated recommendations. A computational-law architecture that merely automates decisions without creating review mechanisms could reproduce or amplify existing institutional biases. Thus, transparency and human oversight should be designed as core architectural components rather than added after system deployment.

Data Protection, Privacy and Algorithmic Accountability

AI-assisted educational administration depends heavily on institutional data, including student records, staff information, academic performance, attendance, behavioural information, financial records, and other potentially sensitive information. This creates substantial responsibilities concerning lawful data processing, purpose limitation, data minimisation, security, retention, access control, and accountability. Nigeria's Data Protection Act 2023 provides a significant legal foundation for protecting personal information and regulating its processing. Nigeria's National AI Strategy likewise identifies responsible data practices, privacy, consent, data minimisation, fairness, risk management, and human agency as important components of responsible AI governance. Internationally, the OECD has highlighted privacy, ethical concerns, unequal access, algorithmic bias, and institutional capacity as important considerations in educational AI. Varsik and Vosberg (2024) specifically identify privacy, bias, access, inclusion, cultural responsiveness, and continuing professional learning among the issues requiring attention in AI-enabled education. Algorithmic accountability consequently requires more than protecting databases. Educational institutions should maintain records of the datasets used, purposes of processing, system owners, model versions, decision thresholds, validation procedures, human reviewers, incidents, and appeals. A computational-law framework can strengthen this accountability by linking each AI-assisted recommendation to relevant legal rules and institutional policies. This creates an auditable chain from data input through computational analysis to administrative action, thereby strengthening institutional defensibility and stakeholder trust.

AI Regulation, Educational Compliance and Institutional Governance

The growing regulatory environment surrounding AI demonstrates that educational institutions can no longer treat AI adoption exclusively as a technological or pedagogical matter. The EU AI Act provides a prominent example by classifying specified educational AI applications as high-risk where they may materially influence access, admission, educational placement, learning evaluation, or educational trajectories. The OECD (2024) similarly argues that trustworthy public-sector AI requires enabling conditions, institutional capabilities, engagement, and guardrails involving laws, regulations, standards, enforcement, monitoring, and oversight. The G7 Toolkit for AI in the Public Sector further links responsible AI to institutional governance, data governance, digital skills, transparency, accountability, and coordinated implementation. Within higher education, governance practices remain uneven. Recent research on university AI governance indicates that institutions are developing guidelines and policies in response to the rapid expansion of generative AI, but governance approaches vary considerably across institutions. Kanobel (2026) similarly identifies continuing gaps between

declarative AI policies and practical implementation, particularly regarding data protection, algorithmic transparency, evaluation, and AI literacy. Effective educational compliance therefore requires institutional policies that translate external laws into operational procedures. Computational law can assist by continuously mapping legislation, regulations, accreditation requirements, institutional policies, and administrative processes. Such systems could identify compliance gaps, flag policy conflicts, monitor regulatory changes, and generate evidence for internal audits.

Institutional Transformation and Human-Centred AI Governance

Institutional transformation occurs when AI becomes embedded within organisational structures, decision processes, professional practices, information systems, and accountability mechanisms. This transformation cannot be achieved through software acquisition alone. It requires leadership commitment, staff competencies, governance structures, data infrastructure, ethical safeguards, stakeholder participation, and continuous evaluation. The OECD/UNESCO G7 Toolkit identifies governance, capabilities, collaboration, engagement, ethical frameworks, legislation, enforcement, and monitoring as interconnected components of responsible AI implementation. Nigeria's National AI Strategy similarly identifies AI infrastructure, ecosystem development, adoption, responsible and ethical AI, and AI governance as strategic pillars. In educational institutions, human-centred governance means that AI should augment rather than displace legitimate institutional authority. Wang (2024) emphasises that algorithmic systems can challenge traditional assumptions concerning due process, power distribution, accountability, and governance. Bond et al. (2024) also call for stronger collaboration and ethical and methodological rigour in AI-in-higher-education research. Institutional transformation should consequently be evaluated through multiple dimensions, including administrative efficiency, legal compliance, transparency, accountability, staff competence, stakeholder trust, data protection, and decision quality. A mature computational-law ecosystem would integrate institutional policy repositories, legal knowledge bases, AI-assisted document analysis, compliance dashboards, audit trails, risk assessment, human review, and appeal mechanisms. This would position AI not simply as an automation technology but as an infrastructure for more systematic and accountable educational governance.

MATERIALS AND METHODS

The study adopted a documentary research design integrated with a quantitative survey approach to examine computational law and AI-assisted legal decision-making for educational governance, administration, compliance, and institutional transformation. Contemporary scholarly publications, open-access journal articles, policy reports, legislation, regulatory instruments, and institutional frameworks published predominantly

between 2023 and 2026 were identified through scholarly databases, publisher platforms, institutional repositories, Google Scholar-indexed sources, and official government and international-organisation websites. Sources were selected based on their relevance to computational law, AI-assisted decision-making, educational governance, legal compliance, algorithmic accountability, data protection, transparency, and institutional transformation. The empirical component involved 500 educational administrators selected to assess institutional capacity for AI-assisted legal decision-making using a structured five-point Likert-scale questionnaire. The instrument measured six dimensions: computational legal capability, AI decision-support capability, legal-compliance capacity, transparency and explainability, data-protection capacity, and institutional transformation. Descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation, were used to establish respondents' perceptions, while Pearson Product-Moment Correlation was employed to determine relationships among the study variables. Multiple regression analysis was subsequently applied to determine the combined and relative contributions of computational legal capability, AI decision-support capability, legal compliance, transparency and explainability, and data-protection capacity to institutional transformation. Statistical significance was evaluated at the 0.05 level, providing an empirical basis for examining the contribution of AI-enabled computational-law capabilities to effective educational governance and institutional transformation.

RESULT AND DISCUSSION

AI-Assisted Computational Law and Educational Governance

The analysis examined the extent to which computational-law capability, administrator AI competence, legal-compliance infrastructure, algorithmic transparency, and data-protection capacity were associated with institutional transformation in educational governance. The descriptive findings showed relatively high levels across all measured dimensions, with computational legal capability recording a mean score of M = 4.18, SD = 0.59, followed by AI-assisted decision capability (M = 4.11, SD = 0.63), institutional transformation (M = 4.15, SD = 0.61), legal-compliance infrastructure (M = 4.07, SD = 0.66), data-protection capacity (M = 4.02, SD = 0.68), and algorithmic transparency (M = 3.94, SD = 0.71). These results indicate that respondents generally perceived computational legal capabilities and AI-supported administrative processes as important components of contemporary educational governance, although the comparatively lower mean for algorithmic transparency suggests that transparency and explainability may require additional institutional attention. Pearson Product-Moment correlation analysis further revealed positive associations between computational legal capability and institutional transformation (r = .68), AI-assisted decision capability and institutional transformation (r = .71),

legal-compliance infrastructure and institutional transformation (r = .65), algorithmic transparency and institutional transformation (r = .62), and data-protection capacity and institutional transformation (r = .64). The pattern of relationships indicates that stronger computational-law capabilities and supporting governance mechanisms are associated with higher levels of perceived institutional transformation. Multiple regression analysis showed that the five predictors jointly explained approximately 61% of the variance in institutional transformation (R^2 = .61), demonstrating substantial explanatory contribution from the combined dimensions of computational legal capability, AI-assisted decision capability, legal-compliance infrastructure, algorithmic transparency, and data-protection capacity. The findings therefore indicate that AI-assisted legal decision-making is most effectively integrated into educational governance when technological capabilities are accompanied by appropriate institutional safeguards, administrative competence, legal compliance, transparency, and responsible data management. This interpretation aligns with Wang's (2024) analysis of algorithmic decision-making in education governance, which highlights the importance of transparency, oversight, procedural safeguards, accountability, and the distribution of decision-making authority. It is also consistent with the OECD's (2024) emphasis on institutional governance, human capabilities, safeguards, legal frameworks, monitoring, stakeholder engagement, and accountability as important conditions for trustworthy public-sector AI. The comparatively strong relationship between AI-assisted decision capability and institutional transformation further suggests that AI can support administrative processes when its deployment is embedded within clearly defined institutional responsibilities and legal procedures. The significance of transparency is particularly relevant because AI-supported educational decisions may influence student admission, progression, assessment, employment, resource allocation, disciplinary processes, and access to institutional services. The European Union's AI Act consequently identifies specified educational applications as high-risk and emphasizes risk management, documentation, human oversight, and protection of fundamental rights. Within the Nigerian context, the National Artificial Intelligence Strategy similarly emphasizes responsible and ethical AI development and governance, while the Nigeria Data Protection Act establishes requirements for the lawful and responsible processing of personal data. Collectively, the findings support the conceptualisation of computational law as a decision-support architecture rather than an autonomous legal authority. Its institutional value lies in enabling administrators to identify applicable rules, assess compliance requirements, retrieve relevant legal provisions, document decision rationales, identify potential risks, and maintain auditable decision trails while retaining accountable human judgment.

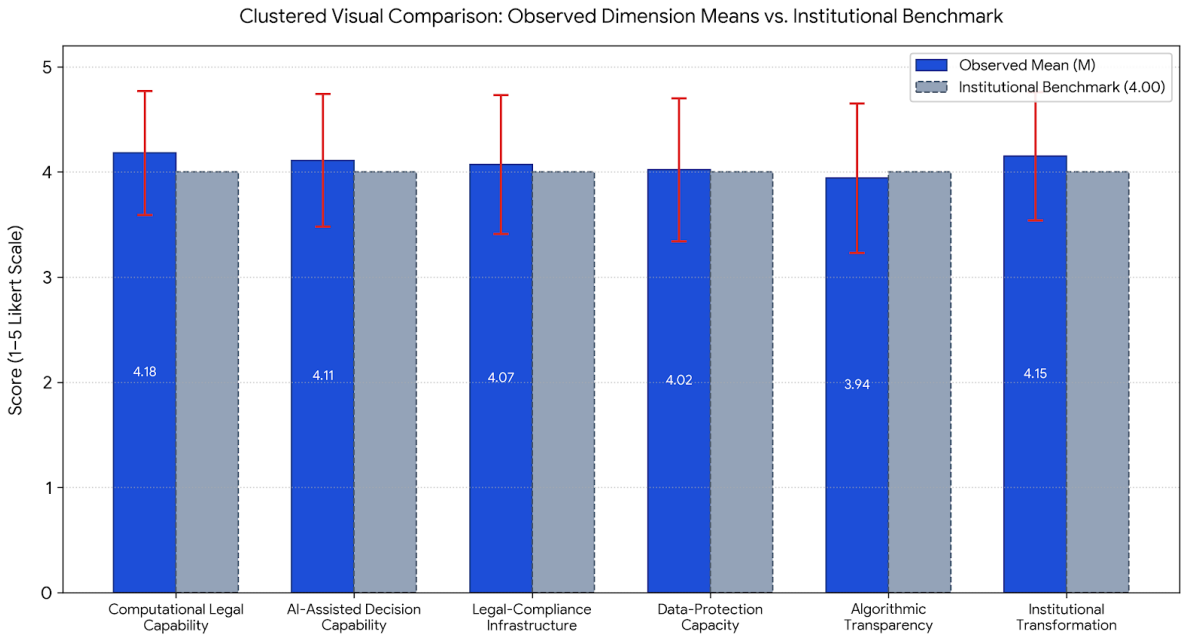


Figure 1: Comparison of observed mean scores across educational governance and computational law dimensions relative to the institutional benchmark (4.00). Note: Blue bars denote sample means (M), red error bars represent standard deviations (SD), and grey bars indicate the target benchmark score measured on a 1-5 Likert scale.

CONCLUSION

Computational law and AI-assisted legal decision-making represent an emerging frontier in educational management because they connect artificial intelligence with the increasingly complex regulatory, administrative, ethical, and governance responsibilities of educational institutions. The analysis demonstrates that the value of AI in educational administration extends beyond the automation of routine tasks toward the structured interpretation of regulations, institutional policies, compliance obligations, administrative evidence, and governance requirements. Computational-law technologies can support administrators by organising legal knowledge, retrieving applicable provisions, detecting compliance gaps, monitoring policy changes, analysing institutional documents, identifying regulatory risks, and generating preliminary decision-support recommendations. Nevertheless, the deployment of such technologies must recognise that educational governance involves rights, responsibilities, institutional authority, professional judgment, and human relationships that cannot be reduced entirely to computational rules. Wang (2024) emphasizes that algorithmic decisions can acquire significant policy consequences when they influence educational opportunities without adequate oversight, transparency, procedural safeguards, and accountability. Similarly, evidence from the wider artificial-intelligence-in-higher-education literature demonstrates the importance of stronger ethical,

methodological, contextual, and interdisciplinary approaches to institutional AI adoption (Bond et al., 2024). The regulatory environment further reinforces these requirements, as the European Union Artificial Intelligence Act identifies specified educational applications affecting admission, placement, assessment, progression, and examination monitoring as high-risk, thereby emphasizing risk-sensitive governance, documentation, human oversight, and fundamental-rights protection. In Nigeria, the National Artificial Intelligence Strategy establishes responsible, ethical, inclusive, and accountable AI governance as an important strategic direction, while the Nigeria Data Protection Act 2023 provides a legal foundation for responsible processing and protection of personal data. Educational institutions should therefore establish multidisciplinary AI governance structures involving educational managers, legal professionals, information-technology specialists, data-protection officers, academic staff, and other relevant stakeholders. Computational-law systems should incorporate legal provenance, explainability, audit trails, access controls, model validation, risk assessment, human review, and accessible appeal mechanisms to ensure that AI-supported decisions remain traceable and contestable. Administrators should also receive continuous professional development in AI literacy, data governance, legal reasoning, algorithmic accountability, cybersecurity, and ethical decision-making. The empirical findings indicate that computational legal capability, AI-assisted decision capability, legal-compliance infrastructure, algorithmic transparency, and data-protection capacity are important dimensions of institutional transformation and should therefore be considered collectively when educational institutions develop AI governance frameworks. Rather than positioning artificial intelligence as an autonomous legal authority, institutions should employ computational law as a decision-support mechanism that strengthens the capacity of human decision-makers to interpret applicable rules, assess compliance requirements, document administrative reasoning, identify regulatory risks, and maintain auditable governance processes. Ultimately, the institutional objective should be human-centred augmentation of educational governance through legally informed, transparent, accountable, explainable, and auditable AI-supported decision-making, ensuring that technological innovation strengthens rather than displaces human responsibility, institutional accountability, procedural fairness, and the protection of educational rights.

FUTURE RESEARCH

Future research should move from conceptual and documentary analysis toward empirical validation of computational-law frameworks across universities, colleges, secondary schools, and education agencies. Studies should examine how AI-assisted legal systems perform across admission, assessment, personnel administration, disciplinary procedures, procurement, data protection, and regulatory compliance. Comparative research across

Nigerian states and international educational systems could identify differences in legal requirements, institutional capacity, digital infrastructure, and governance maturity. Experimental studies should evaluate the accuracy, explainability, fairness, response time, and human-review requirements of AI-assisted legal decision-support systems. Future investigations should also examine administrator AI literacy, stakeholder trust, algorithmic auditing, cybersecurity, indigenous legal and educational contexts, and the effectiveness of institutional appeal mechanisms.

References

Bond, M., Khosravi, H., De Laat, M., Bergdahl, N., Negrea, V., Oxley, E., Pham, P., Chong, S. W., & Siemens, G. (2024). A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: A call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 21*, Article 4, 1-41. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00436-z.

European Parliament & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). *Official Journal of the European Union*.

Federal Ministry of Communications, Innovation and Digital Economy. (2025). *National Artificial Intelligence Strategy*. Federal Republic of Nigeria. Official PDF available through the National Centre for Artificial Intelligence and Robotics.

Kanobel, M. C. (2026). Toward responsible governance of generative artificial intelligence in higher education. *Revista Educación Superior y Sociedad, 37*(2), 342-371. https://doi.org/10.54674/ess.v37i2.1204.

Mouta, A., Pinto-Llorente, A. M., & Torrecilla-Sánchez, E. M. (2024). Uncovering blind spots in education ethics: Insights from a systematic literature review on artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education, 34*(3), 1166-1205. https://doi.org/10.1007/s40593-023-00384-9.

OECD. (2024). *Governing with artificial intelligence: Are governments ready?* OECD Artificial Intelligence Papers, No. 20. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/26324bc2-en.

OECD. (2024). *Education Policy Outlook 2024: Reshaping teaching into a thriving profession from ABCs to AI*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/dd5140e4-en.

OECD/UNESCO. (2024). *G7 Toolkit for Artificial Intelligence in the public sector*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/421c1244-en.

Varsik, S., & Vosberg, L. (2024). *The potential impact of artificial intelligence on equity and inclusion in education*. OECD Artificial Intelligence Papers, No. 23. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/15df715b-en.

Wang, Y. (2024). Algorithmic decisions in education governance: Implications and challenges. *Discover Education, 3*, Article 229. https://doi.org/10.1007/s44217-024-00337-x. Open-access full text and PDF are available through Springer.

Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications, 252*, 124167. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167.

Nigeria Data Protection Commission. (2023). *Nigeria Data Protection Act, 2023*. Federal Republic of Nigeria.

ENERGY DEPENDENCY AND ECONOMIC VULNERABILITY IN THE EUROPEAN UNION: A COMPARATIVE PANEL ANALYSIS

Professor Dr. Laura Diaconu (Maxim)

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5745-3850

E-mail: lauradiaconu_07@yahoo.com

Faculty of Economics and Business Administration,

"Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Romania

Abstract

Taken into account the substantial differences in national energy structures within the European Union (EU) states and the economic consequences of exposure to external energy markets, particularly through energy-price volatility and supply disruptions, the purpose of our paper is to investigate the relationship between energy dependency and economic vulnerability in the EU, with a particular attention to differences in the exposure of Member States to external energy supplies. Starting from this goal, the study addresses three research questions: whether higher energy-import dependency is associated with weaker economic performance, whether this relationship varies across EU Member States, and whether a greater contribution of renewable and domestically produced energy reduces economic vulnerability. Our empirical analysis uses a comparative panel-data framework covering EU Member States during the period 2007-2024. Energy dependency is measured as the share of net energy imports in gross available energy. Economic vulnerability is assessed through macroeconomic indicators capturing economic performance and exposure to external shocks. The explanatory variables include energy-import dependency, energy intensity, the share of renewable energy and the structure of energy consumption. Our results indicate a negative relationship between energy-import dependency and economic performance: countries with greater reliance on imported energy tend to exhibit higher economic exposure to external energy shocks. Yet, the estimated relationship is not uniform across Member States, confirming that the economic consequences of energy dependency depend on the composition of national energy systems and the intensity with which energy is used.

Keywords: energy dependency, economic vulnerability, EU states

MSME CERTIFICATION AND FACILITATION IN BATANG REGENCY: STRENGTHENING HALAL COMPLIANCE AND BUSINESS COMPETITIVENESS

Sari Aulia Rahmawati[1], Meita Nadya Aulia[2], Nisa Amalia[3], Sukma Fathimah Az-Zahro'[4], Azizil Lichasanah[5]

[1,2,3,4,5] **Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Economics, Central Java, Indonesia**

Email: sari.aulia.rahmawati24076@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Halal certification and business facilitation are essential for strengthening Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs), particularly in developing the halal industry at the regional level. This study examines the implementation of halal certification and MSME facilitation policies in Batang Regency, Central Java, focusing on business legality, certification assistance, and product competitiveness. Several MSMEs in Warungasem District still face challenges in obtaining Business Identification Numbers (NIB) and halal certificates due to limited knowledge of administrative procedures, digital technology, and certification requirements. To address these issues, the local government and related institutions have introduced various facilitation initiatives, including business registration assistance, halal certification guidance, and direct outreach services. One notable initiative is the halal certification service conducted during the Car Free Day event in Batang in June 2026, which aims to improve public awareness and facilitate access to certification services. Halal certification provides consumers with assurance regarding product compliance while offering MSMEs opportunities to build consumer trust, improve product credibility, and expand market access. However, challenges remain, particularly regarding digital literacy, administrative capacity, and limited access to continuous assistance. Therefore, effective policy implementation requires integrated strategies, including regular socialization, direct assistance, digital literacy programs, institutional collaboration, and product quality improvement. The integration of business legality, halal certification, and marketing support is also necessary to ensure sustainable business development. Overall, accessible certification services and continuous facilitation can strengthen MSME competitiveness, encourage business formalization, and support the development of a sustainable halal economic ecosystem in Batang Regency.

Keywords: halal certification, MSMEs, business facilitation, business legality, digital literacy, Batang Regency

GFN2-xTB TABANLI MOLEKÜLER ÖZELLİKLER VE DESTEK VEKTÖR REGRESYONU İLE ORGANİK SIVI YOĞUNLUĞUNUN TAHMİNİ

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

Bu çalışmada, organik sıvı yoğunluğunu tahmin etmek için moleküler bileşim, üç boyutlu geometri ve elektronik özellikleri birleştiren destek vektör regresyonu (SVR) incelenmiştir. NIST ThermoML kökenli kayıtlar 298,15 ± 0,01 K ve 95–105 kPa koşullarında seçilmiş; yapı ve deneysel hedef denetimleri sonrasında 577 moleküllük geniş aday küme ve bunun içinde 300 moleküllük çok kaynaklı uyumlu sıkı alt küme oluşturulmuştur. Open Babel ile hazırlanan geometriler gaz fazında GFN2-xTB ile optimize edilmiştir. Hesaplanan 40 aday özellikten eğitimde sabit olanlar çıkarılmış; geniş ve sıkı modellerde sırasıyla 39 ve 37 özellik kalmıştır. Bağlantı grupları korunarak geniş kümede 461/116, sıkı kümede 241/59 molekül eğitim/test için ayrılmıştır. Model ve hiperparametre seçimi eğitim içi beş katlı grup çapraz doğrulamasıyla yapılmıştır. RBF-SVR, geniş kümenin 116 test molekülünde R^2 = 0,9592, MAE = 0,02419 ve RMSE = 0,04833 g cm^{-3}; sıkı kümenin 59 test molekülünde R^2 = 0,9760, MAE = 0,02269 ve RMSE = 0,03791 g cm^{-3} vermiştir. Aynı 59 molekülde değerlendirildiğinde geniş ve sıkı modellerin R^2 değerleri sırasıyla 0,9758 ve 0,9760 olmuştur. Bulgular bu temsilin incelenen koşullarda yoğunluk tahmini için yararlı olduğunu göstermektedir. Tek konformer kullanımı ve tamamlanmamış kaynak/faz doğrulaması sonuçların kapsamını sınırlandırmaktadır.

Anahtar kelimeler: sıvı yoğunluğu; GFN2-xTB; destek vektör regresyonu; moleküler özellikler; grup doğrulaması.

PREDICTION OF ORGANIC LIQUID DENSITY USING GFN2-xTB-BASED MOLECULAR FEATURES AND SUPPORT VECTOR REGRESSION

Abstract

This study evaluates support vector regression (SVR) using molecular composition, three-dimensional geometry and electronic features to predict organic liquid density. NIST ThermoML-derived records were selected at 298.15 ± 0.01 K and 95–105 kPa. Structure and target screening yielded a broad candidate set of 577 molecules containing a strict subset of 300 molecules with consistent multisource data. Open Babel geometries were optimized using gas-phase GFN2-xTB. Of 40 calculated features, removal of training-constant features left 39 and 37 inputs for the broad and strict models, respectively. Connectivity-grouped partitioning yielded 461/116 training/test molecules for the broad set and 241/59 for the strict subset. Model and hyperparameter selection used five-fold grouped cross-validation within training data. RBF-SVR achieved $R^2 = 0.9592$, MAE = 0.02419 and RMSE = 0.04833 g cm^{-3} on the 116 broad-set test molecules, and $R^2 = 0.9760$, MAE = 0.02269 and RMSE = 0.03791 g cm^{-3} on the 59 strict-set test molecules. On the same 59 molecules, the broad and strict models achieved R^2 values of 0.9758 and 0.9760, respectively. These findings support the representation within the studied conditions. Single-conformer calculations and incomplete source/phase verification limit the scope of the results.

Keywords: liquid density; GFN2-xTB; support vector regression; molecular features; grouped validation

1. INTRODUCTION

Liquid density is a fundamental physical property that describes the relationship between mass and volume. Predicting density from molecular structure may require consideration of molecular volume, shape, and regions capable of intermolecular interactions, in addition to mass. However, the geometric volume of an isolated molecule is not identical to the total volume associated with that molecule in a liquid. The relationship between molecular features and experimental density should therefore be evaluated using a data-driven model rather than by assuming direct equivalence between these volumes.

Methods based on volume contributions have been developed to predict organic liquid density from molecular structure. For example, Mathieu and Bouteloup (2016) proposed a density model based on volume increments using a large compilation of organic compounds. Such approaches demonstrate the importance of molecular size and provide a starting framework for models that combine different physical properties. Because the datasets and evaluation protocols differ, the error values obtained in the present study were not used to claim direct superiority over that publication.

The aim of this study is to assess how well a representation combining composition, three-dimensional geometry, electronic distribution, and indicators of hydrogen-bonding propensity predicts organic liquid density for held-out molecules. This conference paper examines SVR, selected through validation within the training data, using both a broad candidate set and a strict subset with consistent data from multiple sources. Evaluating the two data selections with the same regression method is intended to examine changes in performance associated with dataset selection. Neither the individual contributions of feature groups nor the microscopic mechanisms of liquid packing were inferred from this performance evaluation.

2. METHOD

2.1. Data Source and Preparation of Experimental Targets

Experimental density records were obtained from the rho_pure.parquet table in the GNNePCSAFT repository, which was compiled from ThermoML data (Frenkel et al., 2003; GNNePCSAFT, n.d.). The repository version was fixed at commit 5dc6d596ea1a98676fed01a3afbb2a0567892156 to ensure data and code traceability. Records identified as liquid and single-component were restricted to temperatures of 298.15 ± 0.01 K and pressures of 95–105 kPa. Preliminary screening for neutral organic structures retained 694 distinct InChI identifiers and 5,936 measurements. No temperature or pressure correction was applied within these ranges; consequently, the density values were not all normalized to exactly 101.325 kPa.

Structure conversion and stereochemical checks excluded 94 records. GFN2-xTB optimizations converged for the remaining 600 initial structures; four additional structures were excluded because they failed post-optimization identity or geometry checks. Thus, 596 molecules and their 5,505 matched density measurements proceeded to target preparation. Six molecules requiring further examination of source attribution, eight requiring further examination of phase information, and five with conflicting densities across sources were excluded from the evaluation, leaving 577 molecules for modeling. The data workflow is shown in Figure 1.

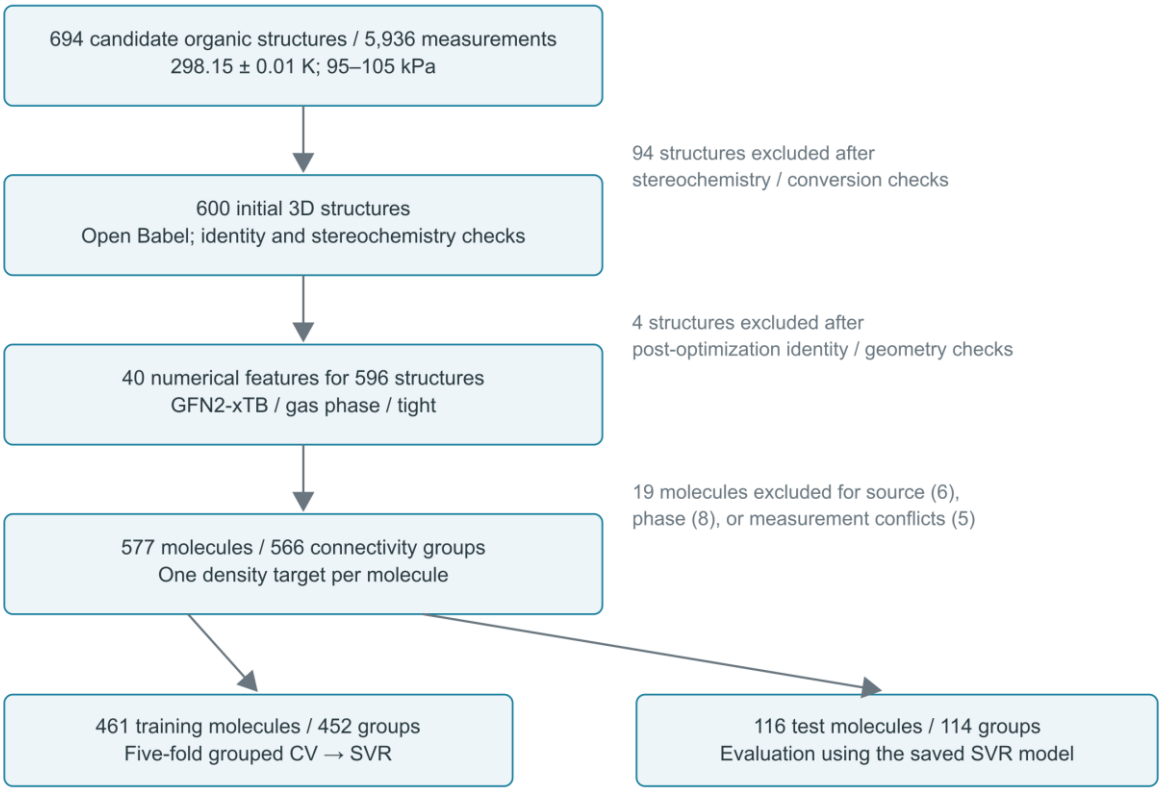


Figure 1. Main workflow from molecular structure and experimental target screening to the training–test partition for the broad candidate set. The 300 molecules in the strict subset were selected from this pool. The four structures were excluded because of post-optimization identity or geometry checks, rather than a failure of optimization convergence. CV: cross-validation.

Multiple measurements for the same molecule were not treated as independent samples. Rows that were exact duplicates in terms of molecule, DOI, dataset, temperature, pressure, and density were first deduplicated. A single target was then assigned to each molecule by taking the median within each dataset, the median of dataset medians within each DOI, and finally the median of the accepted DOI medians. This procedure reduced the disproportionate influence of any single publication containing a large number of records.

During screening, relative spread was calculated as (maximum − minimum) / median. A molecule–DOI group was excluded if the measurement spread within that DOI exceeded 1%. If the spread of the remaining DOI medians exceeded 1%, at least five DOIs were required, with at least 80% of their medians falling within ±0.5% of the initial median; at least three DOIs were retained. No target was assigned to molecules with conflicting records that failed this criterion. The 1% threshold represents a data-screening choice applied without consulting model test results, rather than an estimate of experimental instrument uncertainty.

After removal of 10 exact duplicate rows and exclusion of 135 unused measurements, 5,360 measurements contributed to the molecule-level targets. The final candidate set comprised 251 molecules with data from a single source, 300 with consistent data from multiple sources, and 26 whose records met the consensus criterion. Different DOIs do not necessarily represent independent experiments. Source verification was targeted, and pure-substance and phase information was not verified against the full text of every publication. The dataset was therefore not described as a reference compilation with fully verified sources.

The 300 molecules classified as having consistent data from multiple sources formed the strict subset. The 251 molecules with data from a single source and the 26 requiring a consensus procedure across sources were excluded from this subset. Selection was based on source-consistency classifications assigned during target preparation, rather than on test errors. Because the strict subset is contained within the broad set, the two datasets are not independent.

2.2. Molecular Structures and Quantum Chemical Calculations

InChI records were converted to molecular connectivity structures using Open Babel 3.1.0 (Python distribution: openbabel-wheel 3.1.1.23), initial three-dimensional geometries were generated, and hydrogen atoms were added explicitly (O'Boyle et al., 2011). Structure files were prepared while preserving atom identities, isotope assignments, and specified stereochemistry. Gas-phase geometry optimization was performed using GFN2-xTB in xTB version 6.7.1 (Bannwarth et al., 2019). All calculations used a total charge of zero, zero unpaired electrons, an electronic occupation temperature of 300 K, an accuracy parameter of 0.2, and the tight optimization criterion. A maximum of 1,000 geometry steps and 250 self-consistent-charge iterations was allowed. The electronic occupation temperature does not simulate the experimental liquid temperature.

A single optimized conformer was used for each molecule. No conformer ensemble, vibrational frequency or Hessian calculation, or liquid-phase sampling was performed. Optimization convergence therefore does not imply independent confirmation of either a global energy minimum or a vibrational minimum. Molecular

identities reconstructed from the final coordinates were compared with the initial records, and the geometries and electronic outputs were checked for consistency in atom order and atom count.

2.3. Numerical Molecular Representation

Forty candidate features were calculated for each molecule (Table 1). Mass and elemental counts were obtained from Open Babel atom information, geometric features from the optimized coordinates, and electronic descriptors from GFN2-xTB outputs. The feature list and units are provided in the supplementary data folder. Molar volume derived from experimental density, source counts, molecular identifiers, and quality classifications were not used as model inputs.

Table 1. Groups of the 40 calculated candidate features. After removal of features that were constant in the training data, the broad and strict models used 39 and 37 features, respectively.

Feature Group	Count	Description
Mass and Composition	15	Molar mass; total and heavy-atom counts; counts of C, H, N, O, F, P, S, Cl, Br, I, B, and Si
Volume and Shape	9	Van der Waals volume and surface area; sphericity; geometric and mass-weighted radii of gyration; two eigenvalue ratios; shape anisotropy; maximum van der Waals dimension
Electronic Distribution	11	Dipole moment; quadrupole norm; four atomic-charge summaries; D4 model polarizability and C_6; HOMO, LUMO, and energy gap
Hydrogen-Bonding Propensity	5	Donor and acceptor site counts; total probe-accessible surface area; donor-group and acceptor-atom surface areas

Geometric volume and surface area were calculated from the union of spheres centered on atoms with fixed van der Waals radii. The Bondi radius scale was used, with a hydrogen radius of 1.20 Å (Bondi, 1964), and the table was supplemented with the boron value reported by Mantina et al. (2009). Overlapping volumes were counted only once. The surface was initially sampled using 4,096 antipodal Fibonacci points per atom and checked at successive resolutions. Volume was obtained from a surface integral using the divergence theorem. Differences between successive resolutions were required to be below 0.5% for volume, van der Waals surface area, and total probe-accessible surface area. This check is a criterion for numerical stability, rather than a bound on absolute error.

Shape descriptors were defined to be invariant to rotation and translation of the coordinates. The dipole moment was reconstructed using the final coordinates and atomic charge and dipole contributions, then compared with the final calculation output. The Frobenius norm of the quadrupole tensor was calculated relative to the center of nuclear charge. The polarizability and C_6 inputs are D4 model values (Caldeweyher et al., 2019);

polarizability was not interpreted as a full electronic response tensor. Potential hydrogen-bond donor and acceptor sites were identified using documented N/O/S rules applied to the connectivity graph, and accessible surface areas were calculated using a spherical probe with a radius of 1.4 Å. These descriptors do not measure the number or energy of hydrogen bonds formed in the liquid.

2.4. Training and Model Selection with Held-Out Testing

The prediction target was experimental density itself. Connectivity groups independent of the stereochemical and isotopic layers of InChI were constructed to prevent stereoisomers and isotopologues with the same connectivity from entering different partitions. The 577 molecules corresponded to 566 groups. The first test fold of a shuffled five-fold GroupKFold split was fixed, yielding 461 molecules in 452 groups for training and 116 molecules in 114 groups for testing. The random seed was fixed at 20260908; alternative seeds or test folds were not selected to obtain a more favorable test score. The strict subset retained the same partition assignments, leaving 241 molecules in 241 groups for training and 59 molecules in 59 groups for testing. These 59 molecules are a subset of the 116 broad-set test molecules.

During model development, candidate regression methods were evaluated using five-fold grouped cross-validation within the training data. SVR was selected for both the broad and strict training sets on the basis of the lowest mean MAE. The results presented in this conference paper focus on SVR as selected through training-data validation. Model selection was not based on held-out test scores.

2.5. Rationale for Selecting SVR

The relationships of molecular composition, volume, shape, and electronic descriptors with density need not be represented by a single linear equation. SVR with an RBF kernel can model nonlinear relationships among these features without requiring an explicit polynomial expansion. The parameter C controls the balance between model complexity and the penalty for training errors outside the ε-insensitive band, γ controls the kernel's scale of influence in feature space, and ε defines the deviation band that incurs no penalty in the loss function (Smola & Schölkopf, 2004). For a dataset containing hundreds of molecules and dozens of numerical features, the ability to control these parameters through training-data validation provides a methodological rationale for using SVR.

The empirical rationale for this choice is that SVR was selected by the MAE criterion in grouped cross-validation for both training sets. Presenting results for the same regression method allows the predictive behavior of the molecular representation to be examined within a common methodological framework across

the broad and strict data selections. The value $\varepsilon = 0.01$ g cm^{-3} is a modeling parameter; it was not interpreted as the uncertainty of the experimental measurements.

2.6. SVR Hyperparameters and Implementation

An ε-SVR model with a radial basis function (RBF) kernel was used (Smola & Schölkopf, 2004). The kernel was defined as $K(x_i,x_j) = \exp(-\gamma\|x_i-x_j\|^2)$. Values of C in {1, 10, 100} and γ in {scale, 0.01} were evaluated using grouped cross-validation within the training data, while ε was fixed at 0.01 g cm^{-3}. The selected C values were 100 for the broad model and 10 for the strict model; $\gamma = 0.01$ was selected for both. Constant-feature filtering and standardization were fitted separately within each training fold. In the final training fit, removal of the boron atom count left 39 features for the broad model, whereas removal of the phosphorus, boron, and silicon atom counts left 37 features for the strict model. Each feature was scaled using its training-set mean and standard deviation; the target was not transformed.

Calculations were performed using Python and scikit-learn 1.8.0 (Pedregosa et al., 2011). The selected SVR models, together with their preprocessing steps, were fitted separately to the 461 broad-set and 241 strict-subset training molecules and saved. For held-out test evaluation, the saved models were loaded without retraining, refitting standardization, clipping predictions, or excluding test molecules. There was no overlap between the training and test groups of either model. Both models were also evaluated on the same 59 molecules in the strict test set, all of which were excluded from the training data of both models. This partition is based on connectivity groups; it does not constitute independent external validation with respect to broader chemical scaffolds or source publications.

2.7. Performance Metrics

Test performance was evaluated using the coefficient of determination (R^2), mean absolute error (MAE), and root mean squared error (RMSE). The definitions are given below, where y_i denotes the experimental density, $\hat{y}_i$ the predicted density, and $\bar{y}$ the mean experimental density of the test set:

$$R^2 = 1 - \Sigma_i(y_i - \hat{y}_i)^2 / \Sigma_i(y_i - \bar{y})^2$$

$$MAE = (1/n)\,\Sigma_i|\hat{y}_i - y_i|$$

$$RMSE = \sqrt{[(1/n)\,\Sigma_i(\hat{y}_i - y_i)^2]}$$

R^2 was not calculated as the square of the correlation coefficient. All metrics used one target per molecule and assigned equal weight to each molecule. MAE and RMSE are expressed in g cm^{-3}. For additional diagnostic analysis, the signed error was defined as $\hat{y}_i - y_i$.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Held-Out Test Performance

The performance of the SVR models selected by the MAE criterion in grouped cross-validation within the training data is reported for their respective held-out test sets in Table 2 and Figure 2. The experimental density range was 0.66873–2.16914 g cm^{-3} in both test sets.

Table 2. Performance of the SVR models selected using the broad and strict training sets on their respective held-out test sets. The test sets differ in size; evaluation on the same molecules is presented in Figure 4.

Metric	Broad-Set SVR	Strict-Subset SVR
Total Molecules	577	300
Training / Test Molecules	461 / 116	241 / 59
Training / Test Connectivity Groups	452 / 114	241 / 59
Features Used	39	37
Kernel; C; γ	RBF; 100; 0.01	RBF; 10; 0.01
ε (g cm^{-3})	0.01	0.01
Test R^2	0.9592	0.9760
Test MAE (g cm^{-3})	0.02419	0.02269
Test RMSE (g cm^{-3})	0.04833	0.03791
Mean Signed Error (g cm^{-3})	−0.00026	−0.00398
Maximum Absolute Error (g cm^{-3})	0.31708	0.18238

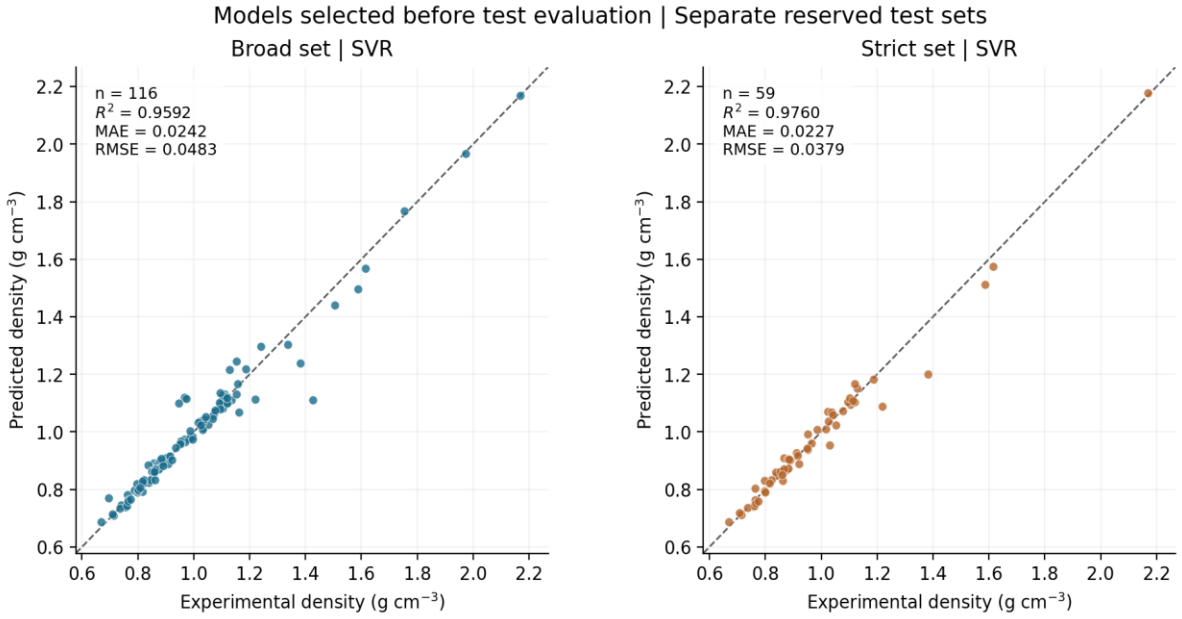


Figure 2. Experimental versus predicted densities for the previously selected SVR models on their respective held-out test sets: broad set on the left (n = 116, R^2 = 0.9592) and strict subset on the right (n = 59, R^2 = 0.9760). Dashed lines indicate the 1:1 relationship. All test points are shown. MAE and RMSE are expressed in g cm^{-3}.

The broad model had a mean absolute deviation of 0.02419 g cm^{-3}, equivalent to approximately 24.19 kg m^{-3}. The strict model achieved a higher R^2 and lower MAE and RMSE on its own test set. However, because that set contains 59 molecules, the difference relative to the 116-molecule broad test set cannot be attributed solely to the quality of the training data. Although the evaluation includes connectivity groups not encountered during training, it does not eliminate chemical similarity entirely.

3.2. Error Distribution and Scope of the Molecular Representation

The mean signed error was −0.00026 g cm^{-3} for the broad test set and −0.00398 g cm^{-3} for the strict test set (Figure 3). However, positive and negative errors can cancel; a small mean error therefore does not, by itself, indicate low error for every molecule. The median absolute error of 0.01039 g cm^{-3} in the broad test set indicates that the deviation for a typical test point was lower than the MAE. The RMSE, which was approximately twice the MAE, indicates that a small number of large errors substantially affected the squared-error metric.

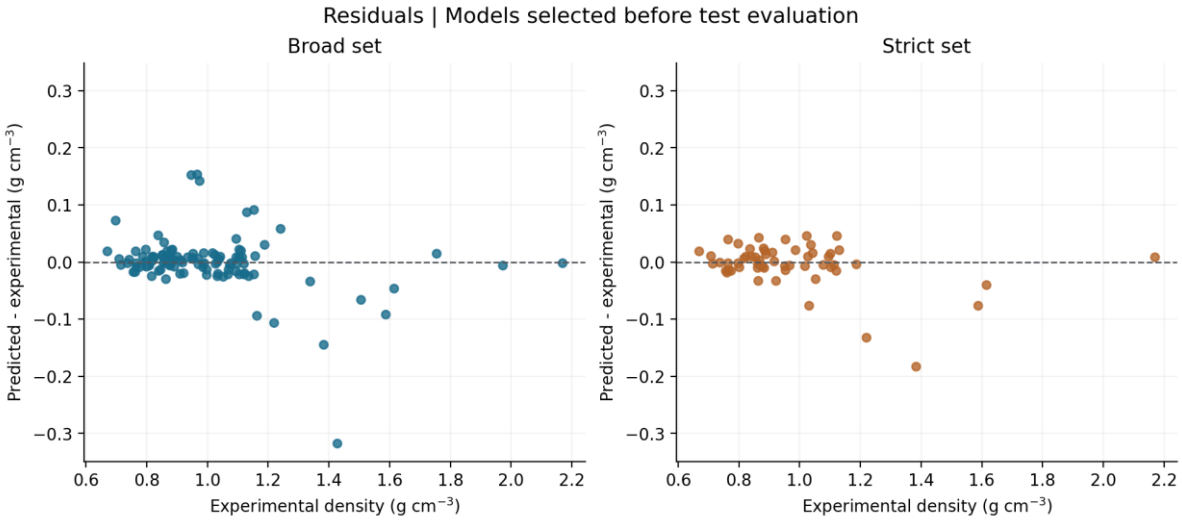


Figure 3. Signed errors (predicted − experimental density) of the SVR models plotted against experimental density: the 116 broad-set test molecules on the left and the 59 strict-subset test molecules on the right. Horizontal dashed lines indicate zero error. All test points are shown.

For 103 of the broad-set test molecules (88.8%), the absolute error was no greater than 0.05 g cm⁻³. The maximum absolute error was 0.31708 g cm⁻³, and this point was retained in the performance calculations. The error distribution shows that individual molecules require further examination despite the high aggregate R^2. At this stage, no mechanistic attribution of the large errors to a particular functional group, conformer choice, or source record was made.

Combining composition, geometry, and electronic information provides a multifaceted input representation for density prediction. However, the present results do not establish whether volume, dipole moment, or hydrogen-bonding descriptors make the greatest independent contribution. RBF-SVR does not assign a single linear coefficient to each feature; moreover, mass, volume, surface area, and polarizability descriptors may be correlated. Interpretation of feature contributions would require additional comparisons with feature groups removed or suitable importance analyses.

3.3. Evaluation on the Same 59 Test Molecules

To isolate the effect of test-set composition, the two saved SVR models were evaluated on the same 59 molecules in the strict test set (Figure 4). The model trained on the broad set achieved R^2 = 0.9758, MAE = 0.02096 g cm⁻³, and RMSE = 0.03813 g cm⁻³, whereas the model trained on the strict subset achieved R^2 = 0.9760, MAE = 0.02269 g cm⁻³, and RMSE = 0.03791 g cm⁻³. The broad model's R^2 of 0.9758 on the common test set does not replace its R^2 of 0.9592 on all 116 test molecules.

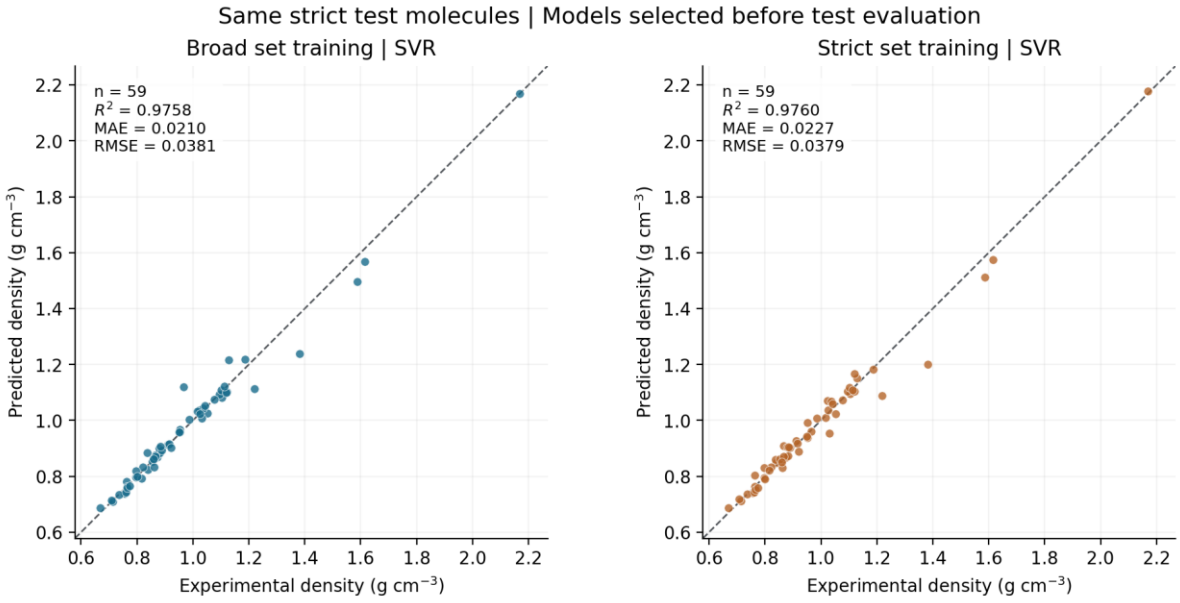


Figure 4. Predictions from the two SVR models for the same 59 strict-subset test molecules: the broad model trained on 461 molecules on the left and the strict model trained on 241 molecules on the right. The experimental targets and molecular identities are identical in both panels. MAE and RMSE are expressed in g cm^{-3}.

On the common test set, the R^2 and RMSE values were similar, while the broad model had a lower MAE. The strict model's higher R^2 on its own test set was therefore not interpreted as evidence of general superiority. Using the same molecules holds test-set composition constant. However, because training-set size, chemical coverage, constant-feature filtering, and the selected C value still differ, this evaluation does not isolate the causal effect of source quality. No statistical significance or confidence interval analysis was performed for these differences.

3.4. Limitations

The first limitation concerns the source status of the experimental targets. The data were screened for measurement conditions, duplicates, numerical consistency, and selected source and phase issues; however, full-text verification of all sources was not completed. The 251 molecules represented by a single source and shared reference values that may have been reproduced from other publications are relevant in this respect. Statistical agreement alone does not establish that a record corresponds to the correct compound and phase. The results depend on the screening rules applied.

The second limitation is the use of features calculated from a single gas-phase conformer. Conformational diversity in flexible molecules and environmental effects in the liquid are not represented. The third limitation is the use of a single fixed training–test split. Generalization was not evaluated using repeated splits, chemical scaffold splits, source-publication splits, or a fully external dataset, and confidence intervals were not calculated for the scores. Consequently, the reported performance should not be generalized to all organic liquids or to different temperature and pressure conditions.

4. CONCLUSION

This study evaluated SVR using GFN2-xTB-based molecular features on a broad candidate set of 577 molecules and its strict subset of 300 molecules. The broad model, selected using grouped cross-validation within the training data, achieved $R^2 = 0.9592$, MAE = 0.02419 g cm^{-3}, and RMSE = 0.04833 g cm^{-3} on 116 test molecules. The strict model achieved $R^2 = 0.9760$, MAE = 0.02269 g cm^{-3}, and RMSE = 0.03791 g cm^{-3} on 59 test molecules. On the same 59 molecules, the two models achieved similar R^2 values of 0.9758 and 0.9760. This comparison demonstrates the importance of reporting performance together with the scope of the test set.

The findings support the combined use of molecular features with explicitly defined computational procedures as a viable approach to density prediction in this dataset. Broader source verification and alternative validation partitions are the next steps toward establishing the scope of the approach more reliably.

Data and Code Statement

The data-source version, training and test tables for both datasets, feature schema, SVR selection records, model parameters, and 175 model–test-molecule predictions are documented in the supplementary files. These 175 rows comprise 116 predictions from the broad model and 59 from the strict model; they do not represent 175 distinct test molecules. Figures 2–4 were taken from the original PNG/PDF files produced by the calculations. The models were not retrained; the metrics were reverified from the prediction table. The document-generation code, metric-verification script, and source-file mappings are included.

REFERENCES

Bannwarth, C., Ehlert, S., & Grimme, S. (2019). GFN2-xTB—An accurate and broadly parametrized self-consistent tight-binding quantum chemical method with multipole electrostatics and density-dependent dispersion contributions. *Journal of Chemical Theory and Computation, 15*(3), 1652–1671. https://doi.org/10.1021/acs.jctc.8b01176

Bondi, A. (1964). van der Waals volumes and radii. *The Journal of Physical Chemistry, 68*(3), 441–451. https://doi.org/10.1021/j100785a001

Caldeweyher, E., Ehlert, S., Hansen, A., Neugebauer, H., Spicher, S., Bannwarth, C., & Grimme, S. (2019). A generally applicable atomic-charge dependent London dispersion correction. *The Journal of Chemical Physics, 150*(15), 154122. https://doi.org/10.1063/1.5090222

Frenkel, M., Chirico, R. D., Diky, V. V., Dong, Q., Frenkel, S., Franchois, P. R., Embry, D. L., Teague, T. L., Marsh, K. N., & Wilhoit, R. C. (2003). ThermoML—An XML-based approach for storage and exchange of experimental and critically evaluated thermophysical and thermochemical property data. 1. Experimental data. *Journal of Chemical & Engineering Data, 48*(1), 2–13. https://doi.org/10.1021/je025645o

GNNePCSAFT. (n.d.). *ThermoML-derived pure-liquid density dataset, rho_pure.parquet* (Commit 5dc6d596ea1a98676fed01a3afbb2a0567892156). GitHub. Retrieved September 8, 2026, from https://github.com/wildsonbbl/gnnepcsaft/tree/5dc6d596ea1a98676fed01a3afbb2a0567892156/gnnepcsaft/data/thermoml/raw

Mantina, M., Chamberlin, A. C., Valero, R., Cramer, C. J., & Truhlar, D. G. (2009). Consistent van der Waals radii for the whole main group. *The Journal of Physical Chemistry A, 113*(19), 5806–5812. https://doi.org/10.1021/jp8111556

Mathieu, D., & Bouteloup, R. (2016). Reliable and versatile model for the density of liquids based on additive volume increments. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 55*(50), 12970–12980. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b03809

O'Boyle, N. M., Banck, M., James, C. A., Morley, C., Vandermeersch, T., & Hutchison, G. R. (2011). Open Babel: An open chemical toolbox. *Journal of Cheminformatics, 3*(1), 33. https://doi.org/10.1186/1758-2946-3-33

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. https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html

Smola, A. J., & Schölkopf, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and Computing, 14*(3), 199–222. https://doi.org/10.1023/B:STCO.0000035301.49549.88

ELECTRONIC STRUCTURE AND VIBRATIONAL PROPERTIES OF A BROMIDE-BRIDGED BISMUTH(III) COMPLEX: A DFT STUDY

Prof. Dr. İbrahim İsmet ÖZTÜRK[1] / Dr. Öğr. Üyesi Okan UÇAR[2]

[1]Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, iiozturk@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3164-0038

[2]Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, oucar@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5921-3324

Abstract

The electronic structure and vibrational properties of the bromide-bridged bismuth(III) complex [{$BiBr_2(\mu_2\text{-}Br)(Hmmthd)_2$}$_2$], containing 2-mercapto-5-methyl-1,3,4-thiadiazole (Hmmthd), were investigated using density functional theory (DFT). The experimentally determined crystal structure was used as the initial molecular model, and full geometry optimization was performed at the B3LYP/LANL2DZ level of theory. Frontier molecular orbital analysis gave HOMO and LUMO energies of −6.56 and −3.10 eV, respectively, corresponding to a HOMO–LUMO energy gap of 3.46 eV. The calculated global reactivity descriptors, including ionization potential (6.56 eV), electron affinity (3.10 eV), chemical hardness (1.73 eV), softness (0.58 eV^{-1}), electronegativity (4.83 eV), chemical potential (−4.83 eV), and electrophilicity index (6.74 eV), indicate a relatively stable but electronically responsive molecular framework with appreciable electron-accepting character. The calculated vibrational frequencies were also compared with experimental infrared data. The N–H, C=N, and C=S stretching vibrations were calculated at 3276, 1450, and 731 cm^{-1}, respectively, whereas the corresponding experimental bands were observed at 3230, 1421, and 746 cm^{-1}. The close agreement between the theoretical and experimental vibrational frequencies supports the reliability of the computational analysis and is consistent with the proposed coordination behavior of the thioamide-derived ligand. Overall, the combined frontier molecular orbital, global reactivity, and vibrational analyses provide a consistent description of the electronic characteristics of the bromide-bridged Bi(III) coordination framework.

Keywords: Bismuth(III) complex, density functional theory, HOMO–LUMO energy gap, global reactivity descriptors, vibrational analysis

1. INTRODUCTION

Bismuth(III) compounds have attracted considerable interest in main-group coordination chemistry because of their diverse coordination behavior and their ability to form structurally different complexes with sulfur-containing donor ligands. In particular, bismuth(III) halides readily interact with heterocyclic thioamides, giving rise to molecular structures in which the coordination environment of the Bi(III) center is determined by both metal–ligand interactions and secondary contacts involving halide atoms. Previous structural studies have demonstrated that bismuth(III) chloride, bromide, and iodide complexes containing heterocyclic thioamides can exhibit a considerable diversity of molecular and supramolecular architectures (Li & Li, 2014; Ozturk et al., 2019; Ozturk et al., 2021).

Sulfur-containing heterocyclic ligands represent an important class of donor systems in bismuth(III) coordination chemistry. Their sulfur donor atoms can coordinate effectively to Bi(III), while the presence of heteroatoms within the heterocyclic framework can influence the electronic properties and coordination behavior of the ligand. In addition, heterocyclic thioamides may exist in different tautomeric forms, and coordination through the sulfur atom of the thione form is frequently observed. Previous investigations of bismuth(III) halide complexes with heterocyclic thioamides have shown that the ligand coordination mode, metal-to-ligand ratio, and nature of the halide can substantially influence the resulting molecular architecture and intermolecular interactions (Ozturk et al., 2021; Beltrán-Torres et al., 2024; Ucar et al., 2021).

Among sulfur-containing heterocyclic systems, 2-mercapto-5-methyl-1,3,4-thiadiazole (Hmmthd) is an interesting ligand because its heterocyclic framework contains nitrogen and sulfur atoms together with an sulfur-containing thione functionality (Figure 1). The presence of the methyl substituent at the 5-position further differentiates the electronic environment of the heterocycle. The ligand can coordinate to metal centers through its sulfur donor atom, providing an appropriate coordination site for main-group metal ions (Kumar et al., 2010; Bharati et al., 2016).

The coordination chemistry of bismuth(III) bromide with sulfur-containing ligands is particularly relevant because the bromide ions can participate in both terminal coordination and bridging interactions. Previous studies on bismuth(III) bromide–thioamide complexes have demonstrated structural diversity associated with the coordination mode of the thioamide ligands and the participation of bromide ions in the formation of extended structures. More generally, investigations of bismuth(III) halide complexes with heterocyclic thioamides have shown that halide atoms can contribute significantly to the organization of the coordination units in the solid state. These observations emphasize the importance of considering both primary

Bi–S bonds and secondary or bridging Bi···Br interactions when discussing the structural properties of bismuth(III) halide complexes (Ozturk et al., 2019; Ounalli et al., 2020; Cakmak et al., 2018; Jagenbrein et al., 2015) .

The structural characteristics of bismuth(III) complexes are closely related to their electronic properties. Although single-crystal X-ray diffraction and spectroscopic techniques provide essential experimental information concerning molecular geometry and bonding interactions, quantum chemical calculations offer a complementary approach for understanding the electronic structure of coordination compounds. Density functional theory (DFT) calculations can provide information about frontier molecular orbitals, molecular orbital energy separation, electron-donating and electron-accepting characteristics, and global reactivity descriptors. Such parameters are particularly useful for establishing relationships between the experimentally determined coordination environment and the electronic properties of the corresponding complex (Sulaiman et al., 2020; Bhattacharjee et al., 2025; Tawfiq et al., 2026; Elleuch et al., 2024).

Previous studies of bismuth(III) complexes containing heterocyclic thioamides have primarily focused on their synthesis, structural characterization, and biological properties (Li & Li, 2014; Ozturk et al., 2019; Ozturk et al., 2021). Studies involving related bismuth(III) and antimony(III) thioamide complexes have also demonstrated that differences in the metal center, ligand framework, and halide can lead to changes in coordination geometry and supramolecular organization (Ucar et al., 2021). These structural variations provide a basis for examining how the metal–ligand framework influences the electronic properties of such compounds.

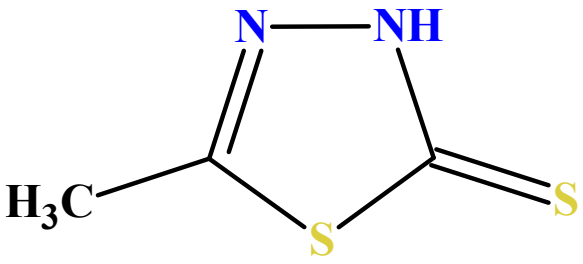


Figure 1. The molecular structure of 2-mercapto-5-methyl-1,3,4-thiadiazole (Hmmthd)

In the present study, the electronic structure of the bismuth(III) bromide complex [{$BiBr_2(\mu_2$-Br)$(Hmmthd)_2\}_2$] containing 2-mercapto-5-methyl-1,3,4-thiadiazole was investigated using density functional theory. The experimentally determined crystal structure was employed as the initial molecular model, followed by full geometry optimization and electronic structure analysis. The frontier molecular orbitals, HOMO and LUMO energies, HOMO–LUMO energy separation, and global reactivity descriptors were calculated to

provide a detailed description of the electronic characteristics of the complex. Particular attention was given to the relationship between the Bi–S coordination environment, bromide-bridged Bi–Br interactions, frontier molecular orbital distribution, and global electronic reactivity parameters. This approach provides a computational perspective on the electronic structure of the bromide-bridged bismuth(III) complex and complements the available structural and spectroscopic characterization.

2. METHOD

2.1. Density Functional Theory Calculations

Density functional theory (DFT) calculations were performed to examine the molecular structure and electronic characteristics of the bismuth(III) bromide complex containing 2-mercapto-5-methyl-1,3,4-thiadiazole (Hmmthd). The initial molecular geometry was generated from the experimentally determined crystal structure available in the corresponding crystallographic information file (CIF). The obtained structure was then subjected to unrestricted full geometry optimization, without applying any symmetry constraints, in order to determine the energetically optimized molecular geometry. All quantum chemical calculations were carried out using the Gaussian 16W program, while GaussView 6.0.16 was employed for molecular visualization and graphical analysis of the optimized structure and frontier molecular orbitals.

$$I = -E_{HOMO}$$

$$EA = -E_{LUMO}$$

$$\Delta E = E_{HOMO} - E_{LUMO}$$

$$\chi = \frac{I + EA}{2}$$

$$\chi = -\mu$$

$$\eta = \frac{I - EA}{2}$$

$$\sigma = \frac{1}{\eta}$$

$$\omega = \frac{\chi^2}{2\eta}$$

Equation 1-8. The formulae of quantum parameters.

The electronic structure calculations were conducted using the B3LYP hybrid density functional together with the LANL2DZ basis set. This computational approach was adopted to provide a reasonable

balance between computational efficiency and the treatment of the heavy bismuth atom in the investigated coordination compound. After geometry optimization, the frontier molecular orbital energies, namely the highest occupied molecular orbital (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbital (LUMO), were determined. These values were subsequently used to calculate the principal global reactivity descriptors, including ionization potential (I), electron affinity (EA), chemical hardness (η), chemical softness (σ), electronegativity (χ), chemical potential (μ), and electrophilicity index (ω), according to Eqs. (1–8) (Belazghem et al., 2026).

3. RESULTS

The optimized molecular structure of the bismuth(III) bromide complex was further investigated using frontier molecular orbital analysis and global reactivity descriptors (Figure 2). The calculated quantum chemical parameters are summarized in Table 1. The highest occupied molecular orbital (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) energies were calculated as −6.56 and −3.10 eV, respectively, resulting in a frontier molecular orbital energy separation □E of 3.46 eV. The relatively moderate HOMO–LUMO energy gap indicates that the complex possesses a reasonably stable electronic structure while retaining a certain degree of electronic responsiveness. The negative values obtained for both frontier orbital energies are consistent with a stable electronic ground-state configuration.

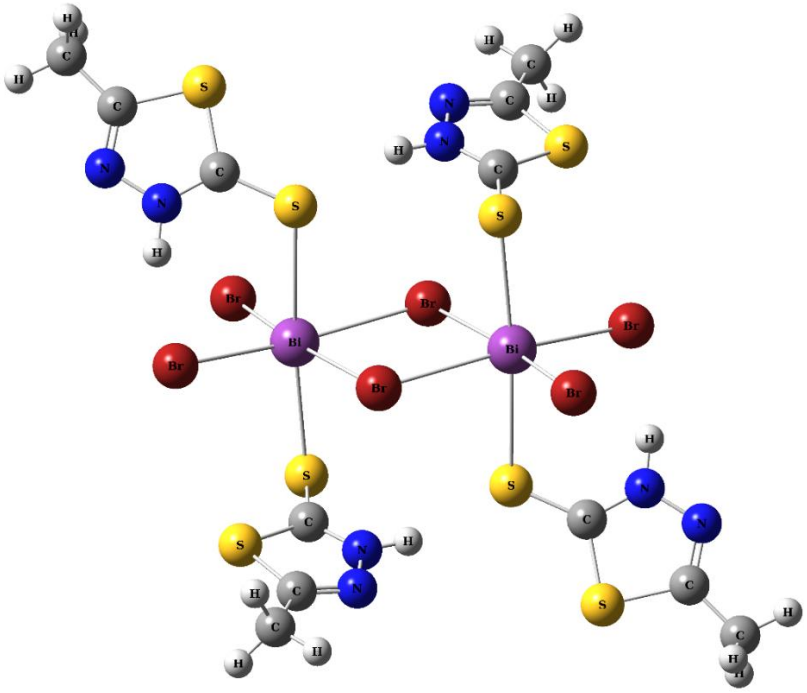


Figure 2. The geometric optimized structure of the bismuth complex.

The HOMO energy is directly related to the electron-donating tendency of a molecule, whereas the LUMO energy is associated with its ability to accept electron density. In the present complex, the HOMO value of −6.56 eV and the LUMO value of −3.10 eV indicate that electron removal from the occupied molecular orbital requires a relatively high energy, as also reflected by the calculated ionization potential of 6.56 eV (Figure 3). Conversely, the electron affinity was calculated as 3.10 eV, indicating a considerable tendency of the system to accept electron density. These results suggest that the electronic structure of the complex is characterized by a balance between resistance to electron removal and its ability to accommodate additional electron density.

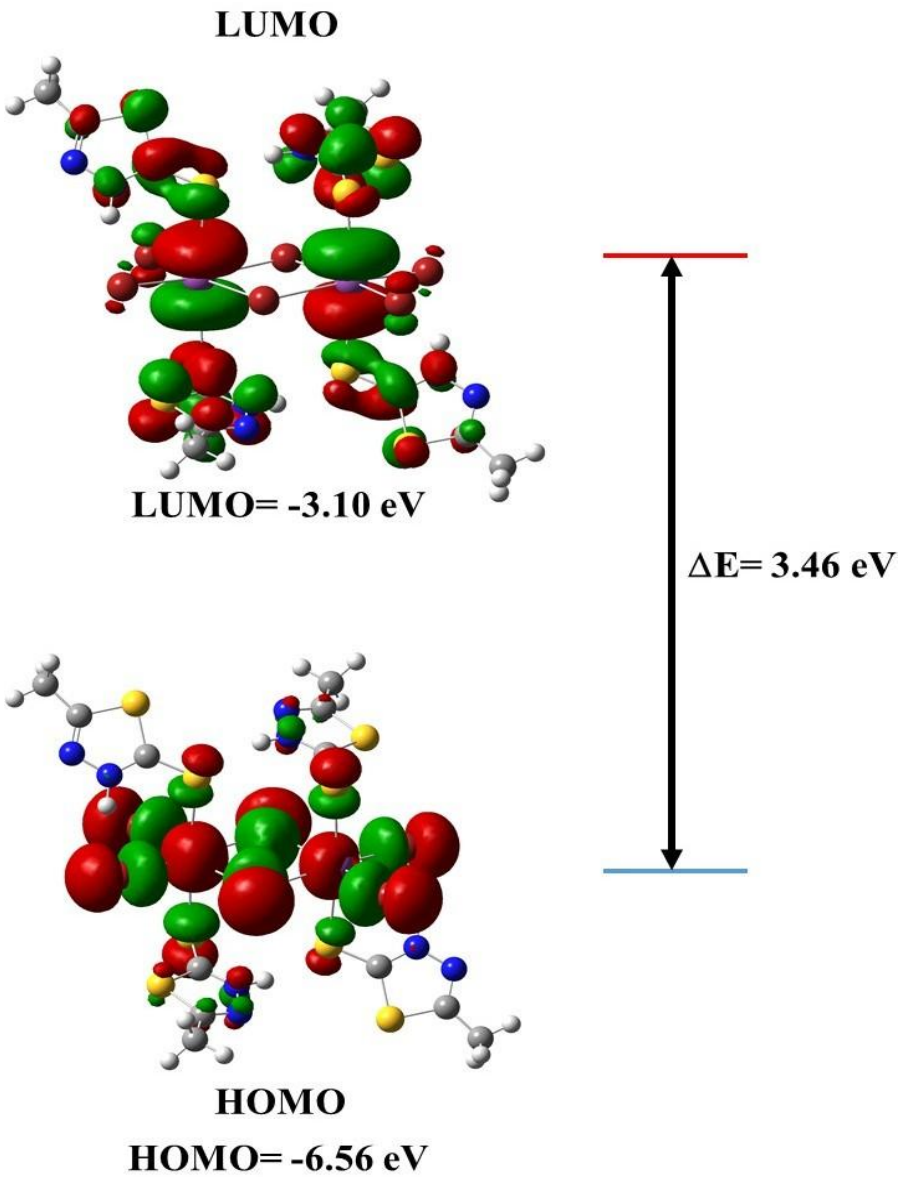


Figure 3. The frontiers molecular orbital of the bismuth complex.

The calculated global hardness and softness values were 1.73 and 0.58 eV^{-1} respectively. The hardness value indicates a moderate resistance of the complex toward changes in its electronic configuration, whereas the corresponding softness value reflects a measurable degree of electronic flexibility (Table 1). In this respect, the □E value of 3.46 eV is consistent with the calculated hardness and softness parameters. A relatively smaller frontier orbital separation generally corresponds to enhanced electronic responsiveness, while a larger separation is associated with greater resistance to electronic excitation. Thus, the present complex can be considered to possess an intermediate electronic character, combining appreciable stability with a potential for electronic interaction.

The electronegativity and chemical potential were calculated as 4.83 and −4.83 eV, respectively. The relatively high electronegativity value indicates a pronounced tendency of the complex to attract electron density, while the negative chemical potential is consistent with the thermodynamic tendency of the system to maintain its electron population rather than readily release electrons. These parameters further support the electron-accepting character suggested by the calculated LUMO energy and electron affinity.

The electrophilicity index was calculated to be 6.74 eV. This relatively high value indicates that the complex has a significant ability to accept electron density and can therefore exhibit appreciable electrophilic character. The electrophilicity index should be considered together with the electronegativity and global hardness values, since it reflects the combined effect of the electron-attracting tendency and resistance to changes in electron density. The calculated ω, together with the positive electron affinity and negative chemical potential, points to an electronically favorable environment for interactions involving electron donation toward the complex.

Overall, the calculated global reactivity descriptors demonstrate that the bismuth(III) bromide complex has a relatively stable but electronically responsive molecular framework. The HOMO–LUMO energy separation of 3.46 eV, together with the calculated hardness, softness, electronegativity, and electrophilicity values, provides a consistent description of its electronic structure. These results indicate that the coordination of 2-mercapto-5-methyl-1,3,4-thiadiazole to the Bi(III) center produces an electronically organized system in which the metal–ligand framework can participate in charge-transfer-related interactions. The calculated descriptors therefore complement the structural characterization and provide additional insight into the electronic properties of the investigated bismuth(III) complex.

Table 1. The quantum parameters of the bismuth complex.

Global Reactivity Descriptor	Symbol	Value (eV)
Highest occupied molecular orbital energy	E_{HOMO}	-6.56
Lowest unoccupied molecular orbital energy	E_{LUMO}	-3.10
Frontier orbital energy separation	ΔE	3.46
Ionization potential	I	6.56
Electron affinity	EA	3.10
Global hardness	η	1.73
Global softness	σ	0.58
Electronegativity	χ	4.83
Chemical potential	μ	-4.83
Electrophilicity index	ω	6.74

Infrared spectral analysis was employed to examine the coordination behavior of the thioamide-derived ligand in the bismuth complex (Figure 34. The experimentally observed characteristic vibrational bands were compared with the corresponding frequencies obtained from DFT calculations. The selected vibrational modes are presented in Table 2. The calculated and experimental frequencies of the N–H stretching vibration were found to be 3276 and 3230 cm^{-1}, respectively, showing very close agreement. This band provides important evidence for the presence of the N–H group in the coordinated ligand and supports a neutral coordination mode. The C=N stretching vibration was calculated at 1450 cm^{-1}, while the experimental value was observed at 1421 cm^{-1}. In addition, the C=S stretching vibration appeared at 731 cm^{-1} in the theoretical spectrum and at 746 cm^{-1} experimentally, demonstrating a close correspondence between the calculated and experimental values. The good agreement observed for these characteristic vibrational frequencies supports the reliability of the DFT calculations and, in particular, the proposed coordination behavior of the thioamide-derived ligand toward the bismuth center.

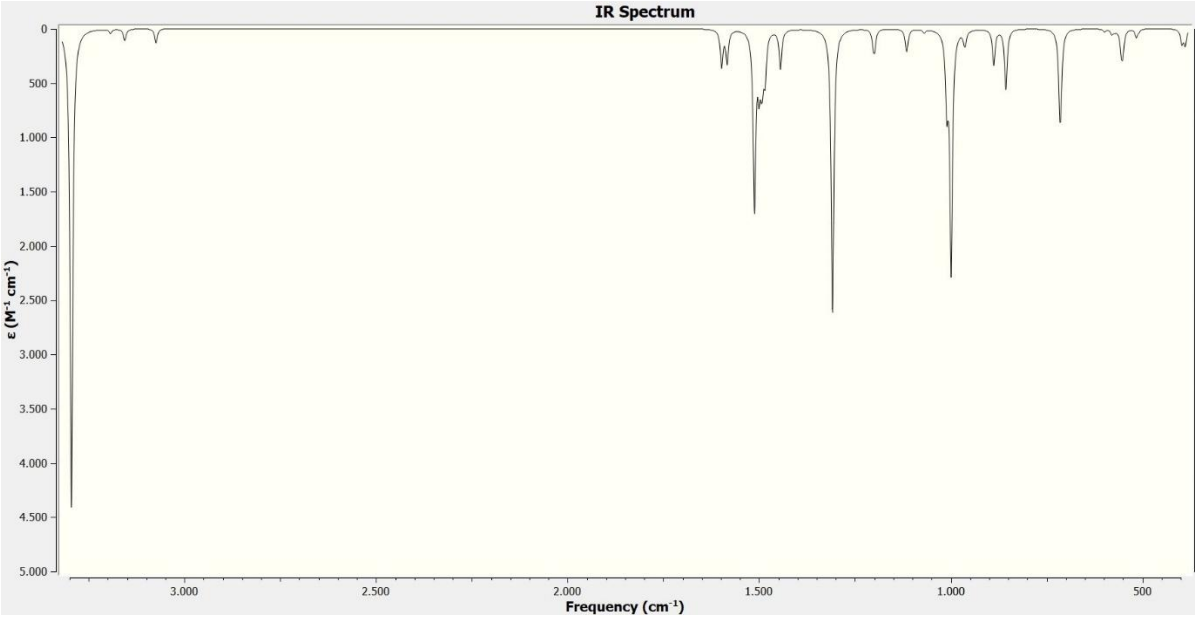


Figure 4. The infrared spectra of the [{$BiBr_2(\mu_2$-Br)$(Hmmthd)_2\}_2$].

Table 2. The infrared peaks of the bismuth complex (theoretically and experimentally).

Compound	ν(N-H)	ν(C=N)	ν(C=S)
Calculation	3276	1450	731
Experimental	3230	1421	746

4. CONCLUSION, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

In this study, the electronic structure and vibrational properties of the bromide-bridged bismuth(III) complex [{$BiBr_2(\mu_2$-Br)$(Hmmthd)_2\}_2$], containing 2-mercapto-5-methyl-1,3,4-thiadiazole (Hmmthd), were investigated using DFT calculations. Geometry optimization was performed using the B3LYP/LANL2DZ method, and the experimentally determined crystal structure was employed as the starting molecular model. The calculated frontier molecular orbital energies were found to be −6.56 eV for HOMO and −3.10 eV for LUMO, giving a HOMO–LUMO energy gap of 3.46 eV. This energy separation, together with the calculated global hardness of 1.73 eV and softness of 0.58 eV^{-1}, indicates a molecular system combining appreciable electronic stability with a measurable degree of electronic responsiveness.

The calculated ionization potential (6.56 eV), electron affinity (3.10 eV), electronegativity (4.83 eV), chemical potential (−4.83 eV), and electrophilicity index (6.74 eV) further indicate that the complex possesses a pronounced electron-accepting character. These parameters are consistent with the frontier orbital analysis and provide complementary information on the electronic behavior of the Bi(III) coordination framework.

The vibrational analysis also showed good agreement between the calculated and experimental infrared data. In particular, the calculated and experimental N–H stretching frequencies were 3276 and 3230 cm^{-1}, respectively, while the C=N and C=S stretching vibrations were calculated at 1450 and 731 cm^{-1} and experimentally observed at 1421 and 746 cm^{-1}, respectively. The close correspondence between these characteristic vibrational frequencies supports the reliability of the theoretical calculations and provides further evidence for the proposed coordination behavior of the Hmmthd ligand.

Overall, the combined frontier molecular orbital, global reactivity descriptor, and vibrational analyses provide a consistent description of the electronic characteristics of the bromide-bridged Bi(III) complex. The results demonstrate that the Bi–S coordination environment and bromide-bridged framework are associated with an electronically organized structure exhibiting both stability and potential for electron-density interactions.

REFERENCES

Belazghem, N.-E., Ulu, Ö. D., Serin, S., Sekkoum, K., Yıldırım, İ., Özdemir, N., & Özdemir, İ. (2026). Integrated experimental–computational elucidation of a new Ag(I)-NHC complex: Synthesis, spectroscopic profiling, DFT/TD-DFT calculations, and QTAIM topological analysis. Journal of Molecular Structure, 1364, 145884. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2026.145884

Beltrán-Torres, M., Santacruz-Ortega, H., López-Gastelum, K. A., Acosta-Elías, M., Velázquez-Contreras, E. F., Aguirre-Hernández, G., Hernández-Paredes, J., Pérez-González, R., Rocha-Alonzo, F., García-Galaz, A., & Sugich-Miranda, R. (2024). Synthesis via microwave irradiation, structural characterization, and antibacterial activities of new complexes of bismuth(III) with thiosemicarbazones. Polyhedron, 252, 116883. https://doi.org/10.1016/j.poly.2024.116883

Bharati, P., Bharti, A., Nath, P., Kumari, S., Singh, N. K., & Bharty, M. K. (2016). Square planar Pd(II) complexes derived from 1-ethyl-3-phenylthiourea, 3-mercapto-4-methyl-1,2,4-triazole and 2-mercapto-5-methyl-1,3,4-thiadiazole: Syntheses, spectral, structural characterization and photoluminescence properties. Inorganica Chimica Acta, 443, 160–169. https://doi.org/10.1016/j.ica.2016.01.003

Bhattacharjee, T., Nath, S., Sen, T., Nethaji, K., Farhana, A., Roy, S., Baildya, N., Gannon, P. M., Kaminsky, W., Banerjee, A., Shanmugam, P., Gargari, M. S., Pathak, S., & Adhikari, S. (2025). A neutral 1D polymeric Hg(II) complex harvested from 9-butyl adenine: Synthesis, crystal structure, Hirshfeld surface, DFT optimization, and anti-microbial activities. Journal of Molecular Structure, 1339, 142389. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2025.142389

Cakmak, M., Ozturk, I. I., Banti, C. N., Manoli, M., Moushi, E., Tasiopoulos, A. J., Grzeskiewicz, A. M., Kubicki, M., & Hadjikakou, S. K. (2018). Bismuth(III) bromide-thioamide complexes: Synthesis, characterization and cytotoxic properties. Main Group Metal Chemistry, 41, 143–154. https://doi.org/10.1515/mgmc-2018-0035

Elleuch, N., Sellami, S., Jlaeil, L., Lhoste, J., & Boujelbene, M. (2024). A new centrosymmetric supramolecular hybrid antimony(III)-based material: X-ray characterization, vibrational studies, theoretical (DFT and TD-DFT) studies, thermal behavior, opto-electric properties and atomic Hirshfeld surface analysis. Journal of Molecular Structure, 1316, 138871. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138871

Jagenbrein, M., Monakhov, K. Y., & Braunstein, P. (2015). A dinuclear Bi(III) complex of a 1,3-disubstituted imidazole-2-thione and its use as a transmetallation agent toward Pd(II). Journal of Organometallic Chemistry, 796, 11–16. https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2015.04.052

Kumar, P., Yadav, M., Singh, A. K., & Pandey, D. S. (2010). Synthesis and characterization of some novel ruthenium(II) complexes containing thiolate ligands. Journal of Organometallic Chemistry, 695, 994–1001. https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2009.12.006

Li, M., & Li, R. K. (2014). Two new bismuth thiourea bromides: Crystal structure, growth, and characterization. Dalton Transactions, 43, 2577–2580. https://doi.org/10.1039/c3dt52953c

Ounalli, C., Essid, M., Bruno, G., Abid, S., Santoro, A., & Aloui, Z. (2020). Synthesis, crystal structure, vibrational and optical properties of new Bi(III) halide complex (tris(2-amino-5-(methylthio)-1,3,4-thiadiazol-3-ium) hexachlorobismuthate(III)): [C3H6N3S2]3BiCl6. Solid State Communications, 318, 113985. https://doi.org/10.1016/j.ssc.2020.113985

Ozturk, I. I., Banti, C. N., Hadjikakou, S. K., Panagiotou, N., & Tasiopoulos, A. J. (2019). Structural architectures and biological properties of main group bismuth(III) iodide complexes with heterocyclic thioamides. Inorganica Chimica Acta, 497, 119094. https://doi.org/10.1016/j.ica.2019.119094

Ozturk, I. I., Sirinkaya, E. T., Cakmak, M., Gürgan, M., Ceyhan, D., Panagiotou, N., & Tasiopoulos, A. J. (2021). Structural and biological features of bismuth(III) halide complexes with heterocyclic thioamides. Journal of Molecular Structure, 1227, 129730. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129730

Sulaiman, A. A., Zierkiewicz, W., Michalczyk, M., Malik-Gajewska, M., Ahmad, S., Alhoshani, A., As Sobeai, H. M., Bieńko, D., & Isab, A. A. (2020). Synthesis, characterization, DFT optimization and anticancer evaluation of phosphanegold(I) dithiocarbamates. Journal of Molecular Structure, 1218, 128486. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128486

Tawfiq, K. M., Al-Sarray, A. J., Al-Naymi, H. A. S., Obaid, S. M. H., Jarad, A. J., & Hashim, R. A. (2026). Synthesis, characterization, DFT calculations, molecular docking, ADMET analysis and biological activity of Schiff base metal complexes against colon cancer cells. Journal of Molecular Structure, 1355, 144997. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2025.144997

Ucar, O., Grześkiewicz, A. M., Banti, C., Hadjikakou, S. K., & Ozturk, I. I. (2021). Structural characterization and biological evaluation of antimony(III) and bismuth(III) complexes with imidazolidine-2-thione. Journal of Molecular Structure, 1235, 130270. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130270

THEORETICAL EVALUATION OF MOLECULAR GEOMETRY, REACTIVITY, AND ELECTRONIC STRUCTURE OF FURAN-2-CARBALDEHYDE-N-METHYL THIOSEMICARBAZONE

Prof. Dr, İbrahim İsmet ÖZTÜRK[1] / Dr. Öğr. Üyesi, Okan UÇAR[2]

[1]Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, iiozturk@nku.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0003-3164-0038

[2]Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, oucar@nku.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0001-5921-3324

Abstract

In the present study, the structural, electronic, and vibrational properties of Hfmtsc were investigated using Density Functional Theory (DFT) calculations at the B3LYP/6-31G(d,p) level of theory. The molecular geometry of the compound was fully optimized, and frontier molecular orbital analyses were carried out to evaluate its electronic behavior. The calculated HOMO and LUMO energy values were found to be −5.607 eV and −1.855 eV, respectively, while the HOMO–LUMO energy gap was determined as 3.752 eV, indicating moderate chemical reactivity and considerable molecular stability. Several important quantum chemical parameters, including ionization potential (I), electron affinity (EA), electronegativity (χ), global hardness (η), softness (σ), chemical potential (μ), and electrophilicity index (ω), were also calculated in order to better understand the electronic characteristics of the molecule. In addition, the theoretical vibrational frequencies were compared with the available experimental FT-IR data, and a good agreement between experimental and calculated results was observed. The obtained findings demonstrate that Hfmtsc possesses a stable electronic structure together with favorable charge-transfer and coordination properties, suggesting its potential applicability in coordination chemistry and biologically active molecular systems.

Keywords: Thiosemicarbazone, Furan, HOMO-LUMO, Quantum Parameters

1. INTRODUCTION

Thiosemicarbazones can be obtained through the Schiff base condensation reaction between carbonyl compounds and thiosemicarbazides (Ucar & Ozturk, 2024; Suganthy et al., 2014). The presence of the thioamide group in their structure enables them to exist in thione and thiol tautomeric forms (Ucar et al., 2025; Rostán et al., 2022). This tautomeric behaviour strongly influences the coordination properties and binding characteristics of thiosemicarbazones (Lobana et al., 2004). The presence of multiple donor atoms allows thiosemicarbazones to coordinate to metal ions as mono-, bis-, and polydentate ligands (Naskar et al., 2009; Balakrishnan et al., 2022; Tavares et al., 2017). These properties make thiosemicarbazones a highly versatile class of ligands in coordination chemistry.

The molecular geometries of thiosemicarbazone compounds are governed by the combined effects of intra- and intermolecular interactions (Lanero et al., 2026). One of the principal factors affecting their organization is the planar nature of the thioamide moiety (Castiñeiras et al., 2021). Another important feature is the lone electron pairs located on the nitrogen atoms within the main skeleton (Hameed et al., 2015). Delocalization of these electron pairs toward the C=S bond commonly occurs. Through hydrogen-bond formation, thiosemicarbazones adopt their thermodynamically stable geometries (Zhang et al., 2006).

Density Functional Theory (DFT) is a predominant theoretical approach for investigating the chemical properties of thiosemicarbazone compounds (Zülfikaroğlu, 2020). This method is widely recognized in computational chemistry as one of the most commonly employed approaches consulted by researchers prior to initiating experimental studies (Palafox, 2019). The DFT method provides valuable insights into the ground-state electronic structure and numerous physicochemical parameters of both organic and inorganic compounds (Chaudhary et al., 2025).

In this context, the calculations of the furan-2-carbaldehyde-N-methyl thiosemicarbazone (Hfmtsc) compound (Figure 1) were carried out within the DFT framework using the B3LYP functional and the 6-31G(d,p) basis set. For these calculations, the Gaussian 16W and GaussView 6.0.16 software packages were employed.

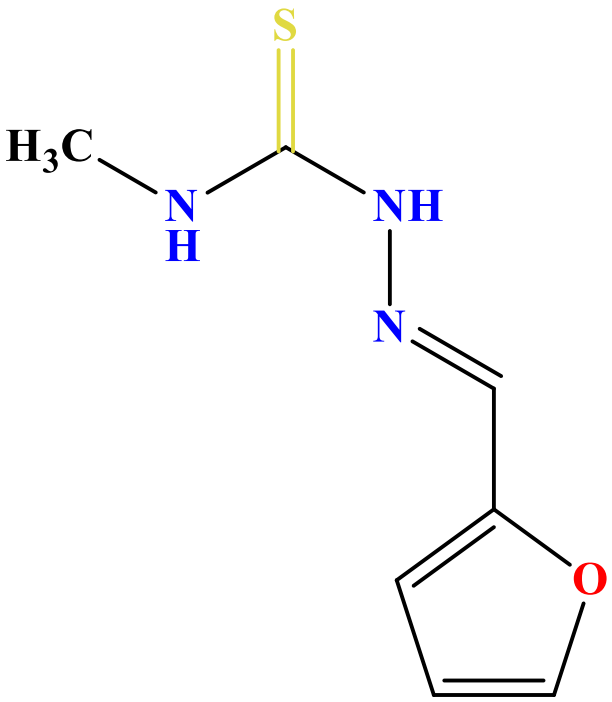


Figure 1. The molecular structure of furan-2-carbaldehyde-N-methyl thiosemicarbazone (Hfmtsc).

2. METHOD

The crystal structure of furan-2-carbaldehyde-N-methyl thiosemicarbazone has previously been reported in the literature (Ozturk, 2023). In the current study, the CIF file obtained from that report was employed as the initial structural model for the computational investigations. Density Functional Theory (DFT) calculations were performed using the B3LYP hybrid functional in combination with the 6-31G(d,p) basis set through the Gaussian 16W program, whereas molecular visualization and structural analyses were conducted with GaussView 6.0.16 software. In addition, the optimized geometry, vibrational IR frequencies, and various quantum chemical descriptors of the compound were evaluated. The HOMO and LUMO energies calculated from the optimized structure were further used to derive several quantum chemical parameters according to the equations given below (Marni et al., 2024; Alkaya Yıldız & Erkan, 2024).

$$I = -E_{HOMO}$$

$$EA = -E_{LUMO}$$

$$\Delta E = E_{HOMO} - E_{LUMO}$$

$$\chi = \frac{I + EA}{2}$$

$$\chi = -\mu$$

$$\eta = \frac{I - EA}{2}$$

$$\sigma = \frac{1}{\eta}$$

$$\omega = \frac{\chi^2}{2\eta}$$

3. RESULTS

The geometric optimization and electronic properties of furan-2-carbaldehyde-N-methyl thiosemicarbazone were investigated within the framework of Density Functional Theory (DFT) using the B3LYP functional together with the 6-31G(d,p) basis set (Figure 2) (Ayers & Parr, 2000). The quantum chemical parameters presented in the following equations were calculated using the frontier molecular orbital energy values obtained from the optimized geometry. These quantum parameters include ionization potential (I), electron affinity (EA), HOMO–LUMO energy gap (ΔE), electronegativity (χ), dipole moment (μ), global hardness (η), softness (σ), and electrophilicity index (ω). The equations used for these calculations are provided in the Materials and Methods section.

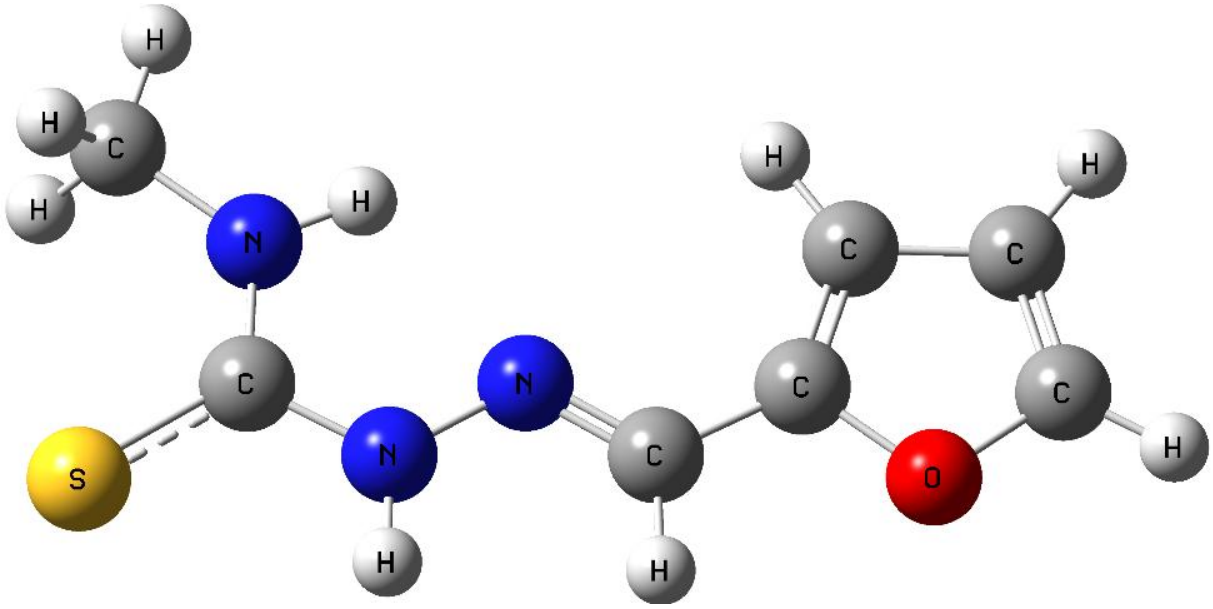


Figure 2. The geometric optimized structure of the furan-2-carbaldehyde-N-methyl thiosemicarbazone (Hfmtsc).

The quantum chemical parameters calculated for the Hfmtsc compound provide significant information regarding its electronic stability, reactivity, and charge-transfer characteristics. The calculated HOMO energy was found to be −5.607 eV, indicating a considerably negative value. This result suggests that the molecule possesses good electronic stability and a relatively low tendency to donate electrons. In other words, a certain amount of energy is required to remove an electron from the molecule, implying resistance toward oxidation processes. The LUMO energy value was calculated as −1.855 eV. This parameter represents the electron-accepting ability of the compound. The negative LUMO value indicates that the molecule has a suitable electronic structure for accepting electrons from the surrounding environment. From the perspective of coordination chemistry and biological interactions, this property suggests that the molecule may effectively participate in charge-transfer processes and interact with metal ions (Zülfikaroğlu, 2020).

The HOMO–LUMO energy gap (ΔE), which corresponds to the energy difference between the frontier molecular orbitals, was determined to be 3.752 eV. This value indicates that the molecule exhibits moderate chemical reactivity. In general, a smaller HOMO–LUMO energy gap is associated with higher chemical reactivity and lower stability, whereas a larger energy gap corresponds to greater molecular stability and lower reactivity. Therefore, the calculated ΔE value for Hfmtsc suggests that the compound possesses both sufficient stability and a moderate capacity for electron transition and charge transfer. These findings indicate that the

compound may display favourable electronic characteristics for biological activity and coordination behaviour (Akintemi et al., 2022).

The ionization potential (I) was calculated as 5.607 eV. This parameter represents the energy required to remove an electron from the molecule. The relatively high ionization potential indicates that the molecule strongly retains its electrons and does not easily undergo electron donation. The electron affinity (EA) value was found to be 1.855 eV, demonstrating that the molecule has a moderate tendency to accept electrons and exhibits electron-withdrawing character.

The global hardness (η) value was calculated as 1.876 eV. The hardness parameter reflects the resistance of the molecule against changes in its electronic distribution. The relatively high hardness value indicates that the electronic structure of Hfmtsc is stable and not easily polarized under external perturbations. In contrast, the softness (σ) value was determined to be 0.533, supporting the conclusion that the molecule possesses controlled and moderate reactivity (Chattaraj et al., 2002).

The electronegativity (χ) value was calculated as 3.731 eV, indicating a significant electron-attracting capability of the molecule. High electronegativity is considered an important feature supporting the coordination ability commonly observed in heteroatom-containing thiosemicarbazone structures. The chemical potential (μ), related to electronegativity, was calculated as −3.731 eV. The negative chemical potential value suggests that the system tends toward a stable electronic configuration (Akintemi et al., 2022).

The electrophilicity index (ω) was calculated as 3.710 eV. This parameter reflects the balance between the electron-accepting ability and stability of the molecule. The obtained value indicates that Hfmtsc possesses moderate electrophilic character and may effectively interact with nucleophilic centers. This property suggests that the molecule may play an active role in biological activity, coordination behaviour, and possible charge-transfer mechanisms (Chattaraj & Giri, 2009).

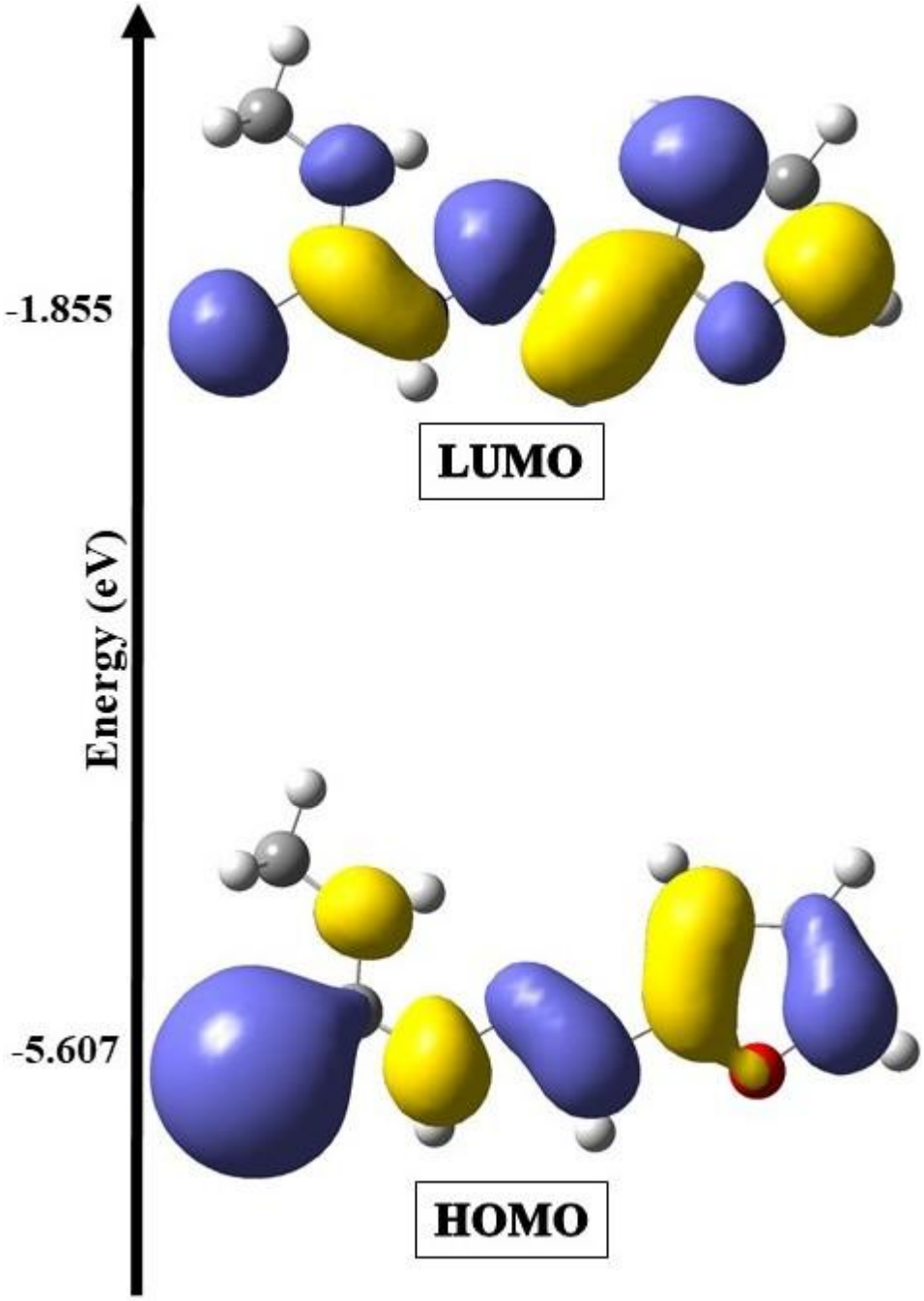


Figure 3. The frontiers molecular orbital of the furan-2-carbaldehyde-N-methyl thiosemicarbazone (Hfmtsc).

Table 2. The quantum parameters of the furan-2-carbaldehyde-N-methyl thiosemicarbazone (Hfmtsc).

Quantum Parameters (eV)	Hfmtsc
E_{HOMO}	-5.607
E_{LUMO}	-1.855
ΔE	3.752
I	5.607
EA	1.855
η	1.876
σ	0.533
χ	3.731
μ	-3.731
ω	3.710

The infrared spectral features of the compound had previously been reported in the related experimental study available in the literature (Ozturk, 2023). According to the experimental FT-IR data, the stretching vibration attributed to the amine N–H group was detected at 3334 cm^{-1}, whereas the azomethine N–H stretching mode appeared at 3138 cm^{-1} (Figure 4). In the theoretical calculations, these vibrational frequencies were predicted at 3290 cm^{-1} and 3159 cm^{-1}, respectively. The characteristic absorption band corresponding to the azomethine C=N bond was experimentally recorded at 1522 cm^{-1}, while the theoretical calculation yielded a value of 1564 cm^{-1} In addition, the C=S stretching vibration was experimentally identified as a medium-intensity band at 748 cm^{-1}, and the calculated frequency for the same vibration was determined to be 761 cm^{-1}.

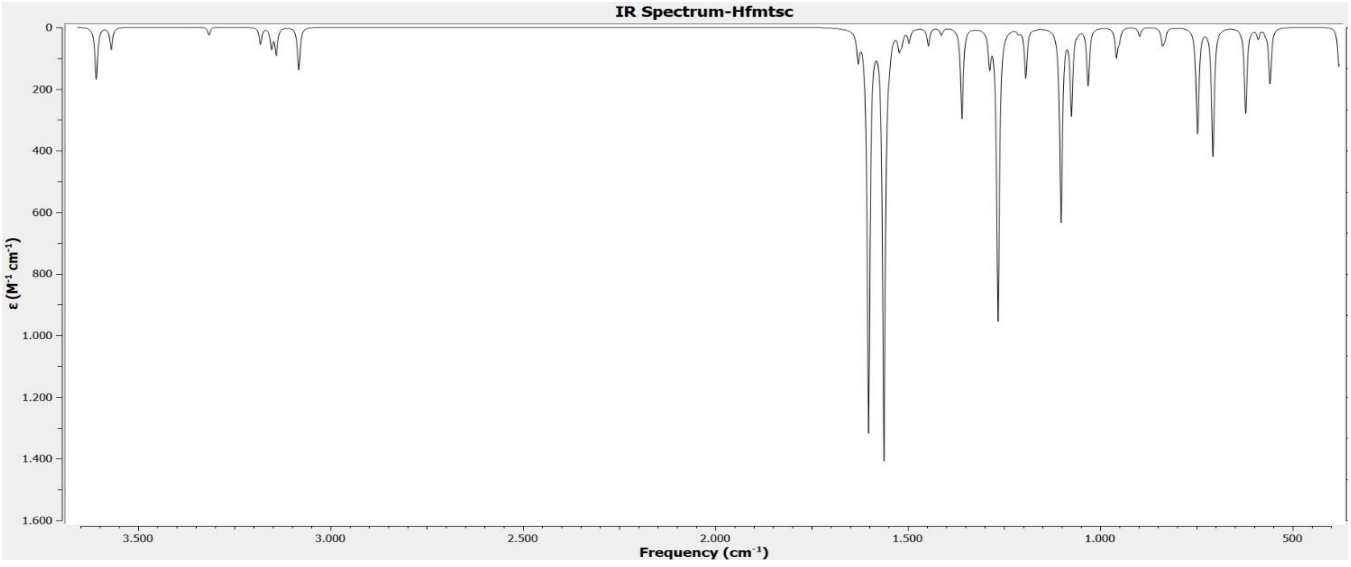


Figure 4. The infrared spectra of furan-2-carbaldehyde-N-methyl thiosemicarbazone (Hfmtsc).

4. CONCLUSION, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

In conclusion, the quantum chemical investigations performed on the Hfmtsc compound using the DFT approach provided valuable insight into its electronic structure, stability, and reactivity. The calculated HOMO and LUMO energy values revealed that the molecule possesses a stable electronic configuration together with a moderate charge-transfer capability. The HOMO–LUMO energy gap indicates that the compound exhibits a balanced character in terms of both chemical stability and controlled reactivity. Furthermore, the ionization potential, electron affinity, hardness, and electrophilicity parameters support the presence of an electronic structure suitable for electron-transfer processes. The obtained findings suggest that the Hfmtsc compound may have considerable potential in coordination chemistry, biological activity studies, and possible charge-transfer mechanisms. Moreover, the good agreement between the experimental data and theoretical calculations confirms the reliability and applicability of the employed computational method.

REFERENCES

Akintemi, E. O., Govender, K. K., & Singh, T. (2022). A DFT study of the chemical reactivity properties, spectroscopy and bioactivity scores of bioactive flavonols. Computational and Theoretical Chemistry, 1210, 113658. https://doi.org/10.1016/j.comptc.2022.113658

Alkaya Yıldız, C., & Erkan, S. (2024). Investigation of anticancer properties of 2-benzylidene-1-indanone and its derivatives by DFT and molecular docking. Turkish Computational and Theoretical Chemistry, 8, 101–109. https://doi.org/10.33435/tcandtc.1399916

Ayers, P. W., & Parr, R. G. (2000). Variational principles for describing chemical reactions: The Fukui function and chemical hardness revisited. Journal of the American Chemical Society, 122, 2010–2018. https://doi.org/10.1021/ja9924039

Balakrishnan, N., Haribabu, J., Eshaghi Malekshah, R., Swaminathan, S., Balachandran, C., Bhuvanesh, N., Aoki, S., & Karvembu, R. (2022). Effect of N-benzyl group in indole scaffold of thiosemicarbazones on the biological activity of their Pd(II) complexes: DFT, biomolecular interactions, in silico docking, ADME and cytotoxicity studies. Inorganica Chimica Acta, 534, 120805. https://doi.org/10.1016/j.ica.2022.120805

Castiñeiras, A., Fernández-Hermida, N., García-Santos, I., Gómez-Rodríguez, L., Gil, D. M., & Frontera, A. (2021). Supramolecular, spectroscopic and computational analysis of weak interactions in some thiosemicarbazones derived from 5-acetylbarbituric acid. Journal of Molecular Structure, 1245, 131031. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131031

Chattaraj, P. K., & Giri, S. (2009). Electrophilicity index within a conceptual DFT framework. Annual Reports on the Progress of Chemistry, Section C: Physical Chemistry, 105, 13. https://doi.org/10.1039/b802832j

Chattaraj, P. K., Pérez, P., Zevallos, J., & Toro-Labbé, A. (2002). Theoretical study of the trans-N2H2→cis-N2H2 and F2S2→FSSF reactions in gas and solution phases. Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, 580, 171–182. https://doi.org/10.1016/S0166-1280(01)00611-X

Chaudhary, N. A., Vaja, C. R., Agheda, K. J., Shah, K. N., Rana, V. A., & Prajapati, A. N. (2025). Insights into molecular interactions: Dielectric relaxation and DFT based studies on n-hexanol/N,N-dimethylformamide binary mixtures. Journal of Molecular Liquids, 418, 126675. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.126675

Hameed, A., Shafiq, Z., Yaqub, M., Hussain, M., Hussain, M. A., Afzal, M., Tahir, M. N., & Naseer, M. M. (2015). Me3N-promoted synthesis of 2,3,4,4a-tetrahydroxanthen-1-one: Preparation of

thiosemicarbazone derivatives, their solid state self-assembly and antimicrobial properties. New Journal of Chemistry, 39, 9351–9357. https://doi.org/10.1039/C5NJ01879J

Lanero, F., Sgarbossa, P., Carlotto, S., Albinati, A., Bertani, R., Mozzon, M., Natarajan, K., & Casella, G. (2026). Non-covalent interactions in thiosemicarbazone coordination chemistry: From crystal engineering to functional materials. Coordination Chemistry Reviews, 558, 217722. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2026.217722

Lobana, T. S., Rekha, & Butcher, R. J. (2004). Metal-thiosemicarbazone interactions. Synthesis of an iodo-bridged dinuclear [diiodobis(pyrrole-2-carbaldehydethiosemicarbazone)dicopper(I)] complex. Transition Metal Chemistry, 29, 291–295. https://doi.org/10.1023/B:TMCH.0000020371.72284.4d

Marni, L. G., Emriadi, E., Darajat, S., Imelda, I., & Khoiriah, K. (2024). Theoretical study of khellin derivatives as corrosion inhibitors based on density functional theory (DFT). Turkish Computational and Theoretical Chemistry, 8, 36–47. https://doi.org/10.33435/tcandtc.1382029

Naskar, S., Naskar, S., Drew, M. G. B., Gorelsky, S. I., Lassalle-Kaiser, B., Aukauloo, A., Mishra, D., & Chattopadhyay, S. K. (2009). Structural and spectroscopic properties of Ru(II) complexes of 4-(aryl)thiosemicarbazones of thiophen-2-carbaldehyde. Polyhedron, 28, 4101–4109. https://doi.org/10.1016/j.poly.2009.09.030

Ozturk, I. I. (2023). Synthesis, characterization and Hirshfeld surface analysis of some thiosemicarbazones containing a five-membered ring. Journal of Structural Chemistry, 64, 743–756. https://doi.org/10.1134/S0022476623050013

Palafox, M. A. (2019). DFT computations on vibrational spectra: Scaling procedures to improve the wavenumbers. Physical Sciences Reviews, 3, 1–30. https://doi.org/10.1515/psr-2017-0184

Rostán, S., Alvarez, N., Veiga, N., Otero, L., & Mahler, G. (2022). New preparation protocols for coumarin-thiosemicarbazone hybrids: Solid state characterization, and in silico/NMR studies of the Z/E isomerization equilibria in solution. Journal of Molecular Structure, 1251, 131980. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131980

Suganthy, P. K., Prabhu, R. N., & Sridevi, V. S. (2014). Palladium(II) thiosemicarbazone complex: Synthesis, structure and application to carbon–oxygen cross-coupling reaction. Inorganic Chemistry Communications, 44, 67–69. https://doi.org/10.1016/j.inoche.2014.03.002

Tavares, T. T., Azevedo, G. C., Garcia, A., Carpanez, A. G., Lewer, P. M., Paschoal, D., Müller, B. L., Dos Santos, H. F., Matos, R. C., Silva, H., Grazul, R. M., & Fontes, A. P. S. (2017). Gold(I) complexes with

aryl-thiosemicarbazones: Molecular modeling, synthesis, cytotoxicity and TrxR inhibition. Polyhedron, 132, 95–104. https://doi.org/10.1016/j.poly.2017.05.004

Ucar, O., & Ozturk, I. I. (2024). Synthesis, characterization, and thermal decomposition of antimony(III) halide complexes of benzaldehyde thiosemicarbazones. Russian Journal of General Chemistry, 94, 2061–2067. https://doi.org/10.1134/S107036322408019X

Ucar, O., Ozturk, I. I., & Gurgan, M. (2025). Structural and antimicrobial studies of antimony(III) halide complexes with thiophene-based thiosemicarbazones. Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly, 156, 1129–1141. https://doi.org/10.1007/s00706-025-03385-7

Zhang, T., Liu, G., Liu, L., Jia, D., & Zhang, L. (2006). Solid-state proton transfer studies on phototautomerization of 1-phenyl-3-methyl-4-furoyl-5-pyrazolone 4-methyl thiosemicarbazone. Chemical Physics Letters, 427, 443–448. https://doi.org/10.1016/j.cplett.2006.06.115

Zülfikaroğlu, A. (2020). DFT computational studies on some cobaloximes. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13, 1299–1316. https://doi.org/10.18185/erzifbed.828235

TEKLİ VE İKİLİ TUZ FORMÜLASYONLARI ALTINDA KENEVİR (*CANNABIS SATIVA* L.) TOHUMLARININ ÇİMLENME KİNETİĞİ: KEŞİFSEL BİR PİLOT ÇALIŞMA

Öğr. Gör. Dr., Yetkin SENEMOĞLU[1]

[1]Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Zonguldak, Türkiye, Kimya Teknolojisi, yetkinsenemoglu@beun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8379-2933

Özet

Bu keşifsel pilot çalışmada NaCl, KCl, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ve $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ile hazırlanan 17 tekli ve ikili tuz formülasyonunun kenevir (*Cannabis sativa* L.) tohumlarının çimlenmesine etkisi saf su kontrolüyle karşılaştırılmıştır. Her uygulamada 25'er tohum içeren üç Petri kabı kullanılmış, tohumlar 25 °C'de inkübe edilmiş ve çimlenme beşinci güne kadar günlük olarak değerlendirilmiştir. Çimlenme süreleri Kaplan-Meier yöntemi, log-rank testi ve kaba göre kümelenmiş standart hatalarla kurulan Cox regresyonu ile incelenmiştir. Beşinci gün kümülatif çimlenmesi ise aşırı dağılımı hesaba katan yarı-binom modelle analiz edilmiştir. Çözeltilerin ozmotik potansiyeli ve iyonik şiddeti hesaplanmış ve eşit nominal molaritedeki çözeltilerin kimyasal olarak eşdeğer olmadığı görülmüştür. Örneğin 25 mM'de ozmotik potansiyel $MgSO_4$ için −0,079 MPa iken $CaCl_2$ için −0,165 MPa'dır. Çimlenme süresi dağılımları uygulamalar arasında farklılaşmamış ($\chi^2 = 26{,}38$; $sd = 17$; $p = 0{,}068$) ve tehlike oranlarının tamamının %95 güven aralığı 1 değerini içermiştir. Beşinci gün çimlenmesi NaCl + $CaCl_2$ uygulamasında %29,3 ile en düşük, 25 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ uygulamasında %57,3 ile en yüksek, kontrolde ise %41,3 olmuştur. Buna karşın aşırı dağılım düzeltmesi sonrasında genel uygulama etkisi anlamlı bulunmamıştır ($F = 1{,}28$; $p = 0{,}261$). Kontroldeki düşük ve değişken çimlenme ile uygulama başına üç kap kullanılması, %80 güçte saptanabilir en küçük farkı yaklaşık 28 yüzde puanına çıkarmıştır. Seçilen uygulamalarda yapılan FTIR-ATR ve SEM incelemeleri tekrarsız ve nitel olduğu için uygulamalar arasında karşılaştırma yapmaya elvermemiştir. Sonuçlar, tuz formülasyonunun etkisiz olduğunu göstermekten çok doğrulayıcı bir çalışmanın planlanmasına temel olacak ön kestirimler sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Cannabis sativa* L., tohum çimlenmesi, tuzluluk, olay-zamanı analizi, ozmotik potansiyel

GERMINATION KINETICS OF HEMP (*CANNABIS SATIVA* L.) SEEDS UNDER SINGLE AND BINARY SALT FORMULATIONS: AN EXPLORATORY PILOT STUDY

Abstract

This exploratory pilot study compared the germination of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds in 17 single and binary salt formulations made from NaCl, KCl, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ with germination in distilled water. Each treatment had three Petri dishes of 25 seeds kept at 25 °C, and germination was scored daily up to day 5. Germination times were analysed with Kaplan-Meier estimation, the log-rank test and Cox regression with dish-clustered standard errors, while day-5 cumulative germination was analysed with a quasi-binomial model that allows for overdispersion. The calculated osmotic potential and ionic strength of the solutions showed that nominally equimolar treatments were not chemically equivalent; at 25 mM, for instance, osmotic potential was −0.079 MPa for $MgSO_4$ and −0.165 MPa for $CaCl_2$. Germination-time distributions did not differ among treatments ($\chi^2 = 26.38$, $df = 17$, $p = 0.068$), and every 95% confidence interval for the hazard ratios contained 1. Day-5 germination was lowest under NaCl + $CaCl_2$ at 29.3%, highest under 25 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ at 57.3% and 41.3% in the control, but the overall treatment effect was not significant once overdispersion was taken into account ($F = 1.28$, $p = 0.261$). Low and variable control germination together with three dishes per treatment raised the minimum detectable difference to about 28 percentage points at 80% power. FTIR-ATR spectra and SEM micrographs of selected treatments were unreplicated and qualitative, so they could not support comparisons between treatments. The results are best used as preliminary estimates for planning a confirmatory study rather than as evidence that salt formulation has no effect.

Keywords: *Cannabis sativa* L., seed germination, salinity, time-to-event analysis, osmotic potential

1. INTRODUCTION

Hemp (*Cannabis sativa* L.) is grown for fibre, seed and oil. It has found a wide range of new uses, and its return to European and Chinese agriculture has been accompanied by advances in cultivation practice and breeding (Amaducci et al., 2015; Salentijn et al., 2015; Small & Marcus, 2002). As the crop is increasingly considered for marginal land, the way its seeds respond to soil salinity during establishment has become a practical question. Salt-affected soils occur on a global scale (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2021), and a crop that cannot establish a uniform stand under saline conditions loses much of its value on such land before growth and yield come into play. This study therefore concentrates on the first step of establishment, germination, and on how its response to salinity depends on the kind of salt present.

1.1. Salinity Stress During Germination

Germination and early seedling growth are the stages most exposed to salinity (Munns & Tester, 2008), partly because seeds take up water from the surface layer of the soil, where salts concentrate as water evaporates. Salinity acts on germinating seeds in two broad ways. An osmotic component, in which the lower external water potential restricts water uptake, is usually distinguished from an ionic component, in which accumulated ions cause toxicity and nutritional imbalance (Munns, 2002; Munns & Tester, 2008), and plants use a range of mechanisms to tolerate both (van Zelm et al., 2020). The two components are hard to separate even for a single salt, since Na^+ and Cl^- in soil solution can each have their own detrimental effect (Tavakkoli et al., 2010), and many aspects of salt perception and response are still unresolved (Isayenkov & Maathuis, 2019).

Most laboratory studies impose salinity with NaCl alone, yet field salinity is rarely caused by a single salt. Salt-affected soils contain mixtures of sodium, potassium, magnesium and calcium salts with chloride and sulphate anions, and the proportions of these ions vary from site to site (Rengasamy, 2010). Calcium in particular is involved in salt-stress signalling and in the regulation of ion homeostasis (Manishankar et al., 2018; Zhu, 2016), which raises the possibility that the effect of a sodium salt on germination depends on the other ions present. Experiments that compare several salts, alone and in mixtures, are therefore closer to field conditions than experiments with NaCl alone, but they are also more difficult to interpret.

1.2. Salt Responses of Hemp Seeds

Work on hemp germination under salinity has concentrated on sodium salts. When NaCl, Na_2SO_4, Na_2CO_3 and $NaHCO_3$ were compared in two cultivars over a range of 0 to 300 mM, germination indices fell as concentration increased, the response depended on salt type and cultivar, and alkaline sodium salts were more damaging than neutral ones (Hu et al., 2018). In four fibre cultivars tested with 0 to 200 mM NaCl, the tolerant

cultivars maintained germination up to 100 mM, whereas the most sensitive one declined from 50 mM (Dixit, 2022). NaCl has also been reported to reduce germination and emergence, an effect that seed pretreatment with salicylic acid or methyl jasmonate partly alleviated (Gul et al., 2024; Kasprowiak et al., 2025). Beyond germination, NaCl applied at −0.2 and −0.4 MPa reduced hemp growth (Cafaro et al., 2025).

Two gaps follow from this body of work. First, much less is known about how hemp seeds respond to potassium, magnesium and calcium salts, or to mixtures of salts, than about their response to NaCl. Second, the few comparisons between salts have usually been made at equal molar concentrations. Treatments of equal nominal molarity are not chemically equivalent, because salts differ in the number of ions they release, in their osmotic coefficients and in ionic strength. Comparing salts at equal molarity therefore mixes the effect of salt identity with that of solution chemistry, and differences in germination cannot be assigned to particular ions unless the chemistry of the solutions is known.

1.3. Theoretical Framework

Germination proceeds through water uptake, metabolic reactivation and radicle protrusion (Bewley, 1997; Bewley et al., 2013), and its completion also depends on the dormancy status of the seed (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006). Water uptake is the step most directly affected by salinity. According to the hydrotime concept, the rate at which a seed fraction germinates is proportional to the amount by which the water potential of the medium exceeds a base water potential characteristic of that fraction; lowering the external water potential therefore delays germination, and seeds whose base water potential lies above the external value do not germinate at all (Bradford, 1990). Within this framework, the osmotic potential of a salt solution is the first quantity to consider when salts are compared.

The osmotic potential of a solution depends on the number of dissolved particles and on how far the solution departs from ideal behaviour, which is expressed by the osmotic coefficient (Robinson & Stokes, 2002). Salts that dissociate into more ions, such as $CaCl_2$, lower the osmotic potential more than NaCl at the same molarity, whereas salts with strong ion association, such as $MgSO_4$, lower it less. Ionic strength weights each ion by the square of its charge, so divalent ions such as Mg^{2+}, Ca^{2+} and SO_4^{2-} raise it far more than monovalent ions. Two solutions of equal molarity can thus differ in both osmotic potential and ionic strength, and neither quantity is controlled in an equimolar design. Ion-specific effects can only be inferred after osmotic differences have been removed, for example by comparing each salt with an iso-osmotic solution of polyethylene glycol (PEG) of known osmotic potential (Michel & Kaufmann, 1973), following the distinction between salt and water stress (Munns, 2002).

The analysis of germination data rests on a similar distinction between what is observed and what is inferred. Germination tests record the day on which each seed germinates, and seeds that have not germinated by the end of the test are right-censored. A final germination percentage discards the timing information, whereas time-to-event methods such as Kaplan-Meier estimation and Cox regression use both the timing and the censoring (McNair et al., 2012; Onofri et al., 2022; Romano & Stevanato, 2020). Indices such as mean germination time (MGT) are calculated only from the seeds that germinate, so when germination is incomplete they combine the germinated fraction with the speed of germination (Ritz et al., 2013). When the viability of the non-germinated seeds is unknown, a slower rate cannot be fully separated from a lower final germinability.

1.4. Aim of the Study

This study had three aims. The first was to compare germination timing and day-5 cumulative germination of hemp seeds in 17 single and binary formulations of NaCl, KCl, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ with a distilled-water control. The second was to calculate the osmotic potential and ionic strength of each solution and so show how far nominally equivalent treatments actually differ. The third was to quantify the sensitivity of the design, which provides variance and effect-size estimates for a confirmatory study. Germinated seeds from four treatments were also examined qualitatively by FTIR-ATR spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM) to judge whether these techniques could add information in a larger experiment.

2. METHOD

2.1. Seed Material and Experimental Design

Hemp seeds were obtained from a local producer in Aksaklar, Gediz district, Kütahya province, Türkiye. Seeds from a single harvest lot that were uniform and free of visible damage were dried to a moisture content of 8% to 10% and stored at 4 °C. The cultivar, genotype and initial viability of the lot were not determined independently.

Seventeen salt treatments were compared with a distilled-water control. NaCl, KCl and $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ were used at 25, 50 and 100 mM, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ at 25 and 50 mM, and six binary combinations were each prepared at 25 + 25 mM: NaCl + KCl, NaCl + $CaCl_2$, NaCl + $MgSO_4$, KCl + $CaCl_2$, KCl + $MgSO_4$ and $MgSO_4$ + $CaCl_2$. Each of the 18 treatments consisted of three Petri dishes of 25 seeds, giving 75 seeds per treatment and 1,350 seeds in total. The dish was the experimental unit, so $n = 3$ for each treatment.

2.2. Surface Sterilization and Germination Assay

Seeds were surface-sterilized in 5% (v/v) H_2O_2 for 3 min, rinsed three times with sterile distilled water, soaked for 2 h in their assigned solution and then kept in that solution for the rest of the test. Control seeds received

distilled water throughout. The seeds were placed on Whatman No. 1 filter paper moistened with 5 mL of solution in 100 mm Petri dishes and incubated at 25 °C in continuous darkness. Dishes were arranged at random and repositioned after each daily assessment. A seed was scored as germinated once the radicle had emerged by at least 2 mm. The seeds were incubated for seven days, but daily counts were kept only up to day 5, so day 5 was used as the analysis horizon and day-5 cumulative germination as the primary endpoint.

2.3. Calculation of Solution Properties

The osmotic potential of each solution was calculated from the van 't Hoff relation:

$$\Psi_s = -\varphi \nu c R T \tag{1}$$

where φ is the practical osmotic coefficient of the salt at 25 °C (Robinson & Stokes, 2002), ν the number of ions released per formula unit, c the molar concentration, R the gas constant and $T = 298.15$ K. For the binary treatments the osmotic potentials of the two components were assumed to be additive:

$$\Psi_{s,mix} \approx \Psi_{s,1} + \Psi_{s,2} \tag{2}$$

which ignores interactions between the two salts. Ionic strength was calculated as:

$$I = \frac{1}{2}\sum_i c_i z_i^2 \tag{3}$$

where c_i and z_i are the molar concentration and charge number of ion i, on the assumption of complete dissociation. Ion pairing was therefore neglected. All of these values were calculated rather than measured, and the electrical conductivity and pH of the solutions were not recorded.

2.4. FTIR-ATR and SEM Examination

Germinated seeds from the control, 100 mM NaCl, 50 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and NaCl + $CaCl_2$ treatments were sampled on days 3 and 5 and air-dried without rinsing. FTIR-ATR spectra were recorded on a PerkinElmer Frontier spectrometer at a resolution of 4 cm^{-1}, with three technical scans of one representative sample per treatment and day, followed by baseline correction and normalization. Independent biological replicates were not available, and because the samples were not rinsed, residual surface salts may have contributed to the spectra. For presentation, the transmittance spectra T were converted to absorbance and normalized between their minimum and maximum over 3800 to 800 cm^{-1}:

$$A = -\log_{10} T \tag{4}$$

$$A_n = \frac{A - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} \tag{5}$$

where A_{min} and A_{max} are the lowest and highest absorbance of each spectrum within that range.

Seed-coat fragments from the same germinated seeds were sputter-coated with 12.5 to 15 nm of gold and imaged with an FEI Quanta 450 FEG field-emission scanning electron microscope under high vacuum. The

backscattered electron detector (BSED) was used at an accelerating voltage of 10.0 kV, a spot size of 5.0, working distances of 10.0 to 10.9 mm and a magnification of 50×. One field was imaged per treatment, and no quantitative morphometry was carried out.

2.5. Statistical Analysis

The proportion of seeds that had not germinated by day t was estimated for each treatment with the Kaplan-Meier estimator:

$$\widehat{S}(t) = \prod_{j:t_j \le t}\left(1 - \frac{d_j}{n_j}\right) \tag{6}$$

where d_j is the number of seeds germinating on day t_j and n_j the number still at risk at the start of that day, as listed in Table 2. The distributions were compared with a multi-group log-rank test. This test treats seeds as independent and ignores clustering within dishes, so its p value tends, if anything, to overstate the evidence. Treatment effects relative to the control were estimated with Cox proportional-hazards regression (Therneau & Grambsch, 2000):

$$h(t \mid x_k) = h_0(t)\exp(\beta_k x_k), \quad \mathrm{HR}_k = \exp(\beta_k) \tag{7}$$

where $h_0(t)$ is the baseline hazard of the control and x_k indicates treatment k. The hazard ratio (HR) therefore expresses the relative instantaneous rate of germination. The Efron method was used for tied times, and the standard errors were made cluster-robust by dish (Cameron & Miller, 2015). The proportional-hazards assumption was checked with scaled Schoenfeld residuals (Grambsch & Therneau, 1994), and the 17 treatment-specific tests were adjusted with the sequential Holm procedure (Holm, 1979).

Day-3 and day-5 cumulative germination were analysed with binomial generalized linear models with a logit link. Overdispersion was assessed with the Pearson dispersion statistic:

$$\hat{c} = \frac{X^2}{N-p} \tag{8}$$

where X^2 is the Pearson chi-square statistic, $N = 54$ the number of dishes and $p = 18$ the number of model parameters. When $\hat{c}$ exceeded 1, the overall treatment effect was tested with the quasi-binomial statistic:

$$F = \frac{D_{\mathrm{T}}}{k\hat{c}} \tag{9}$$

where D_{T} is the binomial likelihood-ratio statistic for the treatment term and $k = 17$ its degrees of freedom. The 17 treatment-control contrasts were adjusted with the Holm procedure. Mean germination time (Ellis & Roberts, 1981) and the germination speed index (Maguire, 1962) were calculated as:

$$\mathrm{MGT} = \frac{\sum_i n_i t_i}{\sum_i n_i} \tag{10}$$

$$\mathrm{GSI} = \sum_i \frac{n_i}{t_i} \tag{11}$$

where n_i is the number of seeds germinating on day t_i. Dish-level daily counts were not available, so MGT and GSI were calculated from the daily counts pooled over the three dishes of each treatment, with GSI expressed per dish. Both indices are reported descriptively and without dispersion estimates.

Relationships between day-5 germination and the calculated solution properties were examined across the 17 salt treatments with Pearson and Spearman correlations, and groups of treatments were compared with Welch's t test. The sensitivity of the design was expressed as the minimum detectable difference (MDD) between a treatment and the control:

$$\mathrm{MDD} = \left(t_{1-\alpha/2,\nu} + t_{1-\beta,\nu}\right) s \sqrt{\frac{2}{n}} \tag{12}$$

where s is the pooled between-dish standard deviation of day-5 germination, n the number of dishes per treatment, $\nu = 36$ the residual degrees of freedom and $1 - \beta = 0.80$ the target power. The MDD was calculated at $\alpha = 0.05$ and at $\alpha = 0.05/17$, which corresponds to the most stringent step of the Holm procedure. The number of dishes needed for a confirmatory study was found by solving Equation 12 iteratively with $18(n-1)$ degrees of freedom. The analyses were run in Python 3.12 with lifelines 0.30.3 (Davidson-Pilon, 2019) and statsmodels 0.14.6 (Seabold & Perktold, 2010). Statistical significance was set at $\alpha = 0.05$.

3. FINDINGS

3.1. Calculated Solution Chemistry

Table 1 shows that nominally equimolar treatments differed considerably in calculated osmotic potential and ionic strength. At 25 mM, osmotic potential ranged from −0.079 MPa for $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ to −0.165 MPa for $CaCl_2 \cdot 2H_2O$. This twofold difference arises because $MgSO_4$ is a 2:2 electrolyte with a low osmotic coefficient, whereas $CaCl_2$ releases three ions per formula unit. Ionic strength diverged even more: 25 mM $MgSO_4$ had the same ionic strength as 100 mM NaCl, 100 mM, although its osmotic potential was almost six times less negative. The six binary treatments, all prepared at 25 + 25 mM, spanned osmotic potentials from −0.195 to −0.281 MPa and ionic strengths from 50 to 175 mM, so they were equivalent neither to one another nor to the 50 mM single-salt treatments. Osmotic potential did not fall below −0.460 MPa in any treatment, which corresponds to mild to moderate osmotic stress.

Table 1. Calculated ionic strength and osmotic potential of the treatment solutions at 25 °C

Treatment	Nominal concentration (mM)	Ionic strength, I (mM)	Osmotic potential, Ψ_s (MPa)
Control (distilled water)	0	0	0.000
NaCl	25	25	−0.116
NaCl	50	50	−0.231
NaCl	100	100	−0.460
KCl	25	25	−0.116
KCl	50	50	−0.231
KCl	100	100	−0.460
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	25	100	−0.079
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	50	200	−0.146
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	100	400	−0.263
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	25	75	−0.165
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	50	150	−0.326
NaCl + KCl	25 + 25	50	−0.232
NaCl + $CaCl_2$	25 + 25	100	−0.281
NaCl + $MgSO_4$	25 + 25	125	−0.195
KCl + $CaCl_2$	25 + 25	100	−0.281
KCl + $MgSO_4$	25 + 25	125	−0.195
$MgSO_4$ + $CaCl_2$	25 + 25	175	−0.244

Note. Values are calculated, not measured. Osmotic potential was obtained from Equations 1 and 2, with additivity assumed for the binary treatments, and ionic strength from Equation 3 on the assumption of complete dissociation.

3.2. Germination Kinetics

Germination began on day 1 in every treatment, as the numbers at risk in Table 2 show. In the control, all 31 germinated seeds did so on days 1 and 2, and no further seed germinated up to day 5. The Kaplan-Meier curves in Figure 1 levelled off with a large non-germinated fraction in every treatment, and at day 5 at least 43% of the seeds had not germinated in any of them. The log-rank test gave $\chi^2 = 26.38$ with $df = 17$ and $p = 0.068$, so the germination-time distributions did not differ significantly among treatments.

Table 2. Numbers of seeds at risk at the start of each day and non-germinated seeds censored at day 5

Treatment	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Censored at day 5
Control	75	53	44	44	44	44
NaCl 25 mM	75	55	45	44	40	40
NaCl 50 mM	75	59	43	39	39	39
NaCl 100 mM	75	60	47	46	42	42
KCl 25 mM	75	57	44	43	37	37
KCl 50 mM	75	60	53	51	43	43
KCl 100 mM	75	55	46	44	41	41
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 25 mM	75	60	44	41	36	32
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 50 mM	75	56	49	43	40	35
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 100 mM	75	60	48	45	35	33
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 25 mM	75	58	48	47	39	38
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 50 mM	75	61	47	45	37	37
NaCl + KCl	75	55	44	44	38	33
NaCl + $CaCl_2$	75	64	58	55	53	53
NaCl + $MgSO_4$	75	59	55	50	45	38
KCl + $CaCl_2$	75	62	59	55	51	46
KCl + $MgSO_4$	75	58	53	52	52	52
$MgSO_4$ + $CaCl_2$	75	59	54	53	45	41

Note. Each treatment comprised $N = 75$ seeds in three dishes of 25. Binary treatments were prepared at 25 + 25 mM. The number of seeds germinating on a given day is the difference between two consecutive columns.

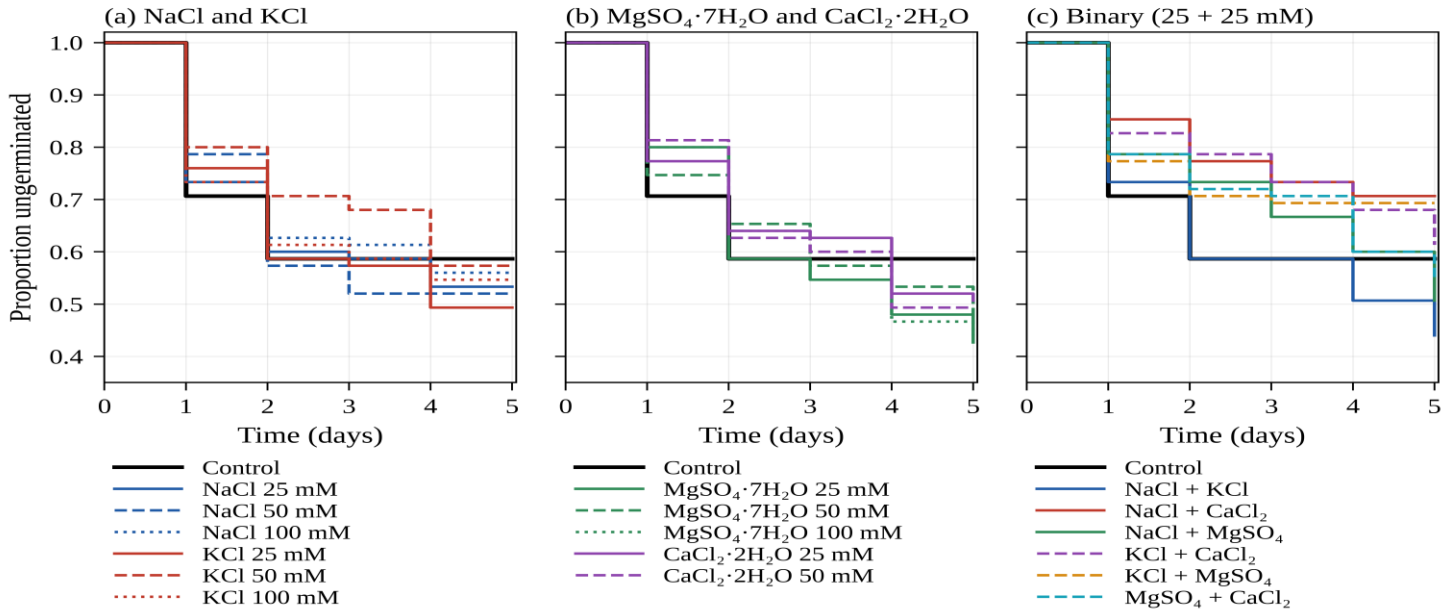


Figure 1. Kaplan-Meier estimates of the proportion of non-germinated hemp seeds under (a) NaCl and KCl, (b) $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ and (c) the binary salt treatments

Note. The control, drawn as a black line, is repeated in each panel for reference. Line colour identifies the salt and line style the concentration: solid for 25 mM, dashed for 50 mM and dotted for 100 mM. Each curve is based on $N = 75$ seeds.

Cox regression did not identify any treatment that differed significantly from the control either, as Table 3 shows. The hazard ratios ranged from HR $= 0.635$ for NaCl + $CaCl_2$, with a 95% confidence interval of 0.380 to 1.062 and $p = 0.083$, to HR $= 1.368$ for 25 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, with an interval of 0.840 to 2.226 and $p = 0.208$. Every confidence interval included 1. Before adjustment, the proportional-hazards assumption was rejected for 25 mM NaCl with $p = 0.0005$ and for 50 mM NaCl with $p = 0.018$. After Holm adjustment across the 17 tests only the violation for 25 mM NaCl remained, with $p_{adj} = 0.009$. It reflects a difference in timing: germination in 25 mM NaCl continued on days 3 and 4, whereas germination in the control had stopped after day 2. The hazard ratio for this treatment is therefore an average over an effect that changed with time and has to be read with caution.

Table 3. Cox proportional-hazards estimates of treatment effects on the hazard of germination relative to the control

Treatment	HR	95% CI	p
Control	1.000	Reference	Reference
NaCl 25 mM	1.050	0.645-1.709	0.846
NaCl 50 mM	1.016	0.627-1.649	0.932
NaCl 100 mM	1.022	0.499-2.094	0.952
KCl 25 mM	1.217	0.702-2.110	0.483
KCl 50 mM	0.896	0.536-1.500	0.679
KCl 100 mM	1.088	0.581-2.036	0.793
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 25 mM	1.368	0.840-2.226	0.208
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 50 mM	1.274	0.781-2.079	0.333
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 100 mM	1.315	0.832-2.078	0.241
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 25 mM	1.157	0.729-1.835	0.537
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 50 mM	1.183	0.717-1.951	0.511
NaCl + KCl	1.353	0.825-2.216	0.231
NaCl + $CaCl_2$	0.635	0.380-1.062	0.083
NaCl + $MgSO_4$	1.079	0.657-1.770	0.763
KCl + $CaCl_2$	0.846	0.511-1.399	0.514
KCl + $MgSO_4$	0.693	0.419-1.146	0.153
$MgSO_4$ + $CaCl_2$	1.137	0.689-1.877	0.613

Note. HR is the hazard ratio and CI the confidence interval. Standard errors are cluster-robust by dish. Binary treatments were prepared at 25 + 25 mM. None of the estimates is significant at $\alpha = 0.05$.

3.3. Cumulative Germination

Day-3 germination ranged from 26.67% to 48.00%, and the binomial model found no overall treatment effect, with $\chi^2 = 22.50$, $df = 17$ and $p = 0.166$. At day 5 the binomial model did suggest heterogeneity among

treatments, with $\chi^2 = 32.38$, $df = 17$ and $p = 0.013$, but the data were overdispersed, with $\hat{c} = 1.49$. Once this was allowed for in the quasi-binomial model, the treatment effect was no longer significant, $F(17, 36) = 1.28$ and $p = 0.261$, and after Holm adjustment no treatment differed from the control. Table 4 lists the values. Day-5 germination was numerically highest under $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, between 53.33% and 57.33%, and under NaCl + KCl at 56.00%. It was lowest under NaCl + $CaCl_2$ at 29.33 ± 6.11% and under KCl + $MgSO_4$ at 30.67 ± 6.11%, compared with 41.33 ± 16.17% in the control. The largest difference from the control was 16.0 percentage points, recorded for 25 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

Control germination was both low and uneven among dishes: 6, 11 and 14 of the 25 seeds germinated in the three dishes, which corresponds to a standard deviation of 16.17 percentage points. This between-dish variation is as large as the differences observed among treatments and is the main constraint on every comparison reported here.

Table 4. Cumulative germination and germination indices of hemp seeds under the salt treatments

Treatment	Day 3 (%)	Day 5 (%)	MGT (days)	GSI
Control	41.33 ± 16.17	41.33 ± 16.17	1.29	8.83
NaCl 25 mM	41.33 ± 9.24	46.67 ± 9.24	1.69	8.78
NaCl 50 mM	48.00 ± 10.58	48.00 ± 10.58	1.67	8.44
NaCl 100 mM	38.67 ± 14.05	44.00 ± 22.27	1.82	7.61
KCl 25 mM	42.67 ± 10.07	50.67 ± 14.05	1.87	8.78
KCl 50 mM	32.00 ± 10.58	42.67 ± 16.65	2.09	7.06
KCl 100 mM	41.33 ± 16.17	45.33 ± 16.17	1.65	8.64
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 25 mM	45.33 ± 9.24	57.33 ± 8.33	2.23	8.68
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 50 mM	42.67 ± 8.33	53.33 ± 9.24	2.20	8.75
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 100 mM	40.00 ± 6.93	56.00 ± 0.00	2.33	8.30
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 25 mM	37.33 ± 6.11	49.33 ± 2.31	2.08	8.18
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 50 mM	40.00 ± 6.93	50.67 ± 9.24	2.11	7.89
NaCl + KCl	41.33 ± 4.62	56.00 ± 8.00	2.17	9.33
NaCl + $CaCl_2$	26.67 ± 6.11	29.33 ± 6.11	1.82	5.17
NaCl + $MgSO_4$	33.33 ± 8.33	49.33 ± 12.22	2.54	7.44
KCl + $CaCl_2$	26.67 ± 4.62	38.67 ± 8.33	2.48	5.94
KCl + $MgSO_4$	30.67 ± 6.11	30.67 ± 6.11	1.30	6.61
$MgSO_4$ + $CaCl_2$	29.33 ± 12.22	45.33 ± 18.48	2.38	7.21

Note. Germination percentages are means ± SD of three dishes. MGT is the mean germination time and GSI the germination speed index; both were calculated from daily counts pooled over the three dishes, with GSI expressed per dish, and are descriptive. Binary treatments were prepared at 25 + 25 mM. After Holm adjustment no treatment differed significantly from the control.

3.4. Germination Indices and Decomposition of the Response

Mean germination time ranged from 1.29 days in the control to 2.54 days under NaCl + $MgSO_4$, and GSI from 5.17 under NaCl + $CaCl_2$ to 9.33 under NaCl + KCl. Because the censored fraction was large, the response was

split into two components: the fraction of seeds that had germinated by day 5 and the mean germination time of those seeds. Across the 18 treatments the germinated fraction varied from 29.3% to 57.3%, a coefficient of variation of 17.0%, and MGT from 1.29 to 2.54 days, a coefficient of variation of 18.7%. The two components were positively correlated, with $r = 0.48$, $p = 0.044$ and $n = 18$; treatments in which more seeds germinated also had a later mean germination time.

This correlation is to be expected when germination is incomplete. A treatment that recruits additional seeds late in the test raises both its germinated fraction and its MGT. The control is a clear example: it had the shortest MGT, 1.29 days, not because its seeds germinated faster but because its germination stopped after day 2. In these data MGT mixes the germinated fraction with speed and cannot be read as a measure of germination rate, which is why modelling the two components separately is recommended (Ritz et al., 2013; Romano & Stevanato, 2020).

3.5. Relationship Between Solution Chemistry and Germination

Across the 17 salt treatments, day-5 germination was not significantly correlated with calculated osmotic potential, for which Pearson's $r = 0.28$ with $p = 0.275$ and Spearman's $\rho = 0.41$ with $p = 0.106$. Nor was it correlated with ionic strength, for which $r = 0.22$ with $p = 0.389$ and $\rho = 0.10$ with $p = 0.706$. Single-salt treatments averaged 49.5% germination and binary treatments 41.6%, a difference that Welch's test did not confirm, $t = 1.74$ with $df = 6.1$ and $p = 0.132$. Treatments containing Mg^{2+} averaged 48.7% against 45.6% for those without it, $p = 0.517$, and treatments containing Ca^{2+} averaged 42.7% against 48.3%, $p = 0.249$.

The ranking of the treatments therefore did not follow the simplest alternative explanation, the osmolarity of the solution. NaCl + $CaCl_2$, which gave the lowest germination, had neither the most negative osmotic potential nor the highest ionic strength. The most negative osmotic potential belonged to 50 mM $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ at −0.326 MPa, which gave 50.67% germination, and the highest ionic strength to 100 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ at 400 mM, which gave 56.00%. Given the limited sensitivity of the design described in Section 3.6, these null correlations say little about the true ranking and do not show that solution chemistry is unimportant.

3.6. Sensitivity of the Design

The pooled between-dish standard deviation of day-5 germination was 12.1 percentage points. This fits the observed overdispersion: with $m = 25$ seeds per dish and a mean germination proportion of about $p = 0.45$, binomial sampling alone would give about 9.9 percentage points, and inflating this by the square root of the dispersion statistic reproduces the observed value:

$$s \approx \sqrt{\hat{c}} \times 100\sqrt{\frac{p(1-p)}{m}} = \sqrt{1.49} \times 9.9 \approx 12.1 \quad (13)$$

With three dishes per treatment, Equation 12 gives a minimum detectable difference between a treatment and the control at 80% power of 28.5 percentage points at $\alpha = 0.05$ and 39.9 percentage points at $\alpha = 0.05/17$. The largest observed difference from the control, 16.0 percentage points, was thus about half the unadjusted MDD. Even the largest difference between any two treatments, 28.0 percentage points between 25 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and NaCl + $CaCl_2$, did not reach the Holm-adjusted threshold.

The design could therefore detect only very large effects, and the absence of significant differences cannot be taken as evidence that the treatments were equivalent. If the between-dish variation stays the same, a confirmatory study would need 11 dishes per treatment to detect a difference of 15 percentage points at 80% power without adjustment for multiple comparisons, and 20 dishes with adjustment for 17 comparisons. Detecting a difference of 10 percentage points would need 24 and 43 dishes. A seed lot with higher and more uniform viability should lower the variation and with it these numbers.

3.7. FTIR-ATR and SEM Observations

The FTIR-ATR spectra in Figure 2a and 2b all contain the same main absorption bands: the broad O-H and N-H stretching envelope between 3277 and 3283 cm^{-1}, aliphatic C-H stretching at 2925 to 2927 cm^{-1} and 2855 to 2856 cm^{-1}, ester C=O at 1740 to 1744 cm^{-1}, amide I at 1631 to 1634 cm^{-1}, amide II at 1533 to 1538 cm^{-1}, and carbohydrate bands at 1442 to 1452 cm^{-1}, near 1232 cm^{-1} and at 1048 to 1070 cm^{-1}. Band positions differed among treatments and days by no more than about 5 cm^{-1}, close to the instrumental resolution of 4 cm^{-1}, and these shifts are not interpreted. The day-5 spectrum of the 100 mM NaCl sample is the exception. It has an intense, sharp band at 1740 cm^{-1} together with sharp bands at 1366 cm^{-1} and at 1229 and 1217 cm^{-1} that are missing from all other spectra. This combination is typical of acetate esters and is more plausibly caused by contamination of that sample than by the treatment, so the spectrum was not interpreted. The region between 2400 and 1900 cm^{-1}, where atmospheric CO_2 and the ATR crystal absorb, was excluded.

The SEM micrographs in Figure 2c to 2f show detached seed-coat fragments at 50× magnification. Fragment size and the share of the field they cover differ among the four preparations, which reflects sample preparation and mounting rather than treatment. Round structures about 50 to 150 µm across appear in all four preparations, but they lie on the mounting substrate and not on the tissue, so they are attributed to the mount, either to the adhesive or to dried residue. With a single field per treatment, chosen without randomization and imaged at 50×, surface features such as cracks or the continuity of the seed-coat layers could not be assessed. No treatment differences are claimed from either technique.

4. CONCLUSION, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

4.1. Interpreting the Absence of Significant Treatment Effects

None of the 17 salt formulations changed hemp germination significantly relative to the control. This was true of all three analyses: the distribution of germination times, the instantaneous rate of germination expressed as hazard ratios, and day-5 cumulative germination. Two explanations are possible, and the data rule out neither. The salts may have had little effect over the range of concentrations tested, or effects of biologically relevant size may have been present without the experiment being sensitive enough to detect them. The two readings lead to different uses of the results, so the evidence for each is examined here.

Several observations favour the first reading. The treatments imposed only mild to moderate osmotic stress: the most negative calculated osmotic potential was −0.460 MPa, reached by 100 mM NaCl and 100 mM KCl, and the 25 mM single-salt treatments lay between −0.079 and −0.165 MPa. Earlier work placed clear inhibition of hemp germination mostly at higher concentrations or in more damaging salts. Germination indices declined with concentration up to 300 mM, and alkaline sodium salts were more harmful than neutral ones (Hu et al., 2018); tolerant fibre cultivars kept germinating at up to 100 mM NaCl (Dixit, 2022), and germination fell as NaCl concentration rose (Gul et al., 2024; Kasprowiak et al., 2025). The concentrations used here therefore sit at the lower end of the range in which effects on hemp germination are usually reported.

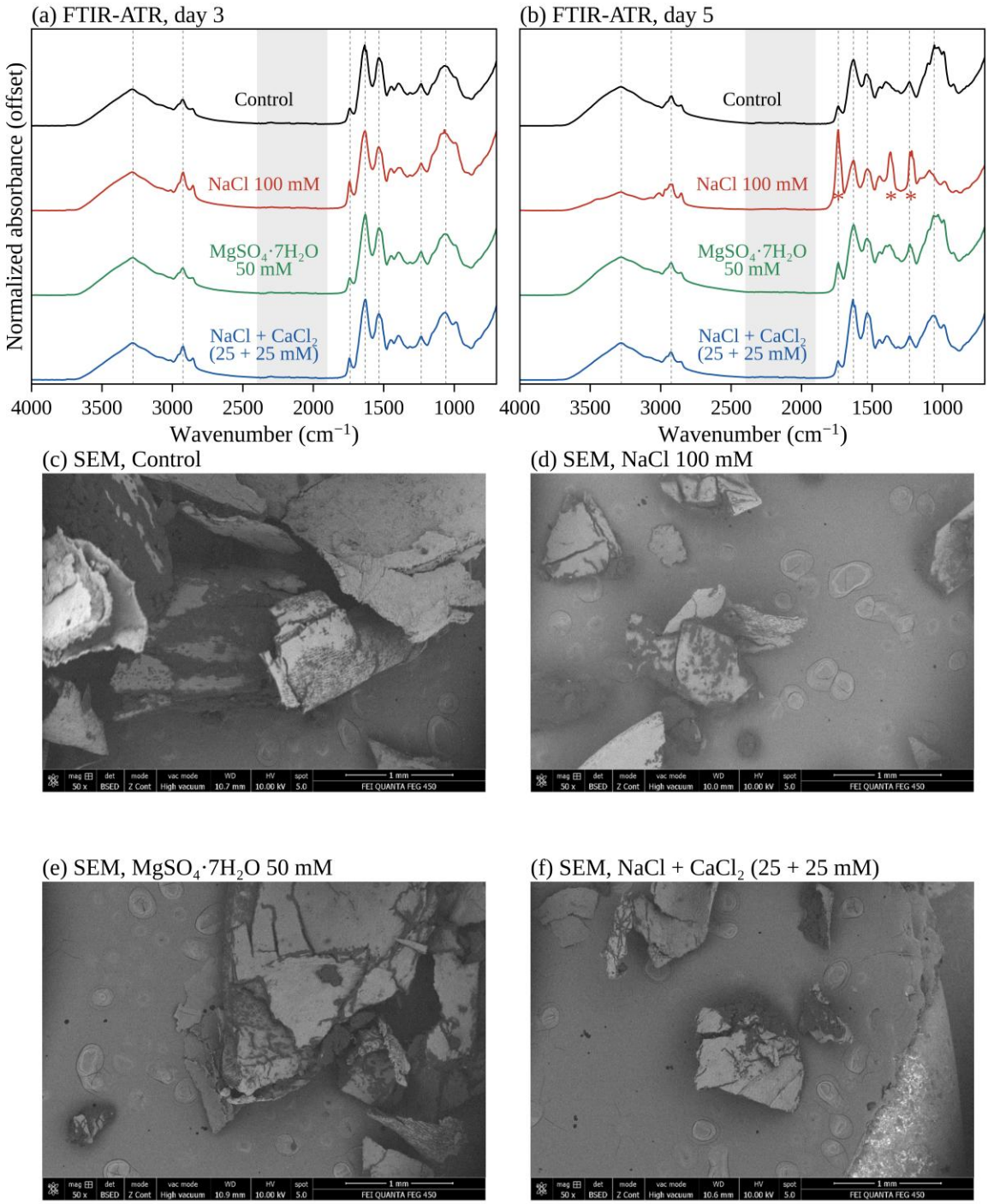


Figure 2. Qualitative FTIR-ATR and SEM observations of germinated hemp seeds: (a, b) FTIR-ATR spectra on days 3 and 5 and (c to f) SEM micrographs of seed-coat fragments

Note. Panels a and b show absorbance spectra normalized with Equations 4 and 5 and offset vertically; the dashed lines mark 3280, 2925, 1740, 1633, 1534, 1235 and 1060 cm^{-1}. The shaded region between 2400 and 1900 cm^{-1}, affected by atmospheric CO_2 and ATR-crystal absorption, is not interpreted. Asterisks mark the bands at 1740, 1366 and 1229/1217

cm^{-1} in the day-5 spectrum of 100 mM NaCl that are attributed to contamination. Panels c to f show the control, 100 mM NaCl, 50 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and NaCl + $CaCl_2$ (25 + 25 mM), imaged with BSED at 10.0 kV and 50×; the scale bar is 1 mm. One representative sample was examined per treatment, without biological replication.

The hydrotime model (Bradford, 1990) puts this argument in quantitative terms. It assumes that each seed fraction g needs a constant hydrotime θ_{H} to germinate:

$$\theta_{\mathrm{H}} = \left(\psi - \psi_{\mathrm{b}}(g)\right) t_g \tag{14}$$

where ψ is the water potential of the medium, $\psi_{\mathrm{b}}(g)$ the base water potential of fraction g and t_g its germination time. The relative delay caused by a lower water potential is then:

$$\frac{t_g(\psi)}{t_g(0)} = \frac{\psi_{\mathrm{b}}(g)}{\psi_{\mathrm{b}}(g) - \psi} \tag{15}$$

The base water potential of this seed lot was not measured, so the values below serve only as an illustration. With a median base water potential of −1.0 MPa, the most negative treatment at −0.460 MPa would lengthen the median germination time by a factor of about 1.85, while the 25 mM single-salt treatments would lengthen it by a factor of only 1.09 to 1.20. With a median base water potential of −1.5 MPa the factors would be 1.44 and 1.06 to 1.12. Most germination in this experiment took place on days 1 and 2 and was recorded once a day, so delays of 10% to 20% would have been almost invisible. On osmotic grounds alone, then, most treatments would be expected to change the timing of germination only slightly.

Other observations show that the experiment could not have detected even moderate effects. With the pooled between-dish standard deviation of 12.1 percentage points and the structure of Equation 12, the 95% confidence interval for any treatment-control difference in day-5 germination has a half-width of about 20 percentage points. The difference of 12.0 points observed for NaCl + $CaCl_2$ is therefore compatible with anything from a reduction of about 32 points to an increase of about 8 points, and the difference of 16.0 points for 25 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ with anything from a reduction of 4 points to an increase of 36 points. The hazard-ratio intervals in Table 3, which run from about 0.4 to 2.2, point to the same conclusion. An inhibition of 20 to 30 percentage points, which would matter agronomically, cannot be excluded for any treatment. Showing that salt formulation has no effect would require an equivalence test with a margin fixed in advance, not merely a difference test that fails to reach significance.

The analysis also shows how easily seed-level analyses overstate the evidence. When the 75 seeds of each treatment were treated as independent, the binomial model indicated a significant treatment effect with $p = 0.013$, but once the overdispersion among dishes was included the effect was clearly not significant, with $p = 0.261$. Seeds in the same dish share the filter paper, the solution and the microenvironment and are not

independent experimental units, and ignoring such clustering inflates the apparent precision of estimates (Cameron & Miller, 2015). The same concern applies to the log-rank test, whose p value of 0.068 would be larger still if clustering were taken into account. In germination experiments the dish rather than the seed is the unit of replication, and the number of dishes rather than the number of seeds sets the power of the experiment.

4.2. Seed-Lot Quality and the Control Baseline

The low and variable germination of the control, 41.33 ± 16.17%, is the most important single constraint on the interpretation of this study. All 31 control seeds that germinated did so on days 1 and 2, and none of the remaining 44 germinated on days 3 to 5. Rapid germination by a subset of seeds followed by a complete halt fits a population made up of a vigorous germinable fraction and a non-germinable fraction better than it fits uniformly slow germination. The non-germinable fraction may consist of non-viable seeds, dormant seeds or both. Seed viability declines during storage at a rate set by moisture content and temperature (Ellis & Roberts, 1981), and the storage history of this locally sourced lot before it was obtained is unknown. Dormancy can prevent viable seeds from germinating under otherwise favourable conditions (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006), so it cannot be ruled out either. Damage from the H_2O_2 sterilization step is also possible, because no unsterilized control was included.

A large non-germinable fraction affects the experiment in three ways. First, if only 40% to 55% of the seeds can germinate, each dish contains only 10 to 14 responsive seeds rather than 25, so any treatment effect is diluted and estimated less precisely. Second, binomial variance is at its maximum near 50% germination, which is where most treatments lay. Third, dishes may by chance receive different proportions of viable seeds, and the control dishes, with 6, 11 and 14 germinated seeds, suggest that these differences were substantial. Part of the overdispersion, $\hat{c} = 1.49$, may therefore reflect uneven viability among dishes rather than any response to the treatments. A tetrazolium viability test (International Seed Testing Association [ISTA], 2020) applied to the non-germinated seeds at the end of the test would allow germination to be expressed relative to viable seeds, which would remove this source of variation and sharpen every comparison. Until such data are available, all results reported here should be regarded as specific to this seed lot.

4.3. Nominal Molarity Versus Solution Chemistry

The calculated solution chemistry in Table 1 shows that equal nominal molarity describes the chemical environment of the seeds poorly. At 25 mM, osmotic potential differed twofold between $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and $CaCl_2 \cdot 2H_2O$. $MgSO_4$ at 25 mM matched the ionic strength of 100 mM NaCl while its osmotic potential was almost six times less negative. The six binary treatments, all described as 25 + 25 mM, covered osmotic

potentials from −0.195 to −0.281 MPa and ionic strengths from 50 to 175 mM. Comparing salts at equal molarity therefore changes several variables at once, and differences in germination cannot be traced to any single ion.

Some features of the data agree with an osmotic explanation. At every concentration $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ gave the least negative osmotic potential among the single salts, from −0.079 to −0.263 MPa, and the $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ treatments also had the highest day-5 germination, between 53.33% and 57.33%. Other features do not agree with it. Across all 17 salt treatments germination was only weakly and not significantly correlated with osmotic potential, $r = 0.28$, and the two treatments with the lowest germination, NaCl + $CaCl_2$ at 29.33% and KCl + $MgSO_4$ at 30.67%, did not have the most negative osmotic potentials. KCl + $MgSO_4$ had the same calculated osmotic potential as NaCl + $MgSO_4$, −0.195 MPa, but germinated at 30.67% instead of 49.33%. Chloride concentration does not explain the ranking either. Both 50 mM $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ and 100 mM NaCl supplied 100 mM Cl^- and gave 50.67% and 44.00% germination, whereas NaCl + $CaCl_2$ supplied 75 mM Cl^- and gave 29.33%. Each of these differences lies within the uncertainty of about 20 percentage points discussed in Section 4.1, so none of them should be over-interpreted. The data support neither a purely osmotic nor a purely ion-specific account and cannot distinguish between them.

The result for NaCl + $CaCl_2$ needs a closer look, because calcium is often expected to reduce sodium toxicity. Calcium takes part in salt-stress signalling and in the regulation of ion homeostasis (Manishankar et al., 2018; Zhu, 2016), so a protective effect of Ca^{2+} on germination under NaCl would be biologically plausible. In this experiment, however, adding $CaCl_2$ to NaCl also added chloride and made the osmotic potential more negative, −0.281 MPa, which was one of the two most negative values among the binary treatments. Because Na^+ and Cl^- can each act independently (Tavakkoli et al., 2010), any effect of Ca^{2+} here is confounded with the extra Cl^- and the extra osmotic load. The lower germination under NaCl + $CaCl_2$ should therefore not be read as ion antagonism, nor as evidence against a protective role of calcium.

Separating osmotic from ionic effects requires a different design. Treatments should be prepared at several target osmotic potentials, for example −0.2, −0.4 and −0.6 MPa, instead of at equal molarity, and each salt or mixture should be compared with a PEG 6000 solution of the same water potential (Michel & Kaufmann, 1973). PEG lowers water potential without adding ions, so the difference between a salt and PEG at equal water potential estimates the ionic part of the salt effect, in line with the distinction between salt and water stress (Munns, 2002). Measured rather than calculated osmotic potentials should be reported for every solution, together with electrical conductivity and pH. Fitting the hydrotime model of Equation 14 to such data would

also give the base water potential of the seed lot, a parameter that would make results comparable between studies and seed lots.

4.4. Germinated Fraction Versus Germination Speed

Splitting the germination response showed a positive correlation between the germinated fraction and MGT, $r = 0.48$. The correlation arises because MGT is calculated only from the seeds that germinate, as Equation 10 shows. A treatment that recruits additional seeds late in the test raises its germinated fraction and its MGT together, so ranking treatments by MGT can mislead. KCl + $MgSO_4$ had the second shortest MGT, 1.30 days, which would normally be read as fast germination, yet it had one of the lowest germination percentages, 30.67%. Its short MGT only reflects the fact that almost no seed germinated after day 2. The same holds for the control, whose MGT of 1.29 days reflects the complete halt in germination after day 2. GSI, defined in Equation 11, combines the number and the timing of germinated seeds, so the low GSI of 5.17 under NaCl + $CaCl_2$ mainly reflects the smaller number of germinated seeds rather than slower germination.

When germination is incomplete, the germinated fraction and the timing of germination should be modelled separately (Ritz et al., 2013; Romano & Stevanato, 2020). Time-to-event models that include an explicit non-germinating fraction and treat daily counts as interval-censored observations provide a suitable framework for this (McNair et al., 2012; Onofri et al., 2022). The violation of the proportional-hazards assumption for 25 mM NaCl points in the same direction. In that treatment germination continued on days 3 and 4 after it had stopped in the control, so the treatment seems to have changed the shape of the germination-time distribution rather than merely scaling the hazard. A model that lets the germinable fraction and the timing respond to treatment independently would describe this behaviour better than a single hazard ratio.

4.5. Value and Limits of the FTIR-ATR and SEM Observations

FTIR-ATR and SEM were included to find out whether differences in germination were accompanied by detectable chemical or structural changes in the germinated seeds. As applied here, neither technique could answer that question. Each spectrum came from one representative sample with technical rather than biological replication, so the variation among seeds within a treatment is unknown and no comparison between treatments can be tested. The samples were not rinsed, so residual salts may add to the spectra; sulphate, for example, absorbs strongly near 1100 cm^{-1}, inside the carbohydrate region used to characterize the tissue.

The day-5 spectrum of the 100 mM NaCl sample shows how vulnerable unreplicated spectra are. Its intense bands at 1740, 1366 and 1229/1217 cm^{-1} occur in no other spectrum and are best explained by contamination. With biological replication such an outlier would have been recognized and excluded instead of having to be

discussed as a possible treatment effect. The SEM images share this limitation. A single field of detached seed-coat fragments, chosen without randomization and imaged at 50×, cannot show whether salt treatment changed surface features, and backscattered electrons from a uniformly gold-coated surface give little compositional contrast. Salinity-related changes in the carbonyl, lipid and carbohydrate regions have been reported for germinating seeds of another species (Cherrate et al., 2023), and infrared spectroscopy is well established for biological and plant tissues (Movasaghi et al., 2008; Türker-Kaya & Huck, 2017). Whether comparable changes occur in hemp under the salts tested here remains open and needs a replicated design.

4.6. Limitations and Recommendations for a Confirmatory Study

The main limitations of this pilot study are the uncharacterized seed lot of unknown viability, the small number of dishes per treatment, the end of the analysis at day 5, the use of calculated rather than measured solution properties, the lack of dish-level daily counts for the germination indices, and the unreplicated FTIR-ATR and SEM observations. Each can be addressed directly. A confirmatory experiment should use (i) a characterized cultivar whose initial viability has been confirmed by tetrazolium testing, preferably above 85%, with a tetrazolium test also applied to seeds that fail to germinate; (ii) at least 11 dishes per treatment to detect a difference of 15 percentage points, or 20 when adjusting for 17 comparisons, and repeat the whole experiment independently over time; (iii) treatments matched on measured osmotic potential rather than nominal molarity, including a PEG 6000 series as an iso-osmotic, non-ionic reference, with electrical conductivity and pH measured in every solution; (iv) renewal of the solutions at fixed intervals and gravimetric monitoring of evaporation, so that the concentration the seeds experience is known throughout the test; (v) dish-level daily counts kept for the whole test period and analysed with interval-censored time-to-event models that include a non-germinating fraction; (vi) a primary endpoint and an equivalence margin fixed in advance, so that the absence of an effect can be tested formally; (vii) biologically replicated FTIR-ATR on rinsed, desiccator-dried tissue, with absorbance spectra normalized to an internal reference band and quantitative band metrics, and SEM with a secondary-electron detector at higher magnification, systematic field sampling and quantitative morphometry; and (viii) blinded scoring of germination and images, with contamination recorded as a reason for exclusion.

4.7. Conclusion

This pilot study asked whether single and binary formulations of NaCl, KCl, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ and $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ at 25 to 100 mM alter the germination of hemp seeds. Within the limits of the design, the answer is that no formulation produced a statistically detectable change. The germination-time distributions did not differ, with a

log-rank $p = 0.068$, all hazard-ratio confidence intervals included 1, and the apparent heterogeneity in day-5 germination, from 29.33% to 57.33% against 41.33% in the control, disappeared once overdispersion among dishes was considered, with $p = 0.261$.

This null result carries little weight as evidence and should not be cited to show that salt formulation does not affect hemp germination. With three dishes per treatment and a between-dish standard deviation of 12.1 percentage points, the 95% confidence interval of each treatment-control difference spanned about 20 percentage points on either side, and the smallest difference detectable with 80% power was 28.5 percentage points before and 39.9 percentage points after adjustment for multiple comparisons. The low and variable germination of the seed lot, which stopped completely after day 2 in the control, was the main source of this imprecision and limits every conclusion to this lot.

The study still provides three results that are useful beyond the present data. First, the calculated solution chemistry shows that nominally equimolar salt treatments are far from equivalent: osmotic potential varied twofold among the 25 mM single salts, and ionic strength varied up to fourfold among treatments of the same molarity. Studies that compare salts at equal molarity should therefore report osmotic potential, ionic strength and electrical conductivity and be careful about attributing differences to particular ions. Second, the variance and effect-size estimates give a quantitative basis for planning: detecting a difference of 15 percentage points with adequate power would need about 11 dishes per treatment, or 20 with correction for 17 comparisons. Third, splitting the response showed that, when germination is incomplete, MGT and GSI combine the germinated fraction with germination speed and cannot be interpreted as rate measures on their own; the two components have to be analysed separately.

Whether the ionic composition of saline solutions affects hemp germination beyond their osmotic effect therefore remains an open question. A confirmatory experiment built on the recommendations in Section 4.6 could test three specific hypotheses. The first is that, at equal water potential, ionic salts reduce germination more than PEG, which would demonstrate an ionic component. The second is that, among salts matched for water potential, the cation, whether Na^+, K^+, Mg^{2+} or Ca^{2+}, or the anion, whether Cl^- or SO_4^{2-}, affects the germinated fraction, the timing of germination or both. The third is that binary mixtures behave differently from what their single-salt components predict. With a well-characterized seed lot, adequate replication at the dish level and iso-osmotic controls, such an experiment could give hemp growers and breeders the information on salt-specific tolerance that this pilot study could only outline.

REFERENCES

Amaducci, S., Scordia, D., Liu, F. H., Zhang, Q., Guo, H., Testa, G., & Cosentino, S. L. (2015). Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products, 68*, 2-16. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.041

Bewley, J. D. (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell, 9*(7), 1055-1066. https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1055

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4

Bradford, K. J. (1990). A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiology, 94*(2), 840-849. https://doi.org/10.1104/pp.94.2.840

Cafaro, V., Siracusa, L., Pulvirenti, L., Testa, G., Iurato, A., Cosentino, S. L., & Patanè, C. (2025). Morphological and physiological response of hemp to different levels of water availability and salinity. *Industrial Crops and Products, 236*, Article 121958. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121958

Cameron, A. C., & Miller, D. L. (2015). A practitioner's guide to cluster-robust inference. *Journal of Human Resources, 50*(2), 317-372. https://doi.org/10.3368/jhr.50.2.317

Cherrate, M., Radouane, N., Ezrari, S., Echchgadda, G., Maissour, A., Makroum, K., Plavan, G., Abd-Elkader, O. H., & Bourioug, M. (2023). Effects of temperature, pH, and salinity on seed germination of *Acinos alpinus* subsp. *meridionalis* and FTIR analysis of molecular composition changes. *Sustainability, 15*(6), Article 4793. https://doi.org/10.3390/su15064793

Davidson-Pilon, C. (2019). lifelines: Survival analysis in Python. *Journal of Open Source Software, 4*(40), Article 1317. https://doi.org/10.21105/joss.01317

Dixit, N. (2022). Salinity induced antioxidant defense in roots of industrial hemp (IH: *Cannabis sativa* L.) for fiber during seed germination. *Antioxidants, 11*(2), Article 244. https://doi.org/10.3390/antiox11020244

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology, 9*, 373-409.

Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist, 171*(3), 501-523. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Global map of salt-affected soils (GSASmap) v1.0*. FAO. https://www.fao.org/global-soil-partnership/gsasmap/en/

Grambsch, P. M., & Therneau, T. M. (1994). Proportional hazards tests and diagnostics based on weighted residuals. *Biometrika, 81*(3), 515-526. https://doi.org/10.1093/biomet/81.3.515

Gul, V., Sefaoglu, F., Cetinkaya, H., & Dinler, B. S. (2024). The effect of different doses of salt stress on germination and emergence in cannabis (*Cannabis sativa* L.) seed treated with pre-salicylic acid. *Brazilian Archives of Biology and Technology, 67*, Article e24240047. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2024240047

Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics, 6*(2), 65-70.

Hu, H., Liu, H., & Liu, F. (2018). Seed germination of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars responds differently to the stress of salt type and concentration. *Industrial Crops and Products, 123*, 254-261. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.089

International Seed Testing Association. (2020). *International rules for seed testing*. ISTA. https://doi.org/10.15258/istarules.2020.F

Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. M. (2019). Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science, 10*, Article 80. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080

Kasprowiak, F., Wilmowicz, E., & Kućko, A. (2025). Jasmonate-mediated mitigation of salinity stress during germination and early vegetative development in hemp. *Plants, 14*(18), Article 2864. https://doi.org/10.3390/plants14182864

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, 2*(2), 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Manishankar, P., Wang, N., Köster, P., Alatar, A. A., & Kudla, J. (2018). Calcium signaling during salt stress and in the regulation of ion homeostasis. *Journal of Experimental Botany, 69*(17), 4215-4226. https://doi.org/10.1093/jxb/ery201

McNair, J. N., Sunkara, A., & Frobish, D. (2012). How to analyse seed germination data using statistical time-to-event analysis: Non-parametric and semi-parametric methods. *Seed Science Research, 22*(2), 77-95. https://doi.org/10.1017/S0960258511000547

Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology, 51*(5), 914-916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Movasaghi, Z., Rehman, S., & ur Rehman, I. (2008). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues. *Applied Spectroscopy Reviews, 43*(2), 134-179. https://doi.org/10.1080/05704920701829043

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment, 25*(2), 239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology, 59*, 651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Onofri, A., Mesgaran, M. B., & Ritz, C. (2022). A unified framework for the analysis of germination, emergence, and other time-to-event data in weed science. *Weed Science, 70*(3), 259-271. https://doi.org/10.1017/wsc.2022.8

Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology, 37*(7), 613-620. https://doi.org/10.1071/FP09249

Ritz, C., Pipper, C. B., & Streibig, J. C. (2013). Analysis of germination data from agricultural experiments. *European Journal of Agronomy, 45*, 1-6. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.003

Robinson, R. A., & Stokes, R. H. (2002). *Electrolyte solutions* (2nd rev. ed.). Dover Publications.

Romano, A., & Stevanato, P. (2020). Germination data analysis by time-to-event approaches. *Plants, 9*(5), Article 617. https://doi.org/10.3390/plants9050617

Salentijn, E. M. J., Zhang, Q., Amaducci, S., Yang, M., & Trindade, L. M. (2015). New developments in fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) breeding. *Industrial Crops and Products, 68*, 32-41. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.011

Seabold, S., & Perktold, J. (2010). statsmodels: Econometric and statistical modeling with Python. In *Proceedings of the 9th Python in Science Conference* (pp. 92-96). https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-011

Small, E., & Marcus, D. (2002). Hemp: A new crop with new uses for North America. In J. Janick & A. Whipkey (Eds.), *Trends in new crops and new uses* (pp. 284-326). ASHS Press.

Tavakkoli, E., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. (2010). High concentrations of Na^+ and Cl^- ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *Journal of Experimental Botany, 61*(15), 4449-4459. https://doi.org/10.1093/jxb/erq251

Therneau, T. M., & Grambsch, P. M. (2000). *Modeling survival data: Extending the Cox model*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3294-8

Türker-Kaya, S., & Huck, C. W. (2017). A review of mid-infrared and near-infrared imaging: Principles, concepts and applications in plant tissue analysis. *Molecules, 22*(1), Article 168. https://doi.org/10.3390/molecules22010168

van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology, 71*, 403-433. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005

Zhu, J.-K. (2016). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell, 167*(2), 313-324. https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029

BALTIK BÖLGESİNDEKİ DOĞA BİLİMLERİ ARAŞTIRMALARININ BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİFTEN İNCELENMESİ

Doç. Dr., Gülenaz SELÇUK[1]/ Doç. Dr., Ayşegül AYYILDIZ ASİL[2]/ Okul Müd., Abdurrahman ASİL[3]

[1]Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Eğitim Bilimleri, gulenaz.selcuk@cbu.edu.tr, 0000-0002-3578-6010

[2]Hakkari Üniversitesi, Eğitim Bilimleri, aysegulkadi@hakkari.edu.tr, 0000-0003-1958-6104

[3]Selahaddin Eyyubi Ortaokulu, Eğitim Bilimleri, a.rahmanasill@gmail.com, 0000-0002-5709-7160

Özet

Bu çalışma, Baltık ülkeleri bağlamında doğa bilimleri alanındaki akademik çalışmaların gelişimini, eğilimlerini ve etkileşim yapılarını incelemektedir. Web of Science ve Scopus veri tabanlarında indekslenen yayınlar analiz edilmiş; yayınların yıllara göre dağılımı, ülke, yazar ve kurum bazında üretkenlik düzeyleri ile atıf ağları incelenerek VOSviewer yazılımı kullanılarak görselleştirilmiştir. Bulgular, araştırmaların yalnızca disipliner bilgi üretimine odaklanmadığını; aynı zamanda öğrenci motivasyonu, öğrenme süreçleri ve pedagojik etkililik gibi eğitimsel boyutları da kapsadığını göstermektedir. “Citizen science”, “distance learning”, “machine learning” ve “natural language processing” gibi anahtar kelimelerin öne çıkması, doğa bilimleri araştırmalarında toplumsal katılımın, dijitalleşmenin ve yapay zekâ destekli yöntemlerin giderek artan önemini ortaya koymaktadır. Atıf analizleri, Alessandro Marin, Tor Ole B. Odden ve John L. Rudolf’un en fazla atıf alan araştırmacılar arasında yer aldığını göstermektedir. Ayrıca yazarlar arasında belirli düzeyde bir bağlantı ve karşılıklı atıf ilişkilerinin bulunduğu görülmektedir. Kurumsal düzeyde ise University of Oslo, University of Wisconsin ve Ludwig Maximilian University of Munich öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, Baltık ülkelerindeki kurumların yüksek etkili araştırma merkezleri arasında belirgin biçimde yer almaması, bölgesel temsil ve görünürlük açısından önemli bir boşluğa işaret etmektedir. Ülke düzeyinde ise Amerika Birleşik Devletleri en yüksek atıf etkisine sahip ülke olurken, Almanya yayın üretkenliği açısından öne çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Atıf analizi, Baltık ülkeleri, Bibliyometrik analiz, Bilimsel üretkenlik, Doğa bilimleri.

BIBLIOMETRIC PERSPECTIVES ON NATURAL SCIENCES RESEARCH IN THE BALTIC REGION

Assoc. Prof. Dr., Gülenaz SELÇUK [1]/ Assoc. Prof. Dr., Ayşegül AYYILDIZ ASİL [2]/ School Principal, Abdurrahman ASİL[3]

[1] Manisa Celal Bayar University, Educational Sciences, gulenaz.selcuk@cbu.edu.tr, 0000-0002-3578-6010

[2] Hakkâri University, Educational Sciences, aysegulkadi@hakkari.edu.tr, 0000-0003-1958-6104

[3]Selahaddin Eyyubi Secondary School, Educational Sciences, a.rahmanasill@gmail.com, 0000-0002-5709-7160

Abstract

This study examines the development, trends, and interaction structures of academic studies in the field of natural sciences within the context of the Baltic countries. Publications indexed in the Web of Science and Scopus databases were analyzed, and publication distributions by year, productivity based on country, author, and institution, as well as citation networks, were visualized using VOSviewer software. The findings indicate that the research focuses not only on disciplinary knowledge production but also on educational dimensions such as student motivation, learning processes, and pedagogical effectiveness. The prominence of keywords such as “citizen science,” “distance learning,” “machine learning,” and “natural language processing” demonstrates the increasing importance of social participation, digitalization, and artificial intelligence-supported methods in natural sciences research. Citation analyses revealed that Alessandro Marin, Tor Ole B. Odden, and John L. Rudolf are among the most highly cited researchers, while a certain level of interconnection and reciprocal citation relationships exists among authors. At the institutional level, the University of Oslo, Wisconsin, and Ludwig Maximilian University of Munich stand out. However, the absence of Baltic institutions as high-impact centers points to a significant gap in regional representation and visibility. At the country level, the United States has the highest citation impact, whereas Germany stands out in terms of publication productivity.

Keywords: Baltic countries, Bibliometric analysis, Citation analysis, Natural sciences, Scientific productivity.

1. GİRİŞ

21. yüzyılda bilim ve teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, çağdaş toplumlarda bilimsel bilginin, bilimsel akıl yürütmenin ve kanıta dayalı karar verme süreçlerinin önemini artırmıştır. Bireylerden yalnızca bilimsel bilgi edinmeleri değil, aynı zamanda bilimsel süreçleri anlamaları, doğa olaylarını yorumlamaları ve bilimsel bilgiyi günlük yaşamda karşılaştıkları problemlerin çözümünde kullanmaları beklenmektedir. Bu bağlamda bilimsel okuryazarlık, bireylerin bilimsel kavramları, süreçleri ve değerleri günlük yaşamlarında kullanabilmelerini ve bilim, teknoloji ve toplum arasındaki karşılıklı ilişkileri anlayabilmelerini vurgulayan temel bir eğitim hedefi hâline gelmiştir.

Bilimsel okuryazarlık, kavramsal bilginin edinilmesinin ötesinde bilimsel sorgulama, eleştirel düşünme, kanıta dayalı akıl yürütme ve bilimsel iddiaları değerlendirme becerilerini de kapsamaktadır. Bununla birlikte araştırmalar, uygun eğitimsel müdahaleler olmaksızın öğrencilerin bilim, bilim insanları ve bilimsel uygulamalara ilişkin anlayışlarının kendiliğinden ve aşamalı olarak gelişmeyebileceğini göstermektedir (Bartels & Lederman, 2022). Benzer biçimde, sınıf ve laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilen fen öğretiminin gerçek yaşam deneyimleriyle ilişkilendirilmesindeki sınırlılıklar, öğrencilerin bilimsel kavramları anlamalarında güçlükler oluşturabilmektedir (Erdaş Kartal & Mesci, 2022). Bu bulgular, öğrencilerin aktif katılımını, gözlem ve deney süreçlerini ve doğal olaylarla anlamlı etkileşimlerini teşvik eden eğitim yaklaşımlarının önemini ortaya koymaktadır.

Doğa bilimleri eğitimi, sistematik gözlem, deney ve bilimsel akıl yürütme yoluyla öğrenenlerin doğal dünyayı anlamalarını sağlayarak bu yeterliliklerin geliştirilmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Bu eğitim alanı yalnızca bilimsel bilgiyi aktarmayı değil, aynı zamanda öğrencilerin merak duygularını, sorgulama becerilerini, problem çözme yeterliliklerini ve bilimin doğasına ilişkin anlayışlarını geliştirmeyi amaçlamaktadır (Harlen, 2010; Lederman, 2019). Okul öncesi eğitimden yükseköğretime kadar doğa bilimleri öğrenme süreçlerinin öğrencilerin bilişsel gelişim özelliklerine uygun biçimde yapılandırılması ve bilimsel olgularla günlük yaşam arasında bağlantı kurma becerilerinin aşamalı olarak desteklenmesi gerekmektedir (Cañal, 2018).

Bununla birlikte doğa bilimleri eğitimi, sürdürülebilirlik eğitimi ve sorumlu vatandaşlık anlayışıyla yakından ilişkilidir. Birleşmiş Milletler 2030 Gündemi, kapsayıcı ve nitelikli eğitimin yanı sıra eleştirel düşünme, problem çözme ve küresel farkındalık gibi yeterliliklerin geliştirilmesini vurgulamaktadır (United Nations, 2023). Bu çerçevede sürdürülebilir kalkınma için eğitim, bireylerin çevresel bütünlük, ekonomik sürdürülebilirlik ve sosyal adalet konularında bilinçli kararlar almalarını ve sorumlu eylemlerde bulunmalarını teşvik etmektedir (OECD, 2019; UNESCO, 2017). Dolayısıyla doğa bilimleri eğitimi, çevresel sorunların

anlaşılması, bilimsel kanıtların değerlendirilmesi ve yerel ve küresel problemlere yönelik bilinçli çözümler geliştirilmesi açısından önemli bir temel oluşturmaktadır.

Doğa bilimleri eğitiminde çağdaş yaklaşımlar, giderek daha fazla aktif, iş birlikli ve disiplinlerarası öğrenme stratejilerine odaklanmaktadır. Araştırmaya dayalı öğrenme, oyunlaştırma, artırılmış gerçeklik ve ters yüz sınıf gibi yöntemler; öğrencilerin derse katılımı, motivasyonu ve eleştirel düşünme becerileriyle ilişkili olarak ele alınmaktadır (Gerard vd., 2019; Lotter & Ramnarain, 2025). Ayrıca bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) alanlarının bütünleştirilmesi, bilimsel kavramların teknolojik uygulamalar ve gerçek yaşam problemleriyle ilişkilendirilmesi yoluyla analitik düşünme ve problem çözme becerilerinin geliştirilmesini desteklemektedir (Bybee, 2013; Capraro vd., 2015). Bu gelişmeler, doğa bilimleri eğitiminin pedagojik yenilikler, teknolojik gelişmeler ve değişen toplumsal ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli dönüşen bir araştırma alanı olduğunu göstermektedir.

1.1. Kuramsal Çerçeve

1.1.1. Doğa Bilimleri

Doğa bilimleri, evreni ve doğal olayları sistematik gözlem, deney ve akıl yürütme süreçleri aracılığıyla anlamayı amaçlayan temel bir bilgi alanıdır. Doğa bilimleri eğitimi ise bireylerin doğal çevrelerinde karşılaştıkları olayları bilimsel temellere dayalı olarak analiz etmelerini, bilimsel kavramları anlamlandırmalarını ve kanıta dayalı çıkarımlarda bulunmalarını sağlayan önemli bir öğrenme alanıdır. Harlen (2010) ve Lederman (2019), doğa bilimleri öğrenme süreçlerinde bilimsel düşünmenin, sorgulamanın ve bilimin doğasına ilişkin anlayışın geliştirilmesinin önemine dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda bilimsel okuryazarlık, bireylerin bilimsel gelişmeleri eleştirel biçimde değerlendirmelerini ve günlük yaşamlarında karşılaştıkları sorunlara bilimsel bir perspektifle yaklaşmalarını sağlayan temel bir yeterlilik olarak değerlendirilebilir.

1.1.2. Doğa Bilimleri Eğitiminin Amaçları ve Temel Yeterlilikleri

Doğa bilimleri eğitiminin temel amaçlarından biri, bireylere bilimsel bilgi kazandırmanın yanı sıra bilimsel süreç becerilerini, eleştirel düşünme ve problem çözme yeterliliklerini geliştirmektir. Bu süreçte öğrencilerin gözlem yapmaları, soru oluşturmaları, hipotez geliştirmeleri, deneysel süreçlere katılmaları ve elde ettikleri bulguları kanıta dayalı biçimde yorumlamaları önem taşımaktadır. Doğa bilimleri öğrenimi, öğrencilerin bilişsel ve gelişimsel özellikleri dikkate alınarak eğitim kademeleri boyunca aşamalı biçimde yapılandırılmalıdır (Harlen, 2010). Cañal (2018), doğa bilimleri öğretiminin erken yaşlardan itibaren merak duygusunu destekleyen, doğal çevrenin gözlemlenmesine olanak tanıyan ve bilimsel düşünme becerilerini geliştiren bir yaklaşımla yürütülmesinin önemini vurgulamaktadır. Bununla birlikte bilimsel kavramların sınıf ve laboratuvar

ortamlarının dışındaki gerçek yaşam deneyimleriyle ilişkilendirilmesi, öğrenmenin anlamlı hâle getirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Öğrencilerin bilimsel bilgiyi günlük yaşam problemlerinin çözümünde kullanabilmeleri, bilimsel öğrenmenin yalnızca akademik başarıya değil, aynı zamanda toplumsal ve çevresel farkındalığa da katkı sağlamasını mümkün kılmaktadır (Driver vd., 1996).

1.1.3. Doğa Bilimleri Eğitimi ve Sürdürülebilir Kalkınma

Doğa bilimleri eğitimi, çevresel sorunların anlaşılması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik bilinçli kararların geliştirilmesi açısından önemli bir işleve sahiptir. Günümüzde iklim değişikliği, doğal kaynakların korunması, çevresel sürdürülebilirlik ve ekolojik dengenin sağlanması gibi konular, bireylerin bilimsel bilgiye dayalı değerlendirme yapabilmelerini gerekli kılmaktadır. Birleşmiş Milletler 2030 Gündemi kapsamında vurgulanan nitelikli eğitim hedefi, bireylerin eleştirel düşünme, problem çözme ve küresel farkındalık gibi yeterliliklerinin geliştirilmesini içermektedir (United Nations, 2023). Sürdürülebilir kalkınma için eğitim ise bireylerin çevresel bütünlük, ekonomik sürdürülebilirlik ve sosyal adalet doğrultusunda bilinçli kararlar alabilmelerini ve sorumlu davranışlar geliştirmelerini amaçlamaktadır (OECD, 2019; UNESCO, 2017). Bu bağlamda doğa bilimleri eğitimi, öğrencilerin doğal çevreyi bilimsel temellerle anlamalarını, çevresel problemlere ilişkin kanıtları değerlendirmelerini ve sürdürülebilir bir geleceğe yönelik sorumluluk bilinci geliştirmelerini desteklemektedir. Dolayısıyla doğa bilimleri araştırmalarının sürdürülebilirlik eğitimiyle ilişkili olarak incelenmesi, alanın güncel araştırma yönelimlerinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır.

1.1.4. Doğa Bilimleri Eğitiminde Güncel Pedagojik Yaklaşımlar

Doğa bilimleri eğitiminde son yıllarda öğrencilerin öğrenme süreçlerine aktif katılımını destekleyen, iş birlikli ve disiplinlerarası pedagojik yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Araştırmaya dayalı öğrenme, oyunlaştırma, artırılmış gerçeklik ve ters yüz sınıf gibi yöntemler, öğrencilerin bilimsel kavramları deneyimleyerek öğrenmelerini ve eleştirel düşünme becerilerini geliştirmelerini destekleyen uygulamalar arasında yer almaktadır (Gerard vd., 2019; Lotter & Ramnarain, 2025). STEM eğitimi ise bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerini bütünleştirerek öğrencilerin teorik bilgilerini uygulamaya dönüştürmelerine ve gerçek yaşam problemlerine disiplinlerarası çözümler geliştirmelerine olanak tanımaktadır (Bybee, 2013; Capraro vd., 2015). Bu yaklaşım, analitik düşünme, yaratıcılık ve problem çözme gibi üst düzey düşünme becerilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Teknolojik gelişmelerin öğrenme ortamlarına entegrasyonu, doğa bilimleri eğitiminde yeni araştırma alanlarının ortaya çıkmasına da zemin hazırlamaktadır. Bu durum, doğa bilimleri araştırmalarının yalnızca geleneksel öğretim yöntemleriyle sınırlı kalmayıp dijital teknolojiler, yenilikçi pedagojiler ve disiplinlerarası öğrenme yaklaşımları çerçevesinde de incelenmesini gerekli kılmaktadır.

1.1.5. Araştırma Boşluğu

Doğa bilimleri araştırmaları; bilimsel okuryazarlık, araştırmaya dayalı öğrenme, sürdürülebilirlik, çevresel farkındalık, öğretim programlarının geliştirilmesi, öğretmen eğitimi ve yenilikçi öğretim yaklaşımları gibi geniş bir konu yelpazesini kapsamaktadır. Önceki araştırmalar, doğa bilimleri eğitiminin bilimsel anlayış, eleştirel düşünme, problem çözme ve bilime yönelik olumlu tutumların geliştirilmesindeki rolünü incelemiştir (Driver vd., 1996; Harlen, 2010; Lederman, 2019). Daha güncel çalışmalar ise dijital teknolojilerin, disiplinlerarası yaklaşımların ve yeterlilik temelli öğrenmenin doğa bilimleri eğitimine entegrasyonuna odaklanmaktadır (Abate vd., 2024; Soriano-Sanchez vd., 2025). Bu çalışmalar alanın farklı boyutlarının anlaşılmasına katkı sağlamakla birlikte, doğa bilimleri araştırmalarının tematik ve metodolojik açıdan çeşitlenmesi, bilimsel gelişiminin daha kapsamlı bir perspektifle incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Estonya, Letonya ve Litvanya'yı kapsayan Baltık bölgesi, doğa bilimleri araştırmalarının gelişimini incelemek açısından anlamlı bir coğrafi ve akademik bağlam sunmaktadır. Sovyetler Birliği sonrası dönüşüm sürecinde bu ülkelerin eğitim sistemlerinde müfredat geliştirme, öğretmen yetiştirme, araştırma altyapısının güçlendirilmesi ve eğitim sistemlerinin modernizasyonu gibi alanlarda önemli değişimler yaşanmıştır. Ayrıca Avrupa araştırma programlarına ve uluslararası bilimsel ağlara katılım, bölgedeki bilimsel iş birliklerinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu tarihsel ve kurumsal dönüşümler, Baltık bölgesinde doğa bilimleri araştırmalarının zamansal gelişimini, tematik değişimini ve bilimsel iş birliği dinamiklerini incelemek için önemli bir bağlam oluşturmaktadır. Bununla birlikte Baltık bölgesindeki doğa bilimleri araştırmalarının yayın eğilimleri, etkili bilimsel katkıları, tematik yapısı, atıf ilişkileri ve uluslararası iş birliği ağlarının bütüncül biçimde değerlendirilmesi, bölgenin bilimsel üretiminin daha kapsamlı anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Bu doğrultuda gerçekleştirilecek bibliyometrik inceleme, bölgedeki doğa bilimleri araştırmalarının gelişimini sistematik biçimde ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Bu araştırma kapsamında aşağıdaki sorulara yanıt aranacaktır:

1. Baltık bölgesinde doğa bilimleri alanında Web of Science ve Scopus veri tabanlarında yayımlanan makalelerin yıllara göre dağılımı nasıldır?
2. Baltık bölgesinde doğa bilimleri alanında yayımlanan makalelerin yazarlara göre dağılımı nasıldır?
3. Baltık bölgesinde doğa bilimleri alanında yayımlanan makalelerin ülkelere göre dağılımı nasıldır?
4. Baltık bölgesinde doğa bilimleri alanında yayımlanan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı ve öne çıkan tematik eğilimler nelerdir?
5. Baltık bölgesinde doğa bilimleri alanında yayımlanan makalelerin yazar atıf ağı nasıl şekillenmektedir?

6. Baltık bölgesinde doğa bilimleri alanında yayımlanan makalelerin kurumlar arası atıf ağı nasıl şekillenmektedir?

7. Baltık bölgesinde doğa bilimleri alanında yayımlanan makalelerin ülkeler arası atıf ağı nasıl şekillenmektedir?

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Deseni

Bu araştırmada, Baltık ülkelerinde doğa bilimleri alanlarında gerçekleştirilen bilimsel yayınların gelişimini incelemek amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bibliyometrik analiz, büyük miktardaki bilimsel verinin sistematik biçimde incelenmesine, araştırma eğilimlerinin belirlenmesine ve bilimsel üretimin yapısal özelliklerinin ortaya konulmasına olanak sağlayan yaygın ve güçlü bir yöntemdir (Donthu vd., 2021).

2.2. Veri Toplama Aracı ve Süreci

Araştırmanın veri setini oluşturmak amacıyla Web of Science (WoS) ve Scopus veri tabanlarından yararlanılmıştır. Veriler 12 Aralık 2025 tarihinde toplanmıştır. Araştırma kapsamında doğa bilimleri alanına ilişkin yayınlara ulaşmak için her iki veri tabanında ilgili anahtar kelimeler kullanılarak taramalar gerçekleştirilmiştir. Veri toplama sürecinde araştırmanın kapsamını belirlemek ve analiz edilecek yayınların karşılaştırılabilirliğini sağlamak amacıyla ülke, yayın yılı, yayın türü, araştırma alanı, dil ve erişim türü filtreleri uygulanmıştır. Bu doğrultuda elde edilen kayıtlar, araştırmanın kapsamına uygun biçimde aşamalı olarak daraltılmıştır.

2.3. Web of Science Veri Tabanından Elde Edilen Veriler

WoS veri tabanında “natural science” anahtar kelimesiyle gerçekleştirilen taramada 108.053 çalışmaya ulaşılmıştır. Baltık ülkeleri filtresinin uygulanmasıyla yayın sayısı 19.263'e düşmüştür. Ardından 2021–2025 yılları arasındaki çalışmalar filtrelenmiş ve 4.992 yayına ulaşılmıştır. Yalnızca makale türündeki yayınların seçilmesiyle sayı 3.850'ye, sosyal bilimler alanının filtrelenmesiyle 1.115'e düşmüştür. İngilizce dilindeki yayınların seçilmesi sonucunda 829 çalışmaya, açık erişim filtresinin uygulanmasıyla ise toplam 603 makaleye ulaşılmıştır.

2.4. Scopus Veri Tabanından Elde Edilen Veriler

Scopus veri tabanında “natural science” anahtar kelimesiyle yapılan taramada 203.031 çalışmaya ulaşılmıştır. Baltık ülkeleri filtresinin uygulanmasıyla 31.610 çalışma elde edilmiştir. 2021–2025 yılları arasındaki yayınların seçilmesi sonucunda sayı 7.570'e düşmüştür. Yalnızca makale türündeki yayınların filtrelenmesiyle

4.572, sosyal bilimler alanının seçilmesiyle 1.533 çalışma elde edilmiştir. İngilizce dil filtresi sonucunda 1.010, açık erişim filtresi sonucunda ise toplam 766 makale araştırmaya dâhil edilmiştir.

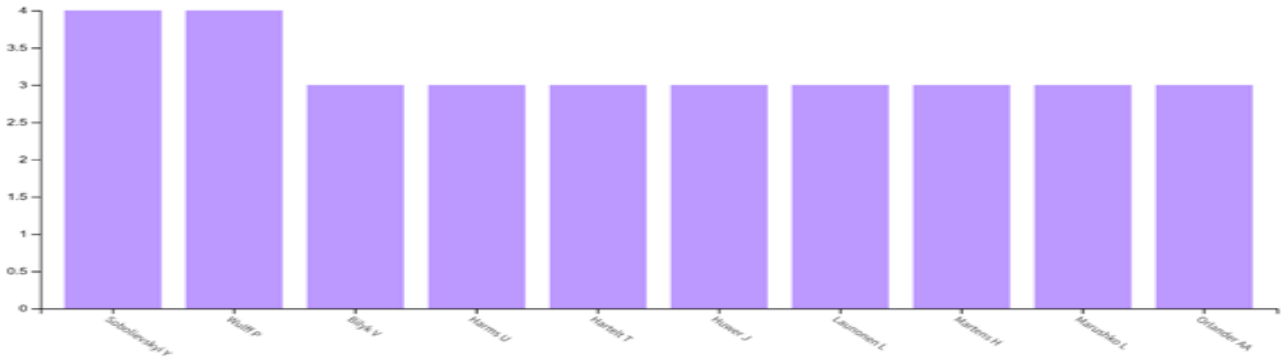
2.5. Verilerin Analizi

Verilerin analizinde bibliyometrik görselleştirme yazılımı olan VOSviewer 1.6.20 kullanılmıştır. Van Eck ve Waltman tarafından geliştirilen VOSviewer, kullanıcı dostu arayüzü, programlama bilgisi gerektirmemesi ve farklı veri tabanlarından elde edilen dosya formatlarını desteklemesi bakımından bibliyometrik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır (Dereli, 2024).

Araştırma kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda yayınların yıllara, yazarlara ve ülkelere göre dağılımları incelenmiş; anahtar kelime analizleri ile yazar, kurum ve ülke atıf ağları oluşturulmuştur. Bu analizler aracılığıyla Baltık ülkelerinde doğa bilimleri araştırmalarının bilimsel üretim eğilimlerinin, öne çıkan araştırma temalarının ve bilimsel etkileşim örüntülerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

3. BULGULAR

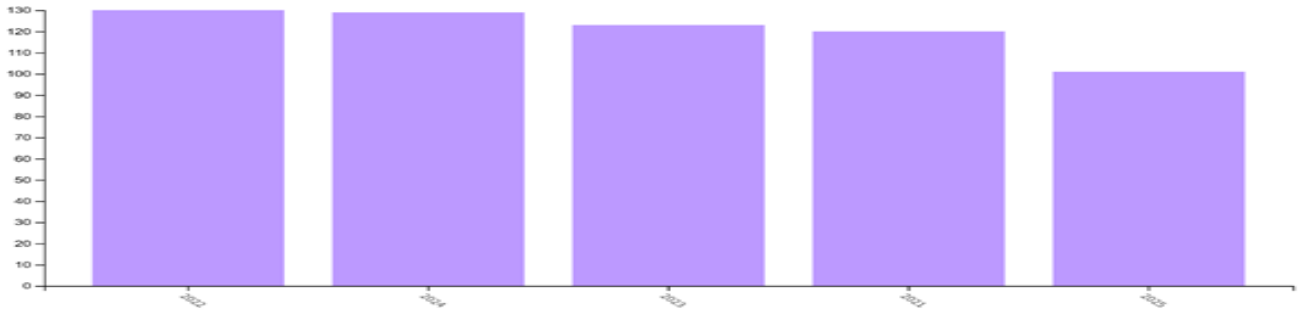
Bu bölümde araştırmanın amacı doğrultusunda elde ediler bulgular yer almaktadır.



Şekil 1. Web of Science'a Göre Baltık Ülkelerinde Doğa Bilimleri Alanında En Fazla Yayına Sahip 10 Araştırmacı

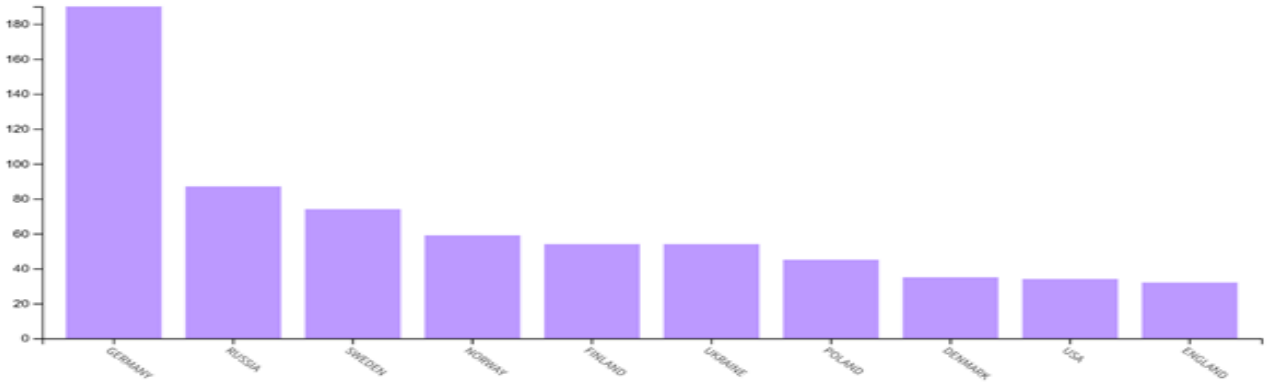
Şekil 1'de görüldüğü üzere, doğa bilimleri alanında en fazla araştırma gerçekleştiren araştırmacılar Y. Sobolievskyi ve P. Wulff'tur (n=4). V. Bilyk, U. Harms, T. Hartelt, J. Huwer, L. Launonen, H. Martens, L. Marushko ve A.A. Orlander ise üçer çalışma yayımlamıştır. Bu bulgu, doğa bilimleri araştırmalarındaki yayın yapısının tek bir baskın araştırmacı ya da araştırma ekolünden ziyade, farklı ülkelerden ve akademik bağlamlardan araştırmacıların çeşitli katkılarıyla şekillendiğine işaret etmektedir. Baltık ülkeleri ve çevre bölgeler bağlamında değerlendirildiğinde, bu dağınık yazarlık yapısı, bölgedeki araştırmacılar açısından uluslararası iş birliklerinin geliştirilmesine ve doğa bilimleri alanının ilerlemesine elverişli bir araştırma ortamı

sunmaktadır. Özellikle karşılaştırmalı, boylamsal ve disiplinlerarası çalışmalar aracılığıyla bölgedeki araştırmacıların alanda daha görünür ve öncü bir rol üstlenmeleri mümkün görünmektedir.



Şekil 2. Web of Science'a Göre Baltık Ülkelerinde Doğa Bilimleri Alanında Son 5 Yılda Yayımlanan Araştırmalar

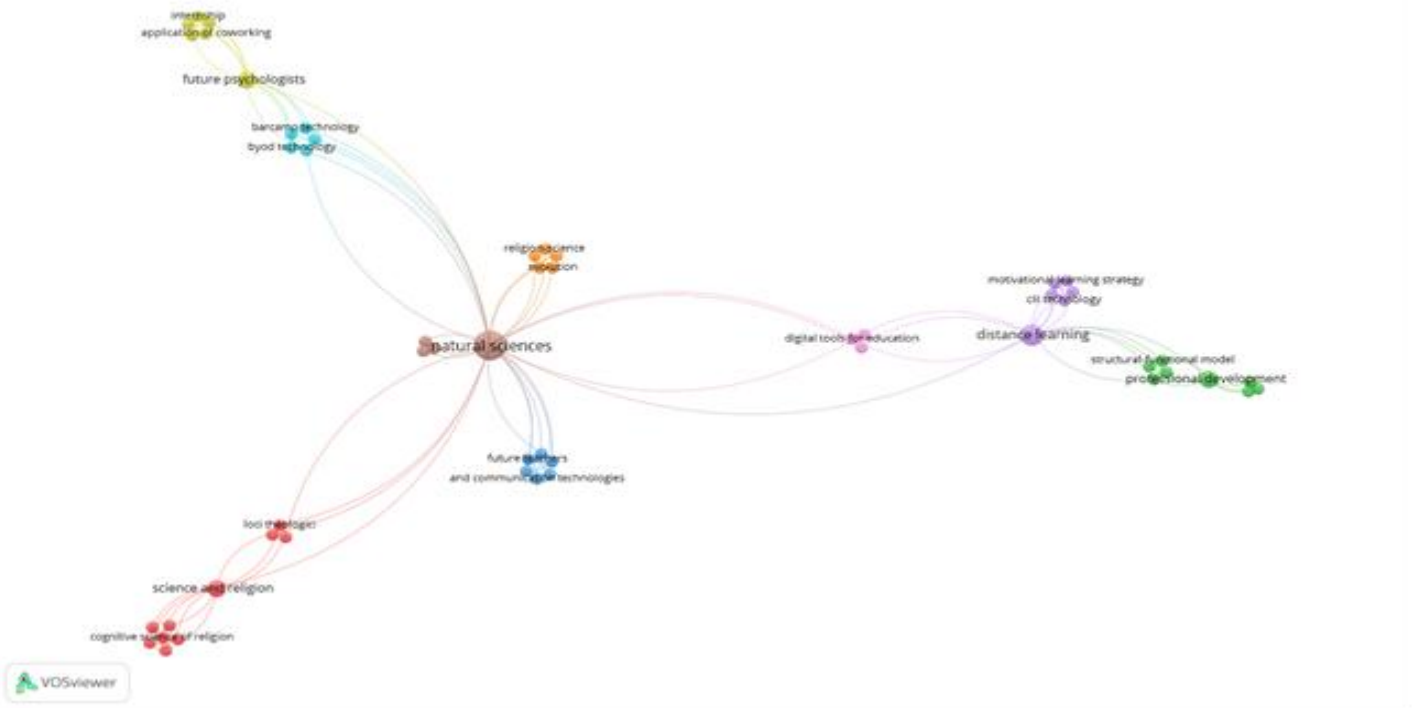
Şekil 2'de görüldüğü üzere, doğa bilimleri alanındaki akademik yayın üretimi son yıllarda yüksek ve görece istikrarlı bir seyir izlemiştir. İncelenen dönem içerisinde 2022 yılı, 130 yayınla (n=130) en yüksek yayın sayısına ulaşılan yıl olarak öne çıkmaktadır. Bunu 2024 (n=129), 2023 (n=123) ve 2021 (n=120) yılları izlemektedir. 2025 yılında ise 101 yayın (n=101) ile diğer yıllara kıyasla görece daha düşük bir yayın sayısı görülmektedir. Bu bulgu, doğa bilimleri araştırmalarının belirli bir yıl ya da kısa süreli bir akademik eğilimle sınırlı olmadığını; aksine istikrarlı, sürdürülebilir ve yerleşik bir araştırma alanı niteliği taşıdığını göstermektedir. 2021 ve 2024 yılları arasında yayın sayılarının birbirine oldukça yakın olması, alana yönelik akademik ilginin yüksek düzeyde devam ettiğini ve araştırma gündeminin belirli ölçüde olgunlaştığını düşündürmektedir. 2022 yılında gözlenen yayın artışı ise pandemi sonrası dönemde eğitim sistemlerinde yaşanan yeniden yapılanma süreçleriyle ve bilimsel okuryazarlık, çevresel sorunlar ve sürdürülebilirlik temalarının araştırma gündeminde daha güçlü bir yer edinmesiyle ilişkili olabilir.



Şekil 3. Web of Science'a Göre Doğa Bilimleri Alanında En Fazla Yayın Yapan 10 Ülke

Şekil 3'te görüldüğü üzere, doğa bilimleri alanında en fazla yayına sahip ülke toplam 190 çalışma ile Almanya'dır. Almanya'yı 87 yayınla Rusya izlemektedir. İsveç (n=74), Norveç (n=59), Finlandiya ve Ukrayna (n=54) ile Polonya (n=45) yüksek yayın sayılarına sahip diğer ülkeler olarak öne çıkmaktadır. Danimarka (n=24), Danimarka (n=22), ABD (n=34) ve İngiltere (n=32) de doğa bilimleri araştırmalarına önemli katkı sağlayan diğer ülkeler arasında yer almaktadır.

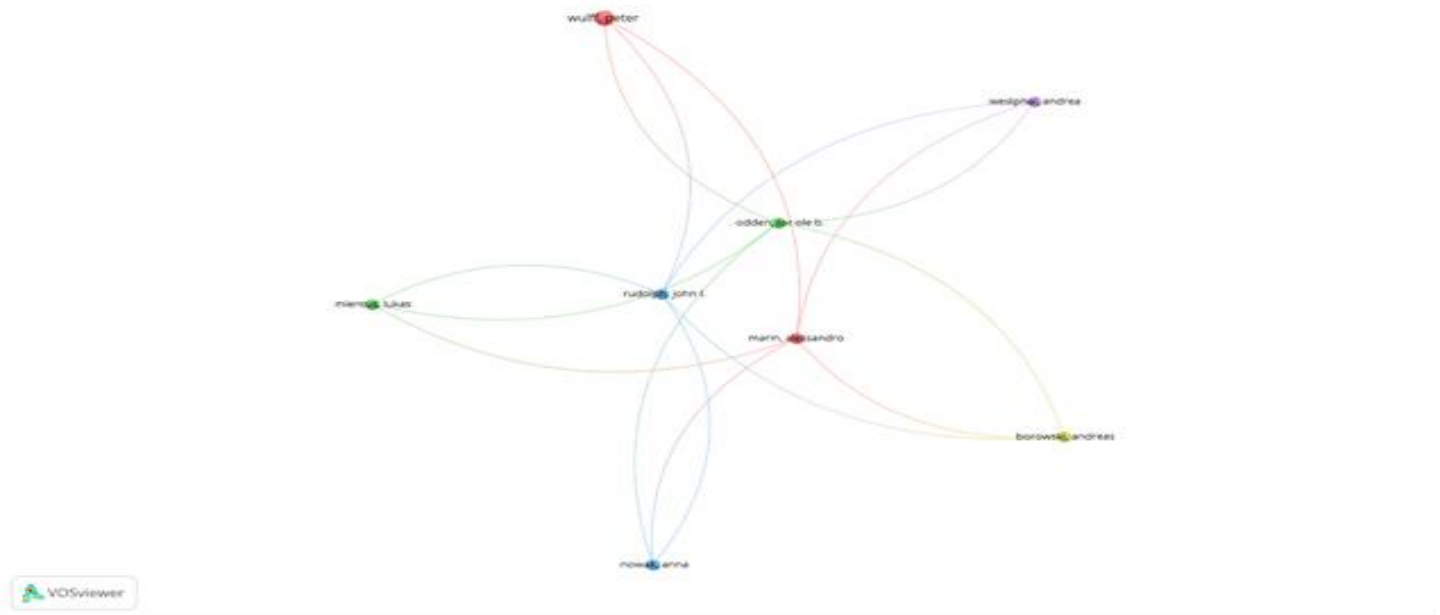
Almanya'nın belirgin biçimde öne çıkması; güçlü üniversite altyapısı, köklü bilim eğitimi geleneği ve bilime dayalı eğitim politikalarının araştırma çıktılarıyla ilişkili olmasıyla açıklanabilir. İskandinav ülkelerinin (İsveç, Norveç ve Finlandiya) yüksek yayın performansı ise doğa bilimlerinin bu ülkelerde sürdürülebilirlik, çevre eğitimi ve bilimsel okuryazarlık gibi temalarla bütünleşik biçimde ele alındığını düşündürmektedir. Rusya ve Ukrayna'nın görece yüksek yayın sayılarıyla öne çıkması ise doğa bilimlerinin Doğu Avrupa ve Avrasya coğrafyasında eğitim sistemlerinin modernleştirilmesi, bilimsel kapasitenin güçlendirilmesi ve uluslararası akademik görünürlüğün artırılması bağlamında önemli bir araştırma alanı olarak konumlandığını göstermektedir.



Şekil 4. Baltık Ülkelerinde Doğa Bilimleri Alanında Anahtar Kelime Analizi (WoS)

Anahtar kelime haritası, doğa bilimleri alanındaki araştırmaların tematik yapılanmasını ortaya koymaktadır. Analiz sonucunda 53 anahtar kelimenin 9 kümeye ayrıldığı ve toplam 155 bağlantının bulunduğu belirlenmiştir.

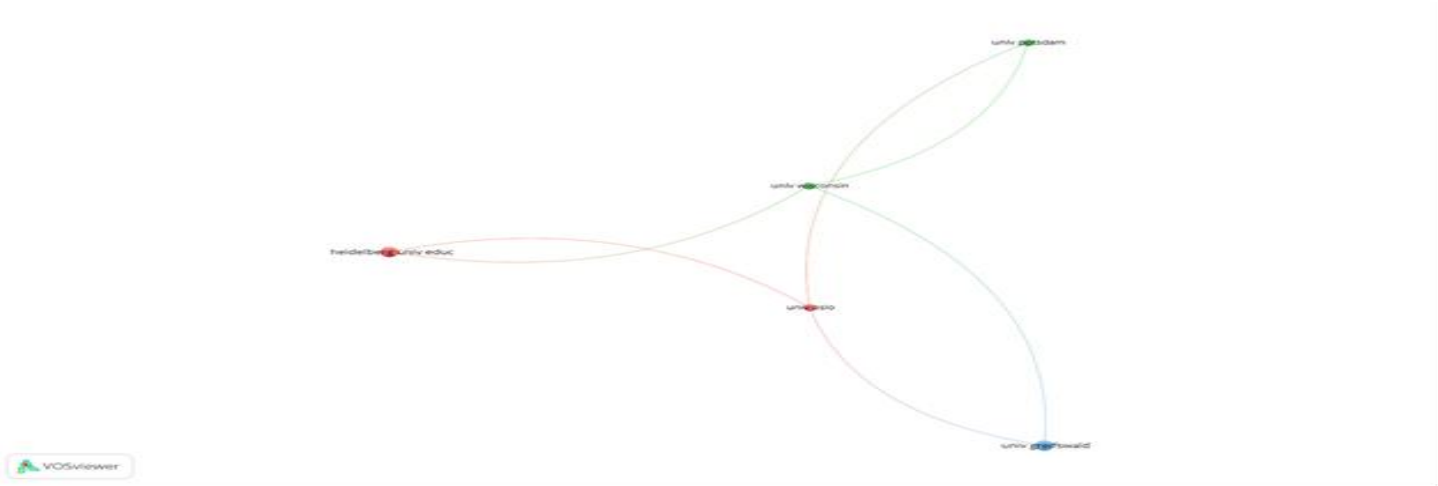
En sık kullanılan anahtar kelimeler natural science (n=6), motivation (n=4) ile citizen science, distance learning, machine learning ve natural language processing (n=3) olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, doğa bilimleri araştırmalarının yalnızca disiplin içeriğinin üretilmesiyle sınırlı olmadığını; aynı zamanda öğrenci motivasyonu, öğrenme süreçleri ve pedagojik etkililik gibi eğitimsel boyutlara da güçlü biçimde odaklandığını göstermektedir. Bu durum, doğa bilimleri eğitiminin bilişsel kazanımlar kadar duyuşsal faktörleri de merkeze alan bir araştırma yaklaşımını benimsediğine işaret etmektedir. Özellikle citizen science kavramının görünürlüğünün artması, doğa bilimlerinin yalnızca okul temelli bir alan olmanın ötesine geçerek toplumun bilime katılımını ve etkileşimini merkeze alan, daha katılımcı bir bilim anlayışı doğrultusunda ele alındığını göstermektedir. Haritada distance learning anahtar kelimesinin yer alması, doğa bilimleri eğitiminin pandemi sonrası dönemde uzaktan ve hibrit öğrenme bağlamında yeniden yapılandırıldığını ve bu dönüşümün akademik araştırmalara da yansıdığını düşündürmektedir. Benzer şekilde, machine learning ve natural language processing gibi kavramların varlığı, doğa bilimleri araştırmalarının giderek veri temelli, hesaplamalı ve yapay zekâ destekli yöntemlerle ilişkilendirildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Baltık Ülkelerinde Doğa Bilimleri Alanında Yazar Atıf Ağı Analizi (WoS)

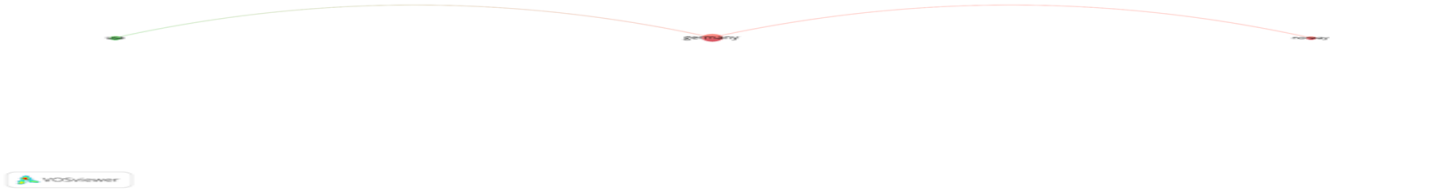
Yazar atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü temelinde birbirleriyle ilişkili 8 gözlem birimi bulunmaktadır. Analiz sonucunda toplam 5 küme ve 15 bağlantı belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre WoS kapsamında doğa bilimleri alanında en fazla atıf alan araştırmacılar Alessandro Marin, Tor Ole B. Odden ve John L. Rudolf'tur. Bu araştırmacıların her biri 39 atıf almıştır. Bununla birlikte,

Valentyina Bilyk, Peter Wulff ve Ingunn Skalstad'ın doğa bilimleri literatürüne ikişer belgeyle katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, araştırmacılar arasında belirli düzeyde bağlantıların, ortak temaların, benzer teorik çerçevelerin ve karşılıklı atıf ilişkilerinin bulunduğuna işaret etmektedir.



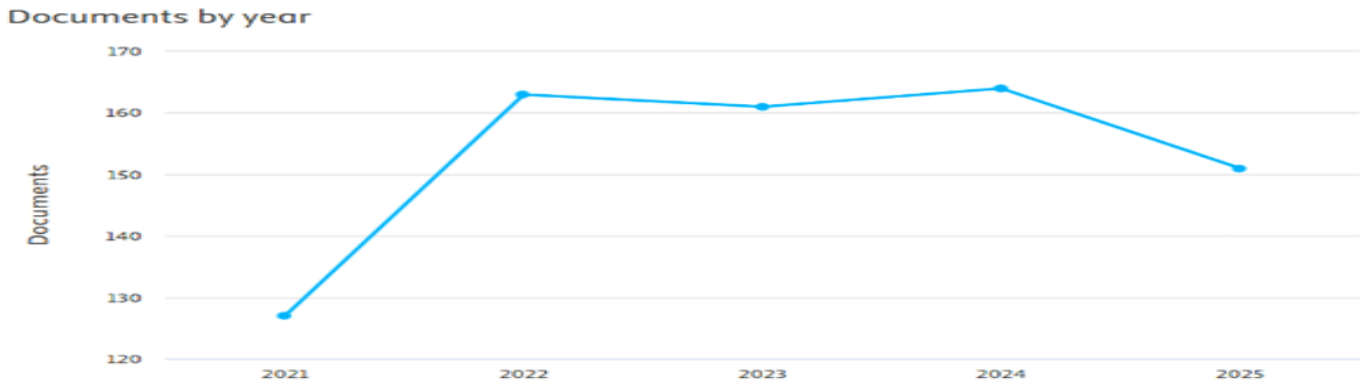
Şekil 6. Baltık Ülkelerinde Doğa Bilimleri Alanında Kurumsal Atıf Ağı Analizi (WoS)

Kurumsal atıf ağı analizinde, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü temelinde birbiriyle ilişkili 5 gözlem biriminin bulunduğu; toplam 3 küme ve 6 bağlantının oluştuğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre WoS kapsamında doğa bilimleri alanında en fazla atıf alan kurumlar University of Oslo ve University of Wisconsin olup, her biri 39 atıfa sahiptir. Bununla birlikte, Ludwig Maximilian University of Munich'in 3 belge ile doğa bilimleri literatürüne önemli bir katkı sağladığı belirlenmiştir. Baltık ülkeleri açısından değerlendirildiğinde, Baltık ülkelerine doğrudan ait olmayan bir Amerikan kurumunun bu kurumsal atıf ağı içerisinde yer alması dikkat çekmektedir. Bu durum, kurumsal düzeyde yüksek etkiye sahip araştırma merkezlerinin henüz Baltık ülkelerinde yeterince belirginleşmediğine işaret etmektedir. Dolayısıyla literatürde bölgesel temsil ve görünürlük açısından önemli bir boşluk bulunduğu söylenebilir.



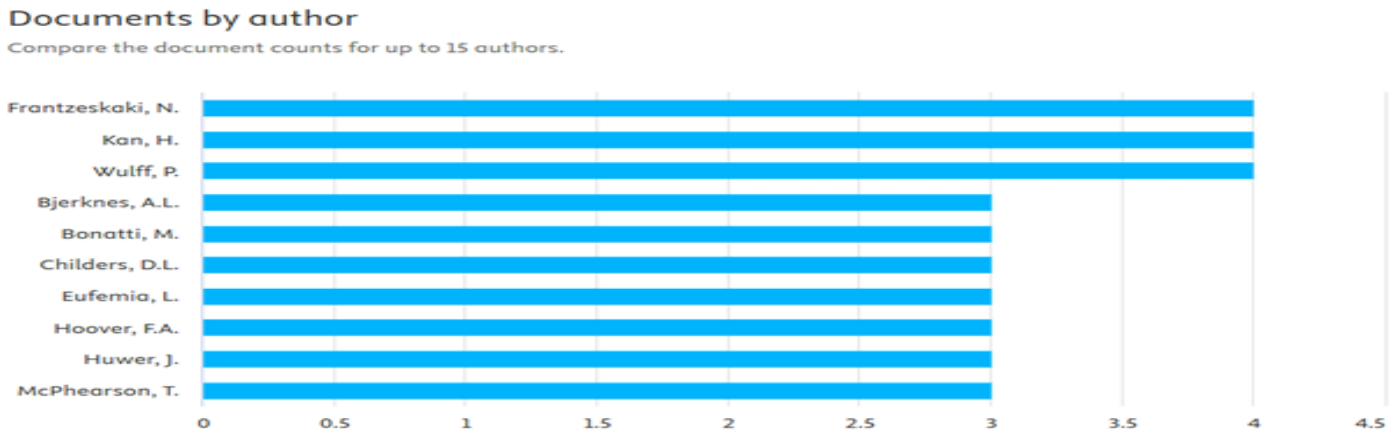
Şekil 7. Baltık Ülkelerinde Doğa Bilimleri Alanında Ülke Atıf Ağı Analizi (WoS)

Ülke atıf ağı analizinde, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü temelinde birbiriyle ilişkili 3 gözlem biriminin bulunduğu; toplam 2 küme ve 2 bağlantının belirlendiği görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre en fazla atıf alan ülke 67 atıfla ABD'dir. ABD'yi Almanya ve Norveç izlemektedir. En fazla belgeye sahip ülke ise 19 yayınla Almanya'dır. Almanya'yı Rusya ve Ukrayna takip etmektedir. Baltık ülkeleri açısından değerlendirildiğinde, bu atıf ağı yapısı önemli bir araştırma boşluğuna da işaret etmektedir. Baltık ülkelerinde doğa bilimleri alanında aktif bir yayın üretimi bulunmasına karşın, bu çalışmaların ulusal düzeyde güçlü bir atıf etkisine aynı ölçüde dönüşmediği görülmektedir. Bu durum, Baltık ülkelerinde gerçekleştirilen araştırmaların daha fazla karşılaştırmalı, çok merkezli ve ortak yazarlı biçimde tasarlanmasının uluslararası görünürlük ve etki açısından katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir.



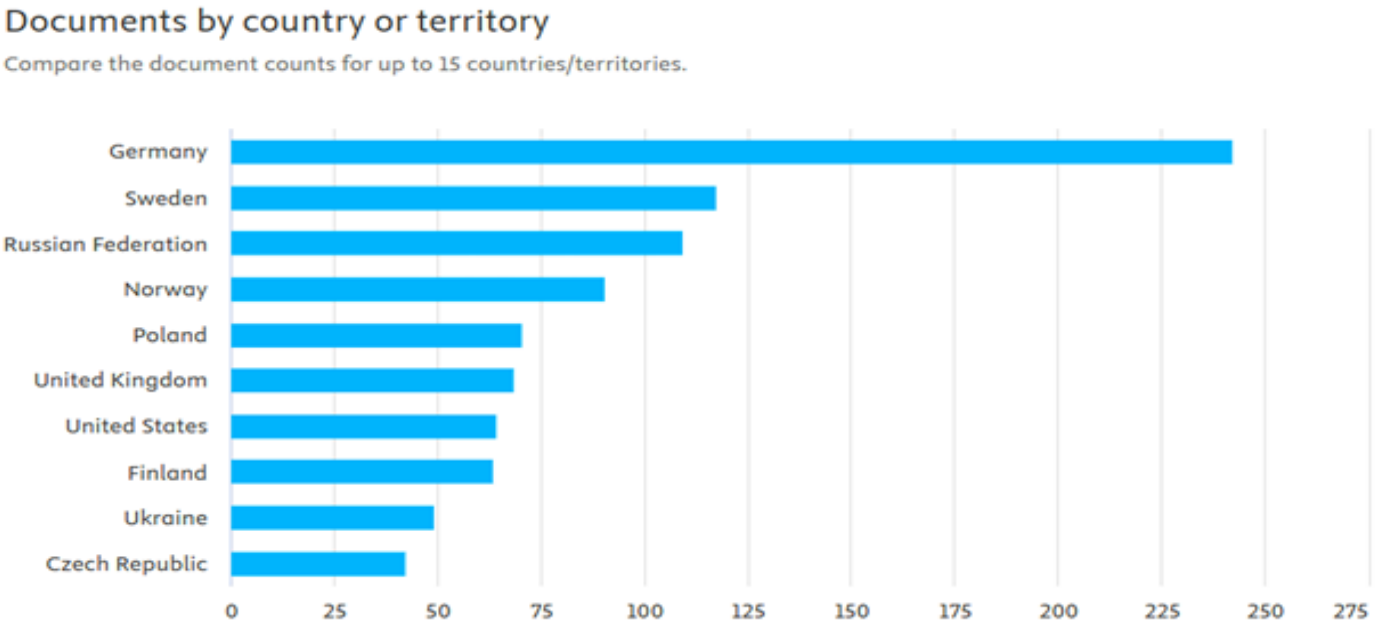
Şekil 8. Scopus'a Göre Son 5 Yılda Doğa Bilimleri Araştırmalarının Dağılımı

Şekil 8'de görüldüğü üzere, doğa bilimleri alanındaki akademik çalışmalar 2021 yılından itibaren belirgin bir artış eğilimi göstermiş, ancak 2024 yılı sonrasında düşüş göstermiştir. En yüksek yayın sayısına 2024 yılında ulaşılmış ve bu dönemde toplam 164 çalışma yayımlanmıştır. Bunu 2022 (n=163) ve 2023 (n=161) yılları izlemiştir. 2021 yılından itibaren doğa bilimleri alanındaki akademik çalışmalarda gözlenen belirgin artış; dijitalleşme, veri temelli araştırma yaklaşımlarının yaygınlaşması ve bu dönemde küresel araştırma fonlarının belirli araştırma alanlarında yoğunlaşmasıyla ilişkili olabilir. Buna karşılık, 2024 yılı sonrasında gözlenen düşüş, alanın geçici bir doygunluk aşamasına girmiş olabileceğini veya güncel çalışmaların henüz veri tabanlarına tam olarak yansımamış olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 9. Scopus'a Göre Doğa Bilimleri Alanında En Fazla Yayına Sahip 10 Araştırmacı

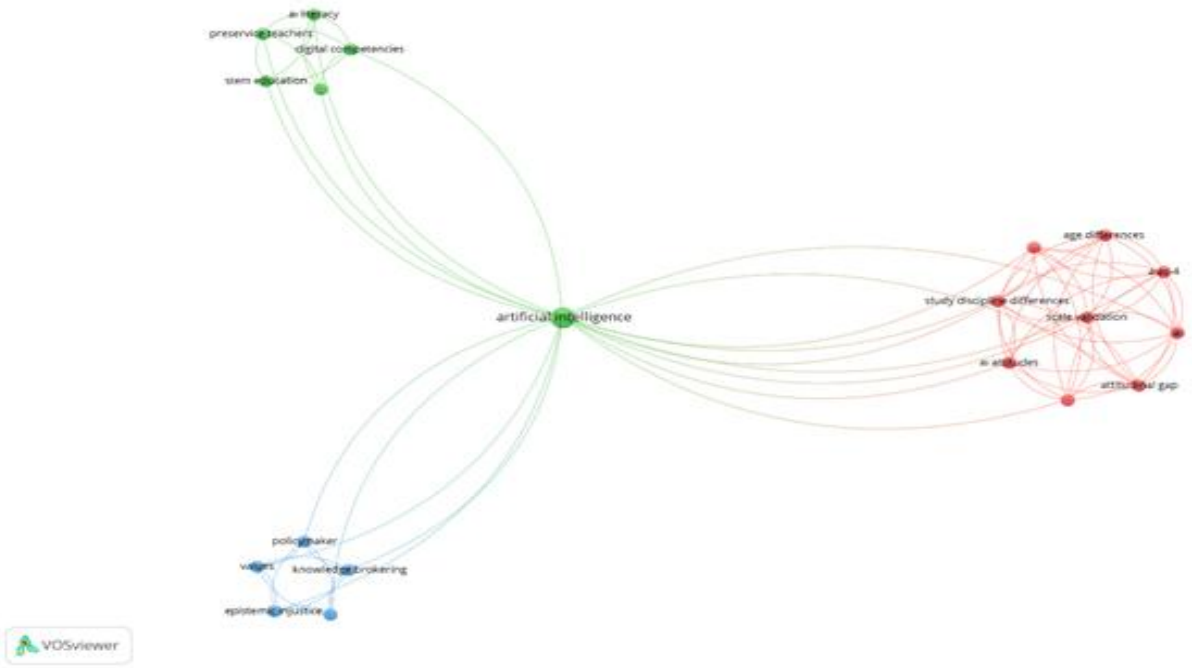
Şekil 9'da görüldüğü üzere, doğa bilimleri alanında en fazla araştırma gerçekleştiren araştırmacılar N. Frantzeskaki, H. Kan ve P. Wulff'tur (n=4). Bu araştırmacıları A. L. Bjerknes, M. Bonatti, D. L. Childers, L. Eufemia, F. A. Hoover, J. Huwer ve T. McPhearson üçer yayınla (n=3) takip etmektedir.



Şekil 10. Scopus'a Göre Doğa Bilimleri Alanında En Fazla Yayın Yapan 10 Ülke

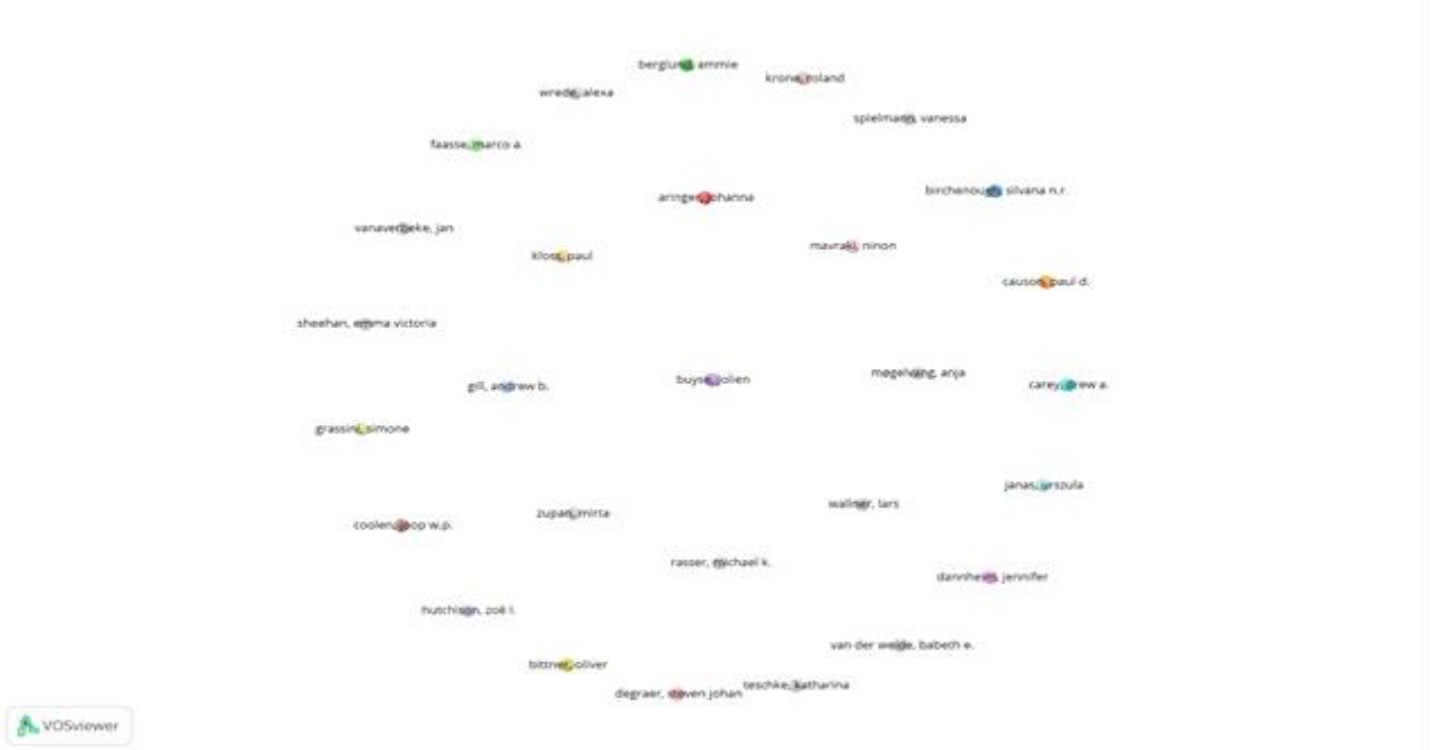
Şekil 10'da görüldüğü üzere, doğa bilimleri alanındaki akademik üretim belirli ülkelerde yoğunlaşmaktadır. Bu kapsamda Almanya, toplam 242 yayınla alanda en fazla yayına sahip ülke olarak öne çıkmaktadır. Almanya'yı İsveç (n=117) ve Rusya (n=109) takip etmektedir. Çekya ise ilk 10 ülke içerisinde 42 yayınla yer almakta ve doğa bilimleri araştırmalarına önemli katkı sağlamaktadır. Bu durum, doğa bilimleri araştırmalarının Baltık Denizi havzası ekseninde belirgin bir bölgesel kümelenme sergilediğini göstermektedir. Baltık Denizi'ne

doğrudan kıyısı bulunmayan Çekya'nın ilk 10 ülke arasında yer alması (n=42), Baltık bölgesiyle ilişkili bilimsel ağlara yalnızca kıyıdaş ülkelerin değil, bölge dışındaki ülkelerin de etkin biçimde katılabildiğini göstermektedir.



Şekil 11. Scopus'ta Doğa Bilimleri Alanında Anahtar Kelime Analizi

Anahtar kelime haritası, doğa bilimleri araştırmalarında kavramsal yoğunluğun bulunduğu alanları ortaya koymaktadır. Analiz sonucunda 20 anahtar kelimenin 3 kümede toplandığı ve toplam 75 bağlantının bulunduğu belirlenmiştir. En sık kullanılan anahtar kelimenin, 3 kez tekrarlanan ve 19 bağlantı gücüne sahip olan "artificial intelligence" olduğu görülmüştür. Bu bulgu, hesaplamalı yaklaşımların, veri temelli yöntemlerin ve disiplinlerarası teknolojik bütünleşmenin doğa bilimleri araştırmalarındaki giderek artan rolünü ortaya koymaktadır. Doğa bilimleri literatürünün geleneksel deneysel yaklaşımların ötesine geçerek yapay zekâ destekli analiz, modelleme ve problem çözme süreçlerine yöneldiği ve alanın dijital dönüşüm süreciyle güçlü biçimde bütünleştiği görülmektedir.



Şekil 12. Scopus'ta Doğa Bilimleri Alanında Yazar Atıf Ağı Analizi

Yazar atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü temelinde birbiriyle ilişkili 28 gözlem birimi bulunmaktadır. Analiz sonucunda toplam 28 küme ve 0 bağlantı belirlenmiştir. Tüm araştırmacıların birer belgesi bulunmakla birlikte, Simone Grassini, Anja Møgelvang, Johanna Aringer, Ammie Berglund ve Lars Wallner dışındaki araştırmacıların her birinin 5 atıfa sahip olduğu ve bu değerin diğer araştırmacılara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, doğa bilimleri alanında bireysel düzeyde etkili çalışmalar bulunmasına rağmen, söz konusu etkinin henüz sistematik bir atıf ağına dönüşmediğini göstermektedir.

Şekil 13. Scopus'ta Doğa Bilimleri Alanında Kurumsal Atıf Ağı Analizi

Kurumsal atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü temelinde birbiriyle ilişkili 21 gözlem birimi bulunmaktadır. Analiz sonucunda toplam 21 küme ve 0 bağlantı belirlenmiştir. Doğa bilimleri alanında tüm kurumların birer belgesi bulunmakla birlikte, Linköping University, Uppsala University, Bergen University ve University of Western Norway Applied Sciences dışındaki kurumların her birinin 5 atıfa sahip olduğu ve bu değerin diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Tüm kurumların yalnızca birer belgeye sahip olması, alanın kurumsal düzeyde henüz sürdürülebilir araştırma hatlarını yeterince geliştirmediğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, Linköping University, Uppsala University, Bergen University ve University of Western Norway Applied Sciences dışındaki kurumların 5 atıfla daha yüksek etki düzeyine ulaşması, bazı kurumların sınırlı sayıda çalışma ile dahi literatürde daha yüksek görünürlük ve etki oluşturabildiğini göstermektedir. Bu durum, doğa bilimleri alanında kurumsal üretkenlikten ziyade çalışmaların niteliği ve tematik özgünlüğünün atıf düzeyleriyle ilişkili olabileceğini; ancak bu etkinin henüz güçlü bir kurumlar arası atıf ağına dönüşmediğini ortaya koymaktadır.

Şekil 14. Scopus'ta Doğa Bilimleri Alanında Ülke Atıf Ağı Analizi

Ülke atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü temelinde birbiriyle ilişkili 8 gözlem birimi bulunmaktadır. Analiz sonucunda toplam 8 küme ve 0 bağlantı belirlenmiştir. Almanya, doğa bilimleri alanında 4 yayınla en yüksek yayın sayısına sahip ülke olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, İsveç ve Norveç dışındaki ülkelerin her birinin 5 atıfa sahip olduğu ve bu değerin diğer ülkelere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Almanya'nın yüksek yayın sayısı (4), ülkenin doğa bilimleri alanındaki güçlü araştırma kapasitesini yansıtmaktadır. Bununla birlikte, İsveç ve Norveç dışındaki ülkelerin daha yüksek atıf düzeyine (5 atıf) sahip olması, bazı ülkelerde üretilen çalışmaların yayın sayısından bağımsız olarak literatürde daha görünür ve etkili olabildiğini göstermektedir. Bu bulgu, doğa bilimleri alanında nicel üretkenlik ile atıf temelli etki arasında doğrudan bir paralellik bulunmadığına ve ülkeler arası akademik etkileşimin güçlendirilmesi için daha bütüncül ve iş birlikçi araştırma yaklaşımlarına ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Web of Science verileri, Baltık ülkelerinde doğa bilimleri yerleşik, dengeli ve süreklilik gösteren bir araştırma yapısına sahip olduğunu göstermektedir. Yayın sayılarının yıllar içerisinde görece istikrarlı bir seyir göstermesi, doğa bilimlerinin kısa dönemli akademik eğilimlerden bağımsız olarak daha uzun süreli bir araştırma geleneğine sahip olduğunu düşündürmektedir. Soriano-Sánchez vd. (2025) de son yıllarda doğa bilimleri alanındaki araştırmalara yönelik ilginin arttığını belirtmektedir.

Ülke dağılımına ilişkin bulgular, özellikle Almanya ve İskandinav ülkelerinin doğa bilimleri alanında öne çıktığını göstermektedir. Bu ülkelerde bilim temelli eğitim politikaları ile çevre, sürdürülebilirlik ve bilimsel

okuryazarlığa yönelik yaklaşımların araştırma gündemine yansıdığı görülmektedir. Avrupa eğitim sistemlerinin önemli bir bölümünde dijital yeterliliklerin ilkokul müfredatlarında disiplinler arası bir tema olarak ele alınması da bu genel dönüşümün bir parçasıdır. Yalap ve Gazioğlu (2023), bazı ülkelerde dijital okuryazarlığın zorunlu bir ders olarak okutulduğunu, bazı ülkelerde ise diğer zorunlu derslerle bütünleştirilerek örtük biçimde öğretildiğini belirtmektedir. Litvanya, İsveç ve diğer Avrupa ülkelerinde dijital yeterliliklerin farklı derslerle bütünleştirilmesi, doğa bilimleri eğitiminin de dijital ve teknolojik dönüşümden bağımsız olmadığını göstermektedir.

Doğa bilimleri alanındaki anahtar kelime analizleri, araştırmaların yalnızca disipliner bilgi üretimine odaklanmadığını; aynı zamanda öğrenci motivasyonu, uzaktan öğrenme, vatandaş bilimi ve yapay zekâ destekli yöntemler gibi pedagojik ve teknolojik boyutları da içerdiğini göstermektedir. Bu durum, doğa bilimleri araştırmalarının disiplinler arası niteliğinin giderek güçlendiğini düşündürmektedir. Özellikle teknolojik araçların bilim eğitimiyle bütünleştirilmesi, öğrencilerin bilimsel kavramları deneyimleyerek öğrenmesine yönelik yeni olanaklar ortaya çıkarmaktadır.

Soriano-Sánchez vd. (2025), doğa bilimleri derslerinde sürükleyici sanal gerçeklik (Immersive Virtual Reality–IVR) kullanımının öğrenci motivasyonunu ve akademik performansı artırabildiğini, bilişsel yükü azaltabildiğini ve bu yöntemin mevcut sınıf ortamlarına entegre edilebilmesi için bir çerçeve sunduğunu belirtmektedir. Araştırmacılara göre IVR, özellikle geleneksel sınıf ortamlarında sıkılan veya derse ilgisi azalan öğrencilerin öğrenmeye yönelik merak ve ilgisini artırabilir. Etkileşim ve sürükleyicilik yoluyla öğrencilerin katılımının desteklenmesi ve gerçek bilimsel deneylerin ya da uzak bölgelerdeki bilimsel ortamların yeniden oluşturulabilmesi, bu teknolojilerin doğa bilimleri eğitimindeki potansiyelini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla doğa bilimleri araştırmalarında teknolojik araçların yalnızca öğretim materyali olarak değil, öğrencilerin bilimsel deneyimlerini zenginleştiren pedagojik araçlar olarak da değerlendirildiği söylenebilir.

Yazar ve kurum atıf ağlarında doğa bilimleri literatürünün daha bütünleşmiş bir akademik etkileşim yapısına sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, ülke düzeyindeki atıf etkisinin Baltık ülkeleri açısından sınırlı olması, bölgesel araştırmaların uluslararası görünürlüğünün artırılması gerektiğine işaret etmektedir. Başka bir ifadeyle, doğa bilimleri alanında araştırma üretimi daha köklü ve istikrarlı bir yapı sergilese de Baltık ülkelerinin küresel bilimsel ağlar içerisindeki görünürlüğünün güçlendirilmesine yönelik fırsatlar bulunmaktadır.

Scopus verileri de genel olarak WoS bulgularını desteklemektedir. Özellikle 2021 sonrasında doğa bilimleri alanındaki yayınlarda gözlenen artış, dijitalleşmenin, veri temelli araştırma yaklaşımlarının ve disiplinler arası

bütünleşmenin alan üzerindeki etkisiyle ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte, 2024 sonrasında gözlenen göreli düşüş dikkatli biçimde değerlendirilmelidir. Bu durum geçici bir yayın dalgalanmasından kaynaklanabileceği gibi, güncel çalışmaların veri tabanlarına henüz tam olarak yansımamış olmasıyla da ilişkili olabilir. Bu nedenle söz konusu değişimin alanın kalıcı bir gerilemesi olarak yorumlanması yerine, daha uzun zaman aralıklarında yapılacak bibliyometrik çalışmalarla izlenmesi uygun olacaktır.

Scopus'taki ülke dağılımı, Baltık Denizi havzası merkezli güçlü bir bölgesel kümelenmeye işaret etmektedir. Baltık Denizi'ne doğrudan kıyısı bulunmayan bazı ülkelerin de araştırma ağlarında görünür olması, bilimsel etkileşimin yalnızca coğrafi yakınlıkla açıklanamayacağını göstermektedir. Bununla birlikte, Scopus'ta yazar, kurum ve ülke atıf ağlarının önemli ölçüde bağlantısız olması, doğa bilimleri alanında dahi uluslararası ve kurumlar arası etkileşimin daha da güçlendirilebileceğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Baltık ülkelerinde doğa bilimleri araştırmaları daha köklü, süreklilik gösteren ve disiplinler arası etkileşime açık bir araştırma yapısı sergilemektedir. Alanın yalnızca bilimsel içerik üretimine değil, öğrenci motivasyonu, dijital öğrenme, yapay zekâ, sanal gerçeklik ve vatandaş bilimi gibi güncel pedagojik ve teknolojik konulara da yönelmesi, doğa bilimleri araştırmalarının kapsamının genişlediğini göstermektedir. Bununla birlikte, Baltık ülkelerinin uluslararası görünürlüğünü artırmak, kurumlar ve ülkeler arasındaki bilimsel etkileşimi güçlendirmek ve bölgesel araştırmaları küresel bilimsel ağlara daha güçlü biçimde bağlamak gelecekteki araştırmalar açısından önemli görülmektedir.

5. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI

Araştırma kapsamında Web of Science ve Scopus veri tabanlarında “natural science” anahtar kelimesi kullanılarak gerçekleştirilen taramalar, ilgili alanın kavramsal kapsamını temsil eden çalışmalara sistematik biçimde ulaşmayı amaçlamıştır. Baltık ülkeleri filtresi, araştırmanın bölgesel odağı doğrultusunda literatürün coğrafi kapsamını sınırlandırmak amacıyla uygulanmıştır. Araştırmanın 2021–2025 yılları arasındaki yayınlarla sınırlandırılması, güncel araştırma eğilimlerinin ve yakın dönemdeki bilimsel gelişmelerin incelenmesini hedeflemektedir. Yalnızca makale türündeki yayınların araştırmaya dâhil edilmesi, hakem değerlendirmesinden geçmiş bilimsel çalışmalar üzerinden analiz gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Sosyal bilimler alanı filtresi, özellikle doğa bilimlerinin eğitimsel, pedagojik ve toplumsal boyutlarına odaklanılması nedeniyle araştırma amacıyla doğrudan ilişkili olmayan teknik ve deneysel çalışmaların kapsam dışında bırakılması için kullanılmıştır. Yalnızca İngilizce dilindeki ve açık erişimli yayınların seçilmesi ise verilerin analiz edilebilirliğini, şeffaflığını ve araştırma sürecinin tekrarlanabilirliğini desteklemeye yönelik tercihlerdir.

KAYNAKLAR

- Abate, T., Tarekegn, G., Alemu, M., Michael, K., & Angell, C. (2024). A Theoretical Model for Measuring Upper Primary School Learners' Scientific Reasoning Abilities in Science. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, *28*(2), 236–249. https://doi.org/10.1080/18117295.2024.2386505
- Bartels, S., & Lederman, J. (2022). What do elementary students know about science, scientists and how they do their work? *International Journal of Science Education*, *44*(4), 627–646. https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2050487
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities.* NSTA Press.
- Cañal, P. (2018). *La didáctica de las ciencias experimentales en la etapa de primaria*. Graó.
- Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (Eds.). (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach* (2nd ed.). Sense Publishers.
- Dereli, A. B. (2024). Bibliometric analysis with Vosviewer. *Communicata, 28*, 1–7. https://doi.org/10.32952/communicata.1517725
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science.* Open University Press.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 133,* 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070
- Erdaş Kartal, E., & Mesci, G. (2022). Learning through teaching: Teaching the nature of scientific inquiry in online outdoor learning environments. International Journal of Assessment Tools in Education, 9(Special Issue), 283-299. https://doi.org/10.21449/ijate.1121814
- Gerard, L., Kidron, A., & Linn, M. C. (2019). Guiding collaborative revision of science explanations. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 14*(3), 291–324. https://doi.org/10.1007/s11412-019-09298-y
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education.* Association for Science Education.
- Lederman, N. G. (2019). Contextualizing the relationship between nature of scientific knowledge and scientific inquiry. *Science & Education, 28*, 249–267. https://doi.org/10.1007/s11191-019-00030-8
- Lotter, L., & Ramnarain, U. (2025). An exploratory study on the use of a flipped classroom model for supporting inquiry-based learning in natural sciences classrooms. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education, 29*(1), 99–112. https://doi.org/10.1080/18117295.2024.2428554

- OECD. (2019). *PISA 2018 results: What students know and can do (Volume I).* OECD Publishing.
- Soriano-Sánchez, J. G., Quijano-López, R., & Saavedra Regalado, M. S. (2025). Methodological strategies to enhance motivation and academic performance in natural sciences didactics: A systematic and meta-analytic review. *Education Sciences*, *15*(10), 1289. https://doi.org/10.3390/educsci15101289
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives.* UNESCO Publishing.
- United Nations. (2023). *The sustainable development goals report 2023: Special edition*. United Nations.
- Yalap, H., & Gazioğlu, M. (2023). Türk Eğitim Sisteminde Dijitalleşmeye Yönelik Uygulamalar. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, *12*(Özel Sayı), 80-90. https://doi.org/10.33206/mjss.1301070

BALTIK ÜLKELERİNDE TEKNOLOJİK OKURYAZARLIK ARAŞTIRMALARININ GELİŞİMİ: KAPSAMLI BİR BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİF

Doç. Dr., Ayşegül AYYILDIZ ASİL[1]/ Doç. Dr., Gülenaz SELÇUK [2]/ Okul Müd., Abdurrahman ASİL[3]

[1]Hakkâri Üniversitesi, Eğitim Bilimleri, aysegulkadi@hakkari.edu.tr, 0000-0003-1958-6104

[2] Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Eğitim Bilimleri, gulenaz.selcuk@cbu.edu.tr, 0000-0002-3578-6010

[3]Selahaddin Eyyubi Ortaokulu, Eğitim Bilimleri, a.rahmanasill@gmail.com, 0000-0002-5709-7160

Özet

Bu çalışma, Baltık ülkeleri bağlamında teknolojik okuryazarlık alanındaki akademik araştırmaların gelişimini, eğilimlerini ve etkileşim yapılarını incelemektedir. Web of Science ve Scopus veri tabanlarında indekslenen yayınlar analiz edilmiş; yayınların yıllara göre dağılımı, ülke, yazar ve kurum bazında üretkenlik düzeyleri ile atıf ağları incelenerek VOSviewer yazılımı aracılığıyla görselleştirilmiştir. Bulgular, Baltık bölgesinde teknolojik okuryazarlık alanındaki araştırmaların ağırlıklı olarak dijital okuryazarlık, yükseköğretim ve dijital teknolojiler üzerine yoğunlaştığını göstermektedir. Anahtar kelime analizleri, teknolojik yeterliklerin özellikle üniversite eğitimi bağlamında pedagojik, bilişsel ve sosyal boyutlarla ilişkili olarak ele alındığını ortaya koymaktadır. Atıf analizlerinde Finlandiya, İsveç ve Almanya öne çıkarken, en fazla atıf alan yazarlar ve kurumlar arasında dikkat çekici bir uluslararası çeşitlilik görülmektedir. Bununla birlikte, yazar, kurum ve ülke düzeyindeki atıf ağlarının parçalı ve büyük ölçüde birbirinden kopuk yapısı, Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanındaki akademik iş birliğinin ve entelektüel etkileşimin sınırlı olduğuna işaret etmektedir. Bu durum, uluslararası iş birliğinin güçlendirilmesine ve ortak araştırma ile yayın stratejilerinin geliştirilmesine duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Baltık ülkeleri, Dijital okuryazarlık, Teknolojik okuryazarlık, VOSviewer; Bibliyometrik analiz.

EVOLUTION OF TECHNOLOGICAL LITERACY RESEARCH IN BALTIC COUNTRIES: A COMPREHENSIVE BIBLIOMETRIC PERSPECTIVE

Assoc. Prof. Dr., Ayşegül AYYILDIZ ASİL[1]/ Assoc. Prof. Dr., Gülenaz SELÇUK [2]/ School Principal, Abdurrahman ASİL[3]

[1]Hakkâri University, Educational Sciences, aysegulkadi@hakkari.edu.tr, 0000-0003-1958-6104

[2] Manisa Celal Bayar University, Educational Sciences, gulenaz.selcuk@cbu.edu.tr, 0000-0002-3578-6010

[3]Selahaddin Eyyubi Secondary School, Educational Sciences, a.rahmanasill@gmail.com, 0000-0002-5709-7160

Abstract

This study examines the development, trends, and interaction structures of academic research on technological literacy in the context of the Baltic countries. Publications indexed in the Web of Science and Scopus databases were analyzed, and publication distributions by year, productivity based on country, author, and institution, as well as citation networks, were visualized using VOSviewer software. The findings show that research on technological literacy in the Baltic region is mainly concentrated on digital literacy, higher education, and digital technologies. Keyword analyses indicate that technological competencies are primarily addressed in relation to pedagogical, cognitive, and social dimensions, particularly within the context of university education. In citation analyses, Finland, Sweden, and Germany stand out as leading countries, while there is notable international diversity among the most highly cited authors and institutions. However, the fragmented and largely disconnected structure of author, institution, and country-level citation networks indicates limited academic collaboration and intellectual interaction in the field of technological literacy in the Baltic countries. This highlights the need for stronger international cooperation and the development of joint research and publication strategies.

Keywords: Baltic countries, Bibliometric analysis, Digital Literacy, Technological Literacy, VOSviewer.

1. GİRİŞ

Teknolojik okuryazarlık, bireylerin teknolojiyi kullanma, yönetme, değerlendirme ve anlama becerilerini kapsayan çok boyutlu bir kavram olarak tanımlanmaktadır (International Technology Education Association [ITEA], 2007). Bu kavram, teknik becerilerin kazanılmasının ötesinde teknolojinin tarihsel gelişimini, toplumsal ve çevresel sonuçlarını ve etik boyutlarını anlamayı da içermektedir (Garmire & Pearson, 2006). Teknolojik açıdan okuryazar bir bireyin teknolojinin ne olduğunu, nasıl geliştirildiğini, nasıl işlediğini ve bireyler ile toplum üzerindeki etkilerini kavraması beklenmektedir. Dolayısıyla teknolojik okuryazarlık yalnızca teknolojik araçların etkili kullanımını değil, aynı zamanda teknolojik yeniliklerin eleştirel biçimde değerlendirilmesini ve teknolojik problemlerin çözüm süreçlerine etkin katılımı da kapsamaktadır.

Dijital teknolojilerin, yapay zekâ uygulamalarının ve bilgi sistemlerinin eğitim ortamlarına giderek daha fazla entegre edilmesi, teknolojik okuryazarlığın kapsamını genişletmiştir. Çağdaş eğitim sistemleri; dijital farkındalık, bilgiyi değerlendirme, veri güvenliği, teknolojinin etik kullanımı ve gelişen teknolojilere eleştirel yaklaşım gibi yeterlilikleri öğrencilere kazandırmayı hedeflemektedir. Bu açıdan teknolojik okuryazarlık, teknolojik ve toplumsal dönüşümlere bağlı olarak sürekli güncellenmesi gereken dinamik bir yeterlilik alanına dönüşmüştür (Doyle vd., 2018; Rossouw vd., 2011). Bununla birlikte fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) eğitimi, teknolojik anlayışın, analitik düşünmenin, yaratıcılığın ve problem çözme becerilerinin geliştirilmesi için disiplinlerarası bir çerçeve sunmaktadır (Bybee, 2013; Capraro vd., 2015).

Eğitim, bireylerin teknolojik yenilikler ile günlük yaşam arasındaki ilişkiyi anlamalarını sağlayarak teknolojik okuryazarlığın geliştirilmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Özellikle teknolojinin öğretim ve öğrenme süreçlerine entegrasyonu, öğrencilerin uygulamalı yeterlilikler geliştirmelerine, araştırmaya dayalı öğrenme süreçlerine katılmalarına ve teknolojik uygulamaları eleştirel biçimde değerlendirmelerine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte bu hedeflere ulaşılması; sistematik eğitim politikalarını, uygun teknolojik altyapıyı, nitelikli öğretmenleri ve teknolojiyi pedagojik açıdan anlamlı biçimde bütünleştiren yaklaşımları gerektirmektedir. Bu nedenle teknolojik okuryazarlık yalnızca bireysel bir beceri olarak değil, daha geniş toplumsal ve ekonomik gelişimle ilişkili stratejik bir eğitim yeterliliği olarak değerlendirilmelidir.

1.1. Kuramsal Çerçeve

1.1.1. Teknolojik Okuryazarlık Kavramı

Teknolojik okuryazarlık, bireylerin teknolojiyi tanıma, anlama, kullanma, yönetme ve değerlendirme yeterliliklerini kapsayan çok boyutlu bir kavramdır. ITEA (2007), teknolojik okuryazarlığı bireyin teknolojiyi kullanabilme, yönetebilme, değerlendirebilme ve anlayabilme kapasitesi üzerinden tanımlamaktadır. Bu tanım,

teknolojik okuryazarlığın yalnızca teknik araçları kullanabilme becerisiyle sınırlandırılamayacağını; teknolojinin doğasını, gelişim süreçlerini ve toplumsal etkilerini anlamayı da içerdiğini ortaya koymaktadır.

Garmire ve Pearson (2006), teknolojik okuryazarlığın teknolojinin tarihsel gelişimi, toplumsal sonuçları, çevresel etkileri ve etik boyutlarıyla birlikte ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda teknolojik okuryazarlık; bilişsel, uygulamalı, eleştirel ve etik boyutları bulunan bütüncül bir yeterlilik alanı olarak değerlendirilebilir. Bireylerin teknolojik araçları etkili kullanmalarının yanı sıra teknolojik gelişmelerin ortaya çıkardığı fırsatları ve olası riskleri değerlendirebilmeleri de bu yeterliliğin önemli bir bileşenidir.

1.1.2. Eğitimde Teknolojik Okuryazarlığın Önemi

Eğitim sistemleri, teknolojik okuryazarlığın geliştirilmesinde önemli bir işleve sahiptir. Teknolojinin öğrenme ortamlarına entegrasyonu, öğrencilerin bilgiye erişme, bilgiyi analiz etme, problem çözme ve teknolojik araçları amaca uygun kullanma becerilerini desteklemektedir. Bununla birlikte teknolojinin eğitimde etkili biçimde kullanılabilmesi, yalnızca teknik altyapının sağlanmasına değil, pedagojik hedeflerle uyumlu öğretim uygulamalarının geliştirilmesine de bağlıdır. Doyle ve arkadaşları (2018) ile Rossouw ve arkadaşları (2011), teknolojik okuryazarlığın bireylerin teknolojiyi bilinçli biçimde kullanmaları ve teknolojinin etkilerini değerlendirmeleri açısından önemine dikkat çekmektedir. Bu bağlamda eğitim ortamlarında teknolojik okuryazarlığın geliştirilmesi; öğretmen yeterliliklerinin güçlendirilmesini, öğretim programlarının güncellenmesini ve teknolojik araçların öğrenme süreçlerine anlamlı biçimde entegre edilmesini gerektirmektedir.

Özellikle dijital teknolojilerin ve yapay zekâ tabanlı uygulamaların yaygınlaşması, teknolojik okuryazarlığın kapsamına veri güvenliği, dijital etik, bilgi doğrulama ve eleştirel dijital farkındalık gibi yeni yeterliliklerin eklenmesini gerekli kılmıştır. Bu gelişmeler, teknolojik okuryazarlığın değişen toplumsal ve teknolojik koşullara bağlı olarak sürekli yeniden ele alınması gereken bir eğitim hedefi olduğunu göstermektedir.

1.1.3. Teknolojik Okuryazarlık ve Disiplinlerarası Yaklaşımlar

Teknolojik okuryazarlık, bilimsel bilgi ile teknolojik uygulamalar arasındaki etkileşim çerçevesinde ele alındığında disiplinlerarası bir nitelik kazanmaktadır. STEM eğitimi, bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik alanlarını bütünleştirerek öğrencilerin teorik bilgilerini uygulamaya dönüştürmelerine ve gerçek yaşam problemlerine çözüm geliştirmelerine olanak tanımaktadır (Bybee, 2013). Capraro ve arkadaşları (2015), STEM yaklaşımının öğrencilerin analitik düşünme, yaratıcılık ve problem çözme becerilerini destekleyen disiplinlerarası bir öğrenme çerçevesi sunduğunu belirtmektedir. Bu yaklaşım, öğrencilerin yalnızca temel

bilişsel becerilerini değil, aynı zamanda karmaşık problemleri farklı disiplinlerin bakış açılarıyla değerlendirme ve çözüm üretme kapasitelerini de geliştirmektedir.

1.1.4. Teknolojik Okuryazarlık Araştırmalarında Güncel Eğilimler

Teknolojik okuryazarlık araştırmaları, teknolojinin eğitim ve toplum üzerindeki etkilerinin çeşitlenmesine paralel olarak farklı disiplinlerde gelişim göstermektedir. Teknoloji eğitimi, dijital yeterlilik, STEM eğitimi, eğitim teknolojileri ve teknolojinin öğretim süreçlerine entegrasyonu bu araştırma alanının ilişkili olduğu başlıca temalar arasında yer almaktadır (Artun, 2016; Garmire & Pearson, 2006; ITEA, 2007; Rossouw vd., 2011). Özellikle dijital teknolojilerin ve yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, teknolojik okuryazarlık araştırmalarında yeni yeterlilik alanlarının tartışılmasını beraberinde getirmiştir. Teknolojik araçların bilinçli kullanımı, dijital bilgilerin eleştirel değerlendirilmesi, veri güvenliği ve etik sorumluluklar, teknolojik okuryazarlığın güncel araştırma gündeminde önem kazanan konular arasındadır.

Araştırma alanının farklı disiplinlere yayılması, teknolojik okuryazarlık çalışmalarının yalnızca konu bakımından değil, bilimsel üretim, atıf ilişkileri ve uluslararası iş birlikleri bakımından da incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu noktada bibliyometrik analiz, araştırma alanının gelişimini nicel göstergeler aracılığıyla değerlendirmeye ve bilimsel bilginin yapısal özelliklerini ortaya koymaya olanak tanımaktadır.

1.1.5. Araştırma Boşluğu

Teknolojik okuryazarlık, teknoloji eğitimi, dijital yeterlilik, STEM eğitimi ve eğitim teknolojileri gibi farklı kuramsal ve pedagojik perspektifler çerçevesinde ele alınmaktadır. Önceki araştırmalar, teknolojik okuryazarlığı bireylerin teknolojik bilgileri, uygulama becerileri, eleştirel düşünme yeterlilikleri, eğitim başarıları ve teknolojik gelişmelerin toplumsal sonuçlarına ilişkin farkındalıklarıyla ilişkilendirmiştir (Artun, 2016; Garmire & Pearson, 2006; ITEA, 2007; Rossouw vd., 2011). Bununla birlikte araştırma alanının farklı disiplinlere ve eğitim bağlamlarına yayılması, çalışmaların bütüncül bir perspektifle değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Tekil araştırmalar belirli konulara ilişkin önemli bulgular sunmakla birlikte, teknolojik okuryazarlık alanının genel bilimsel yapısını, tematik dönüşümünü ve araştırma eğilimlerini tek başına ortaya koyamamaktadır.

Teknolojik okuryazarlık araştırmalarının gelişimini anlamak için yayın sayılarının yanı sıra etkili yazarların, öne çıkan yayınların, tematik kümelerin, atıf ilişkilerinin ve uluslararası iş birliği ağlarının incelenmesi önem taşımaktadır. Bibliyometrik analiz, bilimsel üretimin zamansal gelişimini ve araştırma alanlarının entelektüel yapısını ortaya koymaya yönelik sistematik bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntem aracılığıyla teknolojik okuryazarlık araştırmalarının hangi dönemlerde yoğunlaştığı, hangi konuların bilimsel ilgi gördüğü,

araştırmacılar arasındaki iş birliği ilişkilerinin nasıl şekillendiği ve alanın hangi tematik yönelimler doğrultusunda geliştiği belirlenebilir. Bu nedenle bibliyometrik yaklaşım, teknolojik okuryazarlık literatürünün mevcut durumunu değerlendirmek ve gelecekteki araştırma yönelimlerini belirlemek açısından önemli bir analitik çerçeve sunmaktadır.

Baltık ülkeleri, teknolojik okuryazarlık araştırmalarının bölgesel gelişimini incelemek açısından anlamlı bir araştırma bağlamı sunmaktadır. Bu ülkelerin eğitim sistemlerinde müfredat reformları, öğretmen yetiştirme süreçleri, dijital teknolojilerin eğitime entegrasyonu ve araştırma altyapısının geliştirilmesi gibi alanlarda önemli dönüşümler yaşanmıştır. Bununla birlikte Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık araştırmalarının yayın eğilimleri, entelektüel yapısı, tematik dağılımı ve uluslararası iş birliği örüntülerinin birlikte ele alınması, bölgesel bilimsel üretimin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Bu doğrultuda Baltık ülkeleri özelinde gerçekleştirilecek bibliyometrik bir inceleme, teknolojik okuryazarlık araştırmalarının bölgesel görünümünü ortaya koymayı amaçlayan sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu araştırma kapsamında aşağıdaki sorulara yanıt aranacaktır:

1. Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanında Web of Science ve Scopus veri tabanlarında yayımlanan makalelerin yıllara göre dağılımı nasıldır?
2. Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanında yayımlanan makalelerin yazarlara göre dağılımı nasıldır?
3. Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanında yayımlanan makalelerin ülkelere göre dağılımı nasıldır?
4. Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanında yayımlanan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı ve öne çıkan tematik eğilimler nelerdir?
5. Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanında yayımlanan makalelerin yazar atıf ağı nasıl şekillenmektedir?
6. Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanında yayımlanan makalelerin kurumlar arası atıf ağı nasıl şekillenmektedir?
7. Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanında yayımlanan makalelerin ülkeler arası atıf ağı nasıl şekillenmektedir?

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Deseni

Bu araştırmada, Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanlarında gerçekleştirilen bilimsel yayınların gelişimini incelemek amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bibliyometrik analiz, büyük miktardaki bilimsel verinin sistematik biçimde incelenmesine, araştırma eğilimlerinin belirlenmesine ve

bilimsel üretimin yapısal özelliklerinin ortaya konulmasına olanak sağlayan yaygın ve güçlü bir yöntemdir (Donthu vd., 2021).

2.2. Veri Toplama Aracı ve Süreci

Araştırmanın veri setini oluşturmak amacıyla Web of Science (WoS) ve Scopus veri tabanlarından yararlanılmıştır. Veriler 20 Aralık 2025 tarihinde toplanmıştır. Araştırma kapsamında teknolojik okuryazarlık alanlarına ilişkin yayınlara ulaşmak için her iki veri tabanında ilgili anahtar kelimeler kullanılarak taramalar gerçekleştirilmiştir. Veri toplama sürecinde araştırmanın kapsamını belirlemek ve analiz edilecek yayınların karşılaştırılabilirliğini sağlamak amacıyla ülke, yayın yılı, yayın türü, araştırma alanı, dil ve erişim türü filtreleri uygulanmıştır. Bu doğrultuda elde edilen kayıtlar, araştırmanın kapsamına uygun biçimde aşamalı olarak daraltılmıştır.

2.3. Web of Science Veri Tabanından Elde Edilen Veriler

WoS veri tabanında "technology literacy" anahtar kelimesiyle gerçekleştirilen taramada 21.842 çalışmaya ulaşılmıştır. Baltık ülkeleri filtresi sonucunda 2.696 çalışma elde edilmiştir. 2021–2025 yılları arasındaki yayınların seçilmesiyle sayı 1.405'e, yalnızca makale türündeki yayınların seçilmesiyle 1.111'e düşmüştür. Sosyal bilimler filtresi sonucunda 635, İngilizce dil filtresi sonucunda 577 çalışma elde edilmiştir. Son olarak açık erişim filtresinin uygulanmasıyla toplam 428 makale araştırma kapsamına alınmıştır.

2.4. Scopus Veri Tabanından Elde Edilen Veriler

Scopus veri tabanında "technology literacy" anahtar kelimesiyle gerçekleştirilen taramada 30.321 çalışmaya ulaşılmıştır. Baltık ülkeleri filtresi sonucunda 3.028 çalışma elde edilmiştir. 2021–2025 yılları arasındaki yayınların seçilmesiyle sayı 1.870'e, yalnızca makale türündeki yayınların seçilmesiyle 1.128'e düşmüştür. Sosyal bilimler filtresi sonucunda 605, İngilizce dil filtresi sonucunda 526 çalışma elde edilmiştir. Son olarak açık erişim filtresinin uygulanmasıyla toplam 414 makale araştırma kapsamına alınmıştır.

2.5. Verilerin Analizi

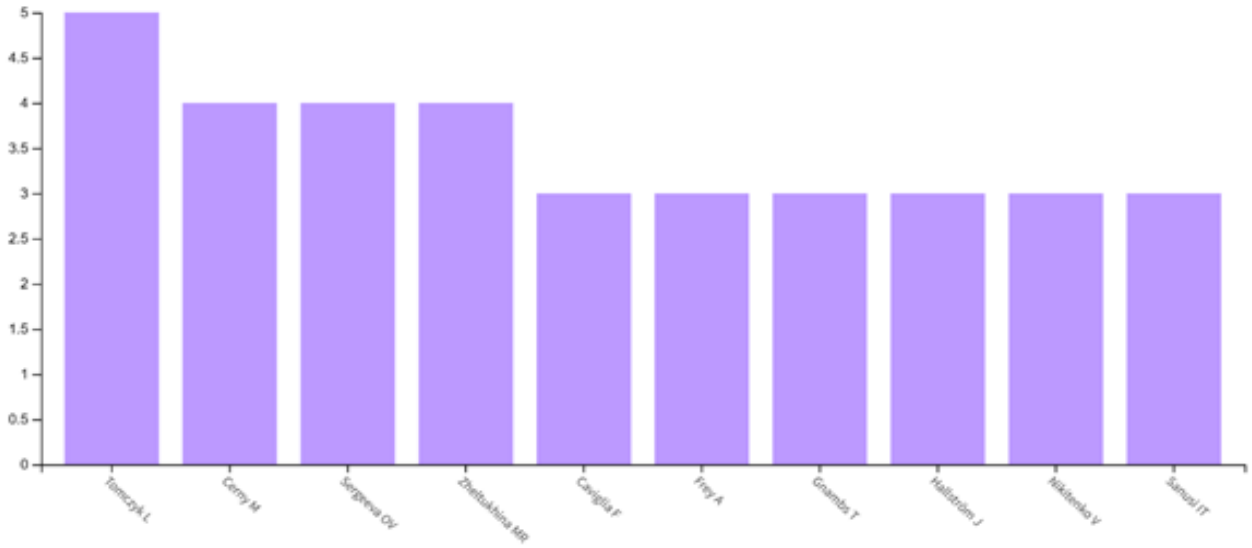
Verilerin analizinde bibliyometrik görselleştirme yazılımı olan VOSviewer 1.6.20 kullanılmıştır. Van Eck ve Waltman tarafından geliştirilen VOSviewer, kullanıcı dostu arayüzü, programlama bilgisi gerektirmemesi ve farklı veri tabanlarından elde edilen dosya formatlarını desteklemesi bakımından bibliyometrik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır (Dereli, 2024).

Araştırma kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda yayınların yıllara, yazarlara ve ülkelere göre dağılımları incelenmiş; anahtar kelime analizleri ile yazar, kurum ve ülke atıf ağları oluşturulmuştur. Bu

analizler aracılığıyla Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık araştırmalarının bilimsel üretim eğilimlerinin, öne çıkan araştırma temalarının ve bilimsel etkileşim örüntülerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

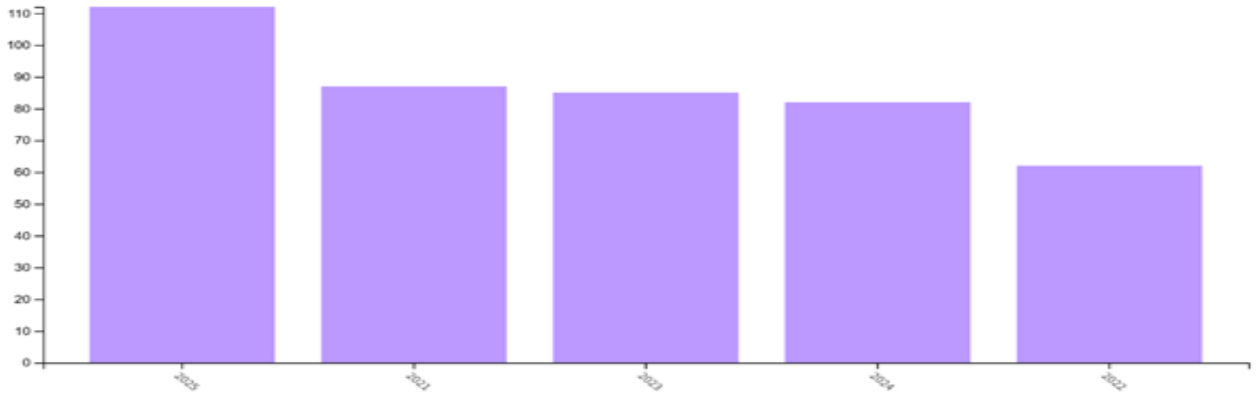
3. BULGULAR

Bu bölümde araştırmanın amacı doğrultusunda elde ediler bulgular yer almaktadır.



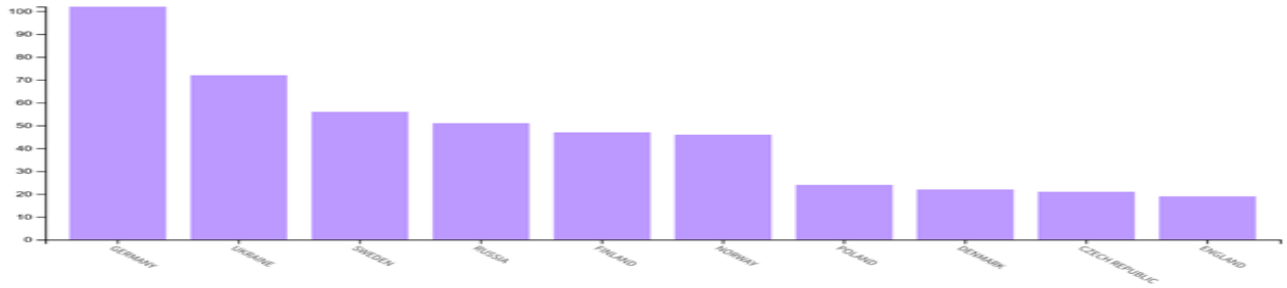
Şekil 1. Web of Science'a Göre Baltık Ülkelerinde Teknolojik Okuryazarlık Alanında Çalışma Yürüten En Çok Yayına Sahip 10 Araştırmacı

Şekil 1'de görüldüğü üzere, teknolojik okuryazarlık alanında en fazla araştırma yapan araştırmacı L. Tomczyk'tir (n = 5). Bunu M. Cerny, OV. Sergeeva ve MR. Zheltukhina 4'er yayınla takip etmektedir. F. Caviglia, A. Frey, T. Gnambs, J. Hallström, V. Nikitenko ve IT Sanusi ise 3'er yayınla listede yer almaktadır. Bu dağılım, teknolojik okuryazarlığın hâlen gelişmekte olan ve farklı disiplinlerle kesişen görece yeni bir araştırma alanı olduğunu göstermektedir. En fazla yayın yapan araştırmacıların dahi sınırlı sayıda yayına sahip olması, teknolojik okuryazarlık kavramının çoğunlukla dijital okuryazarlık, STEM eğitimi, medya okuryazarlığı ve eğitim teknolojileri gibi ilişkili alanlarla birlikte ele alındığını ve bağımsız bir araştırma alanı olarak daha sınırlı düzeyde incelendiğini düşündürmektedir. Bu durum, Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık alanında henüz belirgin bir araştırma ekolünün ortaya çıkmadığını göstermesinin yanı sıra, alanın gelişimi açısından önemli araştırma fırsatlarının bulunduğuna da işaret etmektedir.



Şekil 2. Web of Science'a Göre Baltık Ülkelerinde Teknolojik Okuryazarlık Alanında Son 5 Yılda Yayımlanan Araştırmalar

Şekil 2'de görüldüğü üzere, teknolojik okuryazarlık alanındaki akademik çalışmalar son yıllarda belirgin bir artış eğilimi göstermektedir. En yüksek yayın sayısına 2025 yılında ulaşılmış ve bu dönemde 112 çalışma yayımlanmıştır. Bunu sırasıyla 2021 (n = 87), 2023 (n = 85), 2024 (n = 82) ve 2022 (n = 62) yılları takip etmektedir. Bu bulgu, teknolojik okuryazarlığın giderek daha fazla araştırılan bir konu hâline geldiğini göstermektedir. Yayın sayısındaki artış; dijital dönüşüm süreçleri, yapay zekâ temelli teknolojilerin eğitim ortamlarına entegrasyonu ve 21. yüzyıl becerileri çerçevesinde teknolojik okuryazarlığın eğitim politikaları ve müfredat reformlarıyla daha güçlü biçimde ilişkilendirilmesiyle açıklanabilir. Baltık ülkeleri özelinde değerlendirildiğinde, söz konusu artış eğilimi bölgedeki araştırmacıların teknolojik okuryazarlık alanındaki uluslararası literatürle daha güçlü biçimde bütünleşmesine ve bölgesel özgünlüğe sahip çalışmalar üretmesine yönelik önemli bir potansiyele işaret etmektedir.

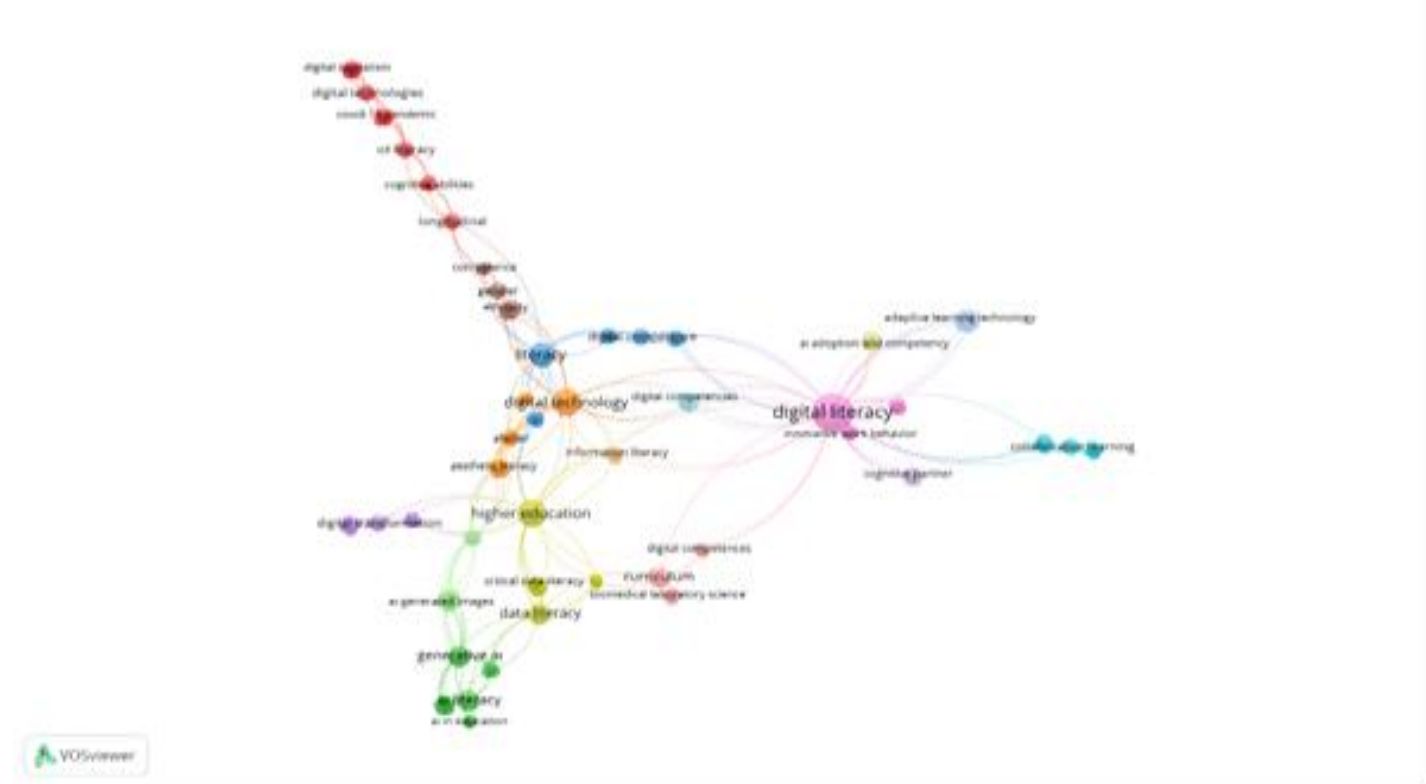


Şekil 3. Web of Science'a Göre Teknolojik Okuryazarlık Alanında En Fazla Yayın Yapan 10 Ülke

Şekil 3'te görüldüğü üzere, teknolojik okuryazarlık alanında en fazla yayına sahip ülke Almanya olup toplam 102 çalışma ile ilk sırada yer almaktadır. Almanya'yı Ukrayna (n = 72) takip etmektedir. İsveç (n = 56), Rusya (n = 51), Finlandiya (n = 47) ve Norveç (n = 46) de yüksek yayın sayılarıyla öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra

Polonya (n = 24), Danimarka (n = 22), Çekya (n = 21) ve İngiltere (n = 19) teknolojik okuryazarlık araştırmalarına önemli katkılar sağlayan diğer ülkeler arasında yer almaktadır.

Almanya ve İskandinav ülkelerinin öne çıkması, bu ülkelerde uzun süredir uygulanmakta olan dijital eğitim politikalarının, öğretmen yetiştirme programlarının ve teknoloji destekli öğrenme yaklaşımlarının araştırma gündemlerine güçlü biçimde yansımasıyla ilişkili olabilir. Ukrayna ve Rusya'daki yüksek yayın sayıları ise teknolojik okuryazarlığın Doğu Avrupa ve Avrasya coğrafyasında toplumsal dönüşüm, dijital eşitsizlikler ve eğitim sistemlerinin modernleştirilmesi bağlamında önemli bir araştırma alanı olarak ele alındığını göstermektedir. Bu durum, söz konusu ülkelerde eğitim yoluyla teknolojik yeterliliklerin geliştirilmesine yönelik akademik ve politik ilginin artmasıyla ilişkili olabilir.



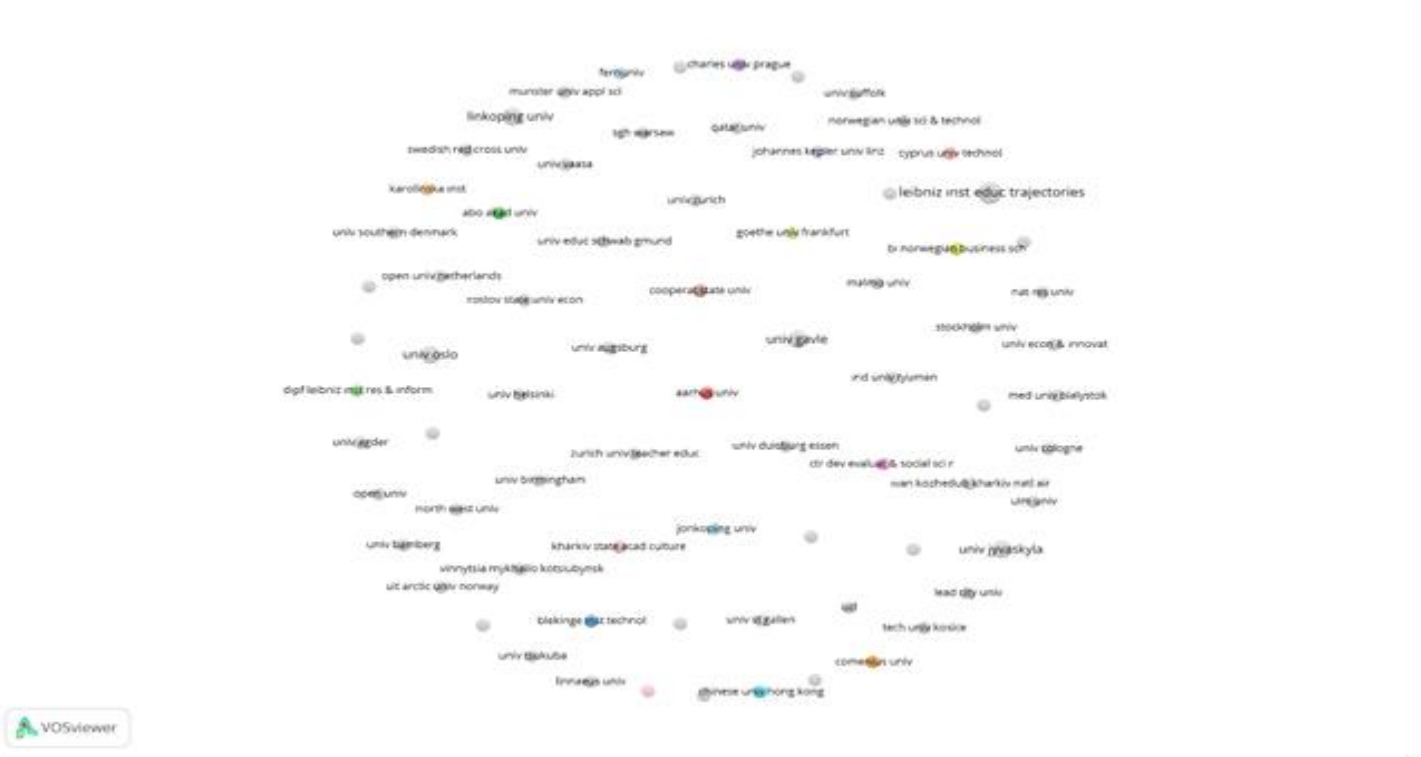
Şekil 4. Baltık Ülkelerinde Teknolojik Okuryazarlık Alanında Anahtar Kelime Analizi (WoS)

Anahtar kelime haritası, teknolojik okuryazarlık alanındaki araştırmaların tematik yapılanmasını ortaya koymaktadır. Analiz sonucunda 128 anahtar kelimenin 16 kümede toplandığı, ağda 402 bağlantı bulunduğu ve toplam bağlantı gücünün 406 olduğu belirlenmiştir. En sık kullanılan anahtar kelimeler digital literacy (n = 10), higher education ve digital technology (n = 5) ve literacy (n = 4) olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, Baltık ülkelerinde teknolojik yeterliliklerin özellikle yükseköğretim bağlamında pedagojik, bilişsel ve toplumsal

boyutlarıyla ele alındığını göstermektedir. Ayrıca araştırmaların öğretmen eğitimine, üniversite öğrencilerinin dijital yeterliliklerine ve teknolojinin akademik bağlamda kullanımına odaklandığı görülmektedir.

Şekil 5. Baltık Ülkelerinde Teknolojik Okuryazarlık Alanında Yazar Atıf Ağı Analizi (WoS)

Yazar atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü esas alındığında ağ 105 birimden oluşmakta; toplam 105 küme ve 0 bağlantı bulunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre WoS kapsamında teknolojik okuryazarlık alanında en fazla atıf alan yazarlar Zubair Ahmad, Thomas Chiu, Ismaila Temitayo Sanusi ve Morad Ismailov olup, bu araştırmacıların her birinin 104 atıfı bulunmaktadır. Bununla birlikte, Timo Gnambs, Karin Stolpe ve Lena Magnusson'un teknolojik okuryazarlık literatürüne ikişer belgeyle katkı sağladığı belirlenmiştir. Yazarların birbirleriyle ağ içerisinde bağlantı kurmaması, teknolojik okuryazarlık literatüründeki entelektüel etkileşimin sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu durum, Baltık ülkeleri açısından akademik konumlanma, görünürlük ve araştırmacılar arası bilimsel etkileşimin geliştirilmesine yönelik bir alan bulunduğuna işaret etmektedir.



Şekil 6. Baltık Ülkelerinde Teknolojik Okuryazarlık Alanında Kurumsal Atıf Ağı Analizi (WoS)

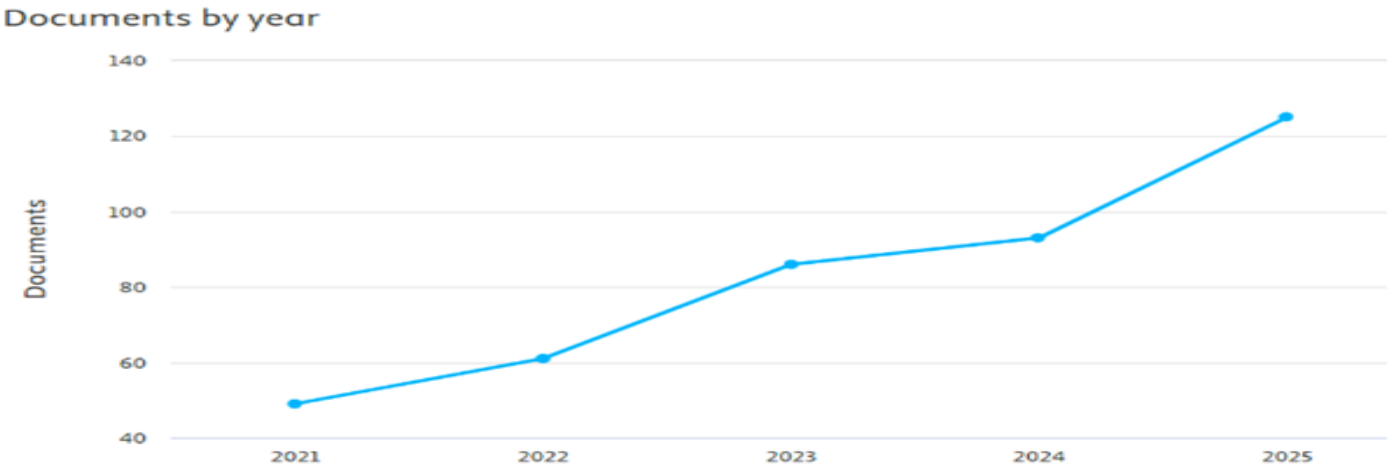
Kurumsal atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü esas alındığında ağ 75 birimden oluşmakta; toplam 75 küme ve 0 bağlantı bulunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre teknolojik okuryazarlık alanında en fazla atıf alan kurumlar Chinese University of Hong Kong, University of Eastern Finland, Qatar University ve University of Tsukuba olup, bu kurumların her biri 104 atıf almıştır. En fazla belgeye sahip kurum ise Leibniz Institute for Educational Trajectories olup toplam 3 belge ile öne çıkmaktadır.

Söz konusu kurumların farklı coğrafi bölgelerde (Doğu Asya, Kuzey Avrupa, Orta Doğu ve Japonya) yer alması, teknolojik okuryazarlık alanındaki atıf etkisinin belirli bir ülke veya bölgeyle sınırlı olmadığını; küresel ölçekte dağınık ancak etkili araştırma merkezleri aracılığıyla şekillendiğini göstermektedir. Bununla birlikte, en fazla atıf alan kurumların ağ içerisinde birbirleriyle bağlantılı olmaması, teknolojik okuryazarlık literatüründe kurumlar arası akademik etkileşimin ve karşılıklı atıf ilişkilerinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, Leibniz Institute for Educational Trajectories, üç belge ile en fazla yayın üreten kurum olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu kurumun yayın sayısı bakımından öne çıkmasına rağmen atıf etkisi açısından ilk sıralarda yer almaması, teknolojik okuryazarlık alanında yayın üretkenliği ile atıf etkisinin her zaman örtüşmediğini göstermektedir. Bu durum, Baltık ülkeleri açısından kurumlar arası iş birliğinin güçlendirilmesi ve ortak yayın stratejilerinin geliştirilmesi gereken bir alanın bulunduğuna işaret etmektedir.

Şekil 7. Baltık Ülkelerinde Teknolojik Okuryazarlık Alanında Ülke Atıf Ağı Analizi (WoS)

Ülke atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü esas alındığında ağda 24 birim bulunmakta; toplam 24 küme ve 0 bağlantı tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre teknolojik okuryazarlık alanında en fazla atıf alan ülke 271 atıf ile Finlandiyadır. Finlandiya'yı İsveç ve Almanya takip etmektedir. En fazla belgeye sahip ülke ise 16 belge ile Almanyadır. Almanya'yı sırasıyla İsveç, Finlandiya ve Norveç takip etmektedir.

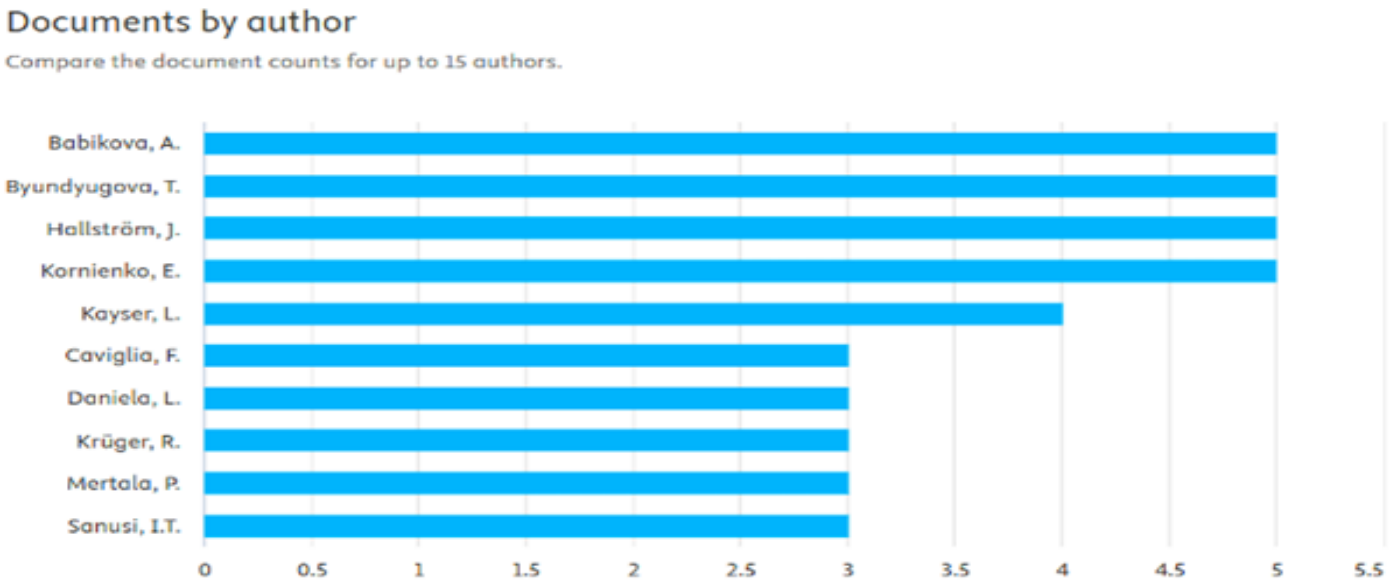
Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Finlandiya ve İsveç'in daha sınırlı sayıda ancak yüksek atıf etkisine sahip çalışmalar ürettiği, Almanya'nın ise daha yüksek niceliksel üretim sergilediği ve atıf etkisi açısından daha dengeli bir profile sahip olduğu görülmektedir. Ülkeler arasındaki atıf ağlarının zayıf olması, Baltık ülkeleri açısından çok uluslu araştırma projelerinin ve ortak yayın stratejilerinin geliştirilmesine yönelik gereksinime işaret etmektedir.



Şekil 8. Scopus'a Göre Son 5 Yılda Teknolojik Okuryazarlık Araştırmalarının Dağılımı

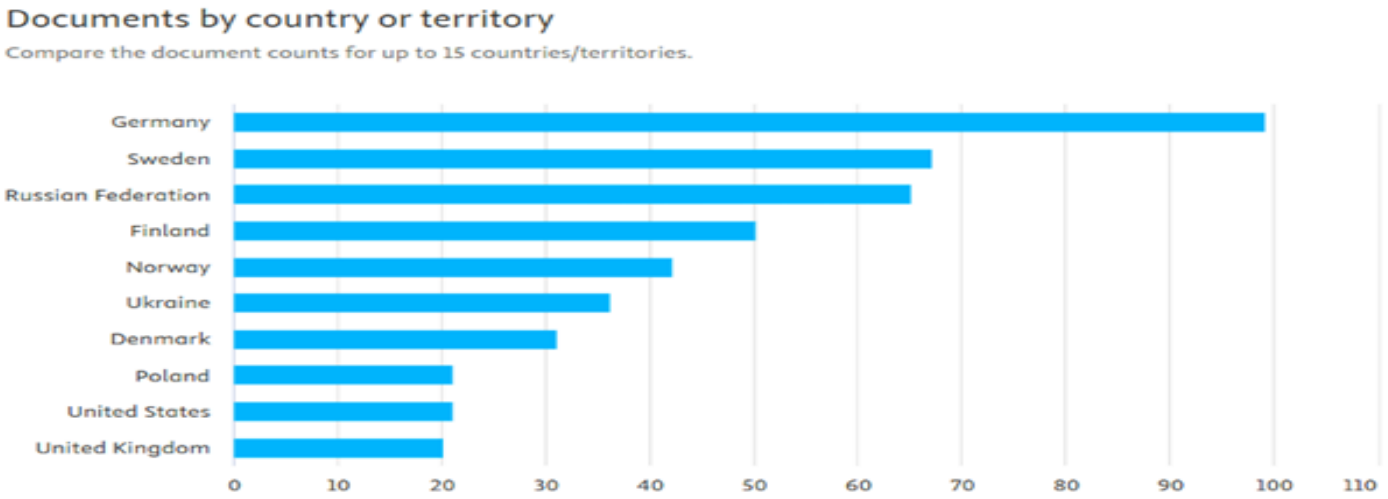
Şekil 8'de görüldüğü üzere, teknolojik okuryazarlık alanındaki akademik çalışmalar 2021 yılından itibaren belirgin bir artış eğilimi göstermektedir. En yüksek yayın sayısına 2025 yılında ulaşılmış ve bu dönemde 125 çalışma yayımlanmıştır. Bunu 2024 (n = 93) ve 2023 (n = 86) yılları takip etmektedir.

Teknolojik okuryazarlık alanındaki akademik çalışmaların 2021 yılından itibaren önemli ölçüde artması, eğitim sistemlerinde dijital dönüşümün hızlanması ve teknoloji temelli yeterliliklerin stratejik öneminin artmasıyla ilişkilendirilebilir. Bu bulgu, teknolojik okuryazarlığın önümüzdeki yıllarda da eğitim araştırmalarında öncelikli ve dinamik bir çalışma alanı olmaya devam edeceğine işaret etmektedir.



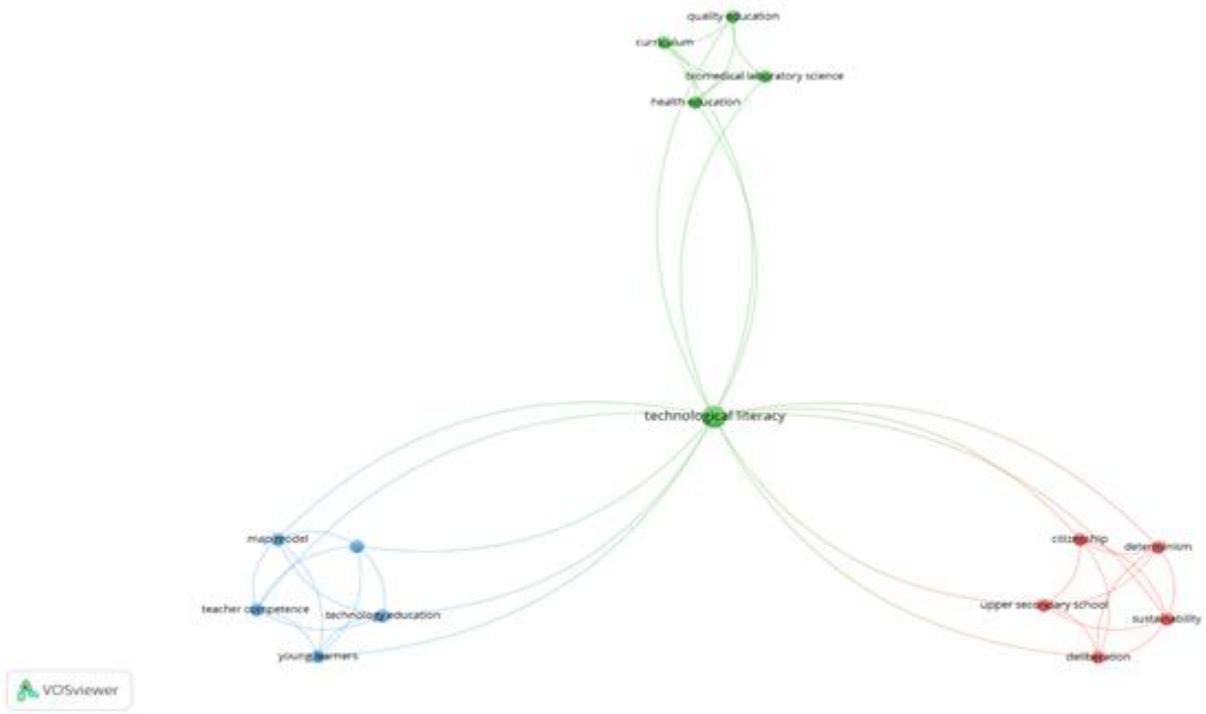
Şekil 9. Scopus'a Göre Teknolojik Okuryazarlık Alanında En Çok Yayın Yapan 10 Araştırmacı

Şekil 9'da görüldüğü üzere, teknolojik okuryazarlık alanında en fazla araştırma gerçekleştiren araştırmacılar A. Babikova, T. Byundyugova, J. Hallström ve E. Kornienko olup, her birinin 5 yayını (n = 5) bulunmaktadır. Bu araştırmacıları L. Kayser (n = 4) ile F. Caviglia, L. Daniela, R. Krüger, P. Mertala ve I. Sanusi T. (n = 3) takip etmektedir. Araştırmacıların Baltık ülkeleriyle ilişkili olması, bölgenin teknolojik okuryazarlık alanında özgün bir bilgi üretim merkezi olarak gelişmeye başladığını göstermektedir.



Şekil 10. Scopus'a Göre Teknolojik Okuryazarlık Araştırmalarında En Fazla Yayına Sahip 10 Ülke

Şekil 10'da görüldüğü üzere, teknolojik okuryazarlık alanındaki akademik üretim belirli ülkelerde yoğunlaşmaktadır. Bu kapsamda Almanya, toplam 99 çalışma ile alanda en fazla yayına sahip ülkedir. Almanya'yı İsveç (n = 67) ve Rusya (n = 65) takip etmektedir. Birleşik Krallık, ilk 10 ülke içerisinde 20 yayın (n = 20) ile teknolojik okuryazarlık araştırmalarına önemli katkı sağlayan ülkeler arasında son sırada yer almaktadır. Bu bulgu, teknolojik okuryazarlık araştırmalarının özellikle Baltık Denizi havzası ve çevresindeki coğrafyada yoğunlaştığını göstermektedir. Birleşik Krallık'ın ilk 10 ülke arasında yer alması, Baltık bölgesi dışındaki ülkelerin de alana katkı sunduğunu; bununla birlikte bilimsel üretimin ağırlıklı olarak bölgesel bir merkez etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 11. Scopus'ta Teknolojik Okuryazarlık Alanında Anahtar Kelime Analizi

Anahtar kelime haritası, teknolojik okuryazarlık alanındaki araştırmaların kavramsal yoğunlaşma alanlarını ortaya koymaktadır. Analiz sonucunda 15 anahtar kelimenin 3 kümede toplandığı ve aralarında 40 bağlantı bulunduğu belirlenmiştir. En sık kullanılan anahtar kelimeler technological literacy (n = 3), digital peacebuilding, digital competence ve higher education (n = 2) olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelime analizi, teknolojik okuryazarlık araştırmalarının sınırlı sayıda kavram etrafında yoğunlaştığını ve alanın hâlen görece dar bir tematik çerçevede gelişmekte olduğunu göstermektedir. En sık kullanılan anahtar kelimelerin teknolojik okuryazarlık, dijital yeterlilik ve yükseköğretim olması, çalışmaların ağırlıklı olarak yükseköğretim düzeyine ve bireysel dijital yeterliliklere odaklandığını göstermektedir. Buna karşılık, Baltık ülkelerinin eğitim sistemlerine, kültürel bağlamlarına ve dijital dönüşüm politikalarına özgü kavramların anahtar kelime haritasında sınırlı biçimde temsil edilmesi, literatürde bölgeye özgü kavramsal bir boşluğa işaret etmektedir.

Digital peacebuilding gibi sosyal ve etik boyutlara sahip kavramların yalnızca sınırlı sayıdaki çalışmada yer alması ise Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlığın toplumsal bütünleşme, demokratik katılım ve dijital vatandaşlık bağlamlarında ele alınmasına yönelik yeni araştırmalar açısından önemli bir potansiyel bulunduğunu göstermektedir.

Şekil 12. Scopus'ta Teknolojik Okuryazarlık: Yazar Atıf Ağı Analizi

Yazar atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü esas alındığında 8 birim arasında ilişki bulunduğu; toplam 8 küme ve 0 bağlantı olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre teknolojik okuryazarlık alanındaki araştırmacıların her birinin 1 belgesi ve 1 atıfı bulunmaktadır.

Yazar atıf ağı analizi, teknolojik okuryazarlık alanındaki akademik etkileşimin oldukça sınırlı ve parçalı bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Her araştırmacının yalnızca bir belgeye ve bir atıfa sahip olması, alanın henüz gelişiminin erken aşamalarında olduğunu ve güçlü bir çekirdek araştırmacı grubunun oluşmadığını göstermektedir. Bu bulgu, teknolojik okuryazarlık literatüründe kuramsal sürekliliğin ve karşılıklı akademik etkileşimin güçlendirilmesi için daha fazla iş birliğine ve bütüncül araştırma çerçevelerine ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 13. Scopus'ta Teknolojik Okuryazarlık Kurumsal Atıf Ağı Analizi

Kurumsal atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü esas alındığında 4 birim arasında ilişki bulunduğu; toplam 4 küme ve 0 bağlantı olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre kurumların teknolojik okuryazarlık alanında 1 belge ve 1 atıfa sahip olduğu görülmektedir.

Kurumsal atıf ağı analizi, teknolojik okuryazarlık alanında kurumsal düzeydeki akademik etkileşimin oldukça sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. En az bir yayın ve bir atıf ölçütüne göre oluşturulan ağda dört birim bulunmasına rağmen, bu birimlerin 4 ayrı küme oluşturması ve aralarında herhangi bir bağlantının bulunmaması, kurumların teknolojik okuryazarlık çalışmalarını birbirinden bağımsız ve dağınık biçimde yürüttüğünü göstermektedir. Her kurumun yalnızca bir belge ve bir atıfa sahip olması, alanın kurumsal iş birlikleri ve ortak araştırma ağları bakımından hâlen gelişim aşamasında olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, özellikle Baltık ülkeleri bağlamında teknolojik okuryazarlık alanında kurumlar arası iş birliğini güçlendirecek ortak projelere ve ağ temelli araştırma yaklaşımlarına duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Şekil 14. Scopus'ta Teknolojik Okuryazarlık Ülke Atıf Ağı Analizi

Ülke atıf ağına ilişkin analiz sonuçlarına göre, en az bir yayın ve en az bir atıf ölçütü esas alındığında 3 birim arasında ilişki bulunduğu; toplam 3 küme ve 0 bağlantı olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre Finlandiya, teknolojik okuryazarlık alanında en fazla atıf alan ülkedir.

Her ülkenin ayrı bir küme oluşturması ve ülkeler arasında herhangi bir atıf bağlantısının bulunmaması, ülkeler arasındaki akademik etkileşimin ve bilgi alışverişinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Finlandiya'nın en fazla atıf alan ülke olarak öne çıkması, ülkedeki uzun süredir devam eden eğitim geleneği ve teknolojik okuryazarlık ile dijital yeterlilikler alanlarındaki araştırma birikimiyle ilişkilendirilebilir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Web of Science verileri, Baltık ülkelerinde teknolojik okuryazarlık araştırmalarının henüz gelişimin erken aşamalarında olduğunu ve alanın sınırlı sayıdaki araştırmacı tarafından temsil edildiğini göstermektedir. En fazla yayın yapan araştırmacıların dahi yayın sayılarının düşük olması, teknolojik okuryazarlığın henüz bağımsız ve kurumsallaşmış bir araştırma alanı olarak tam anlamıyla yapılandırılmadığını düşündürmektedir. Alanın dijital okuryazarlık, STEM eğitimi ve eğitim teknolojileri gibi yakın araştırma alanlarıyla kesişmesi de bu durumu desteklemektedir. Bybee (2013) STEM eğitimi aracılığıyla bilimsel bilginin teknolojik uygulama süreçleriyle bütünleştirilmesinin öğrencilerin eleştirel, yaratıcı ve analitik düşünme becerilerini geliştirdiğini

belirtmektedir. Benzer biçimde Capraro vd. (2015), STEM eğitiminin öğrencilere üst düzey düşünme becerileri kazandırdığını ve disiplinlerarası bir bakış açısı geliştirdiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda teknolojik okuryazarlığın bağımsız bir alan olmaktan ziyade STEM, dijital yeterlilik ve eğitim teknolojileri gibi daha geniş çerçeveler içerisinde ele alınması, alanın kavramsal gelişim sürecinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Bununla birlikte, son beş yılda yayın sayılarında gözlenen belirgin artış, teknolojik okuryazarlığın giderek daha fazla önem kazanan bir araştırma alanına dönüştüğünü göstermektedir. Özellikle dijital dönüşüm, yapay zekâ destekli öğrenme ortamlarının yaygınlaşması ve 21. yüzyıl becerilerine yönelik artan ilgi, teknolojik yeterliliklerin eğitim araştırmalarındaki önemini artırmıştır. Norhagen vd. (2024), Norveç öğretmen eğitiminde Profesyonel Dijital Yeterlik (Professional Digital Competence–PDC) çerçevesinin ulusal düzenlemelere dâhil edilmesinin ardından araştırma ve yayın faaliyetlerinde genel bir artış görüldüğünü; özellikle 2019–2020 yılları arasında dikkat çekici bir yükseliş yaşandığını belirtmektedir. Bu sonuç, dijital yeterliliklerin eğitim politikaları ve öğretmen eğitimi içerisinde kurumsal bir çerçeveye kavuşmasının akademik üretimi de destekleyebildiğini göstermesi bakımından mevcut bulgularla örtüşmektedir.

Ülke dağılımına ilişkin bulgular incelendiğinde Almanya ve İskandinav ülkelerinin teknolojik okuryazarlık alanında öne çıktığı görülmektedir. Bu durum, söz konusu ülkelerde uzun süredir uygulanan dijital eğitim politikalarının ve teknoloji temelli öğretmen eğitimi yaklaşımlarının araştırma gündemlerine yansımasıyla ilişkili olabilir. Almanya'da Eğitim ve Kültür Bakanları Daimi Konferansı (KMK), dijital dönüşümün eğitim üzerindeki etkilerini dikkate alarak Aralık 2016'da “Education in the Digital World” stratejisini ortaya koymuştur. Daha sonraki süreçte, bu stratejinin temel konularından biri olan eğitimde dijital dönüşümün ele alınması amacıyla Ocak 2022'de ilgili bir komisyon oluşturulmuştur (KMK, 2025). Bu politika yöneliminin Almanya'nın teknolojik okuryazarlık araştırmalarındaki yüksek yayın üretimiyle birlikte değerlendirilmesi, eğitimde dijital yeterliliklerin politika düzeyinde önceliklendirilmesinin akademik araştırma gündemiyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Benzer şekilde, İskandinav ülkelerinde öğretmen eğitimine ilişkin ulusal standartlarda dijital pedagojik yeterliliklerin açık biçimde tanımlanması ve bu yeterliliklerin hem araştırma hem de uygulama alanlarında yaygın biçimde ele alınması, bölgedeki akademik üretimin yoğunlaşmasında etkili olan faktörlerden biri olarak değerlendirilebilir (Redecker, 2017). Lisborg vd. (2021) de Danimarka, İsveç, Norveç ve Finlandiya'daki öğretmen eğitimi programlarında dijital yeterliliklerin giderek daha kapsamlı biçimde ele alındığını; başlangıçta bilgi ve iletişim teknolojileri ekseninde şekillenen yaklaşımın zaman içerisinde dijital teknolojilerin eleştirel, sosyal ve yaratıcı boyutlarını ve bilgi işlem yeterliliklerini de kapsayacak şekilde genişlediğini belirtmektedir.

Erstad vd. (2021) ise Norveç, İsveç ve Finlandiya'daki müfredat geliştirme eğilimlerini inceleyerek dijital yeterliliğin giderek daha karmaşık bir kavram hâline geldiğini ve 21. yüzyıl eğitimiyle güçlü biçimde ilişkilendirildiğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelime analizleri, teknolojik okuryazarlık araştırmalarının ağırlıklı olarak dijital yeterlilik, yükseköğretim ve pedagojik bağlamlar çevresinde yoğunlaştığını göstermektedir. Buna karşılık, Baltık ülkelerinin özgün sosyo-kültürel yapısını, eğitim politikalarını ve dijital dönüşüm süreçlerini doğrudan yansıtan kavramların sınırlı olması, bölgesel bağlamın literatürde yeterince görünür olmadığını düşündürmektedir. Özellikle Scopus verilerinde teknolojik okuryazarlık, dijital yeterlilik ve yükseköğretim kavramlarının öne çıkması, çalışmaların önemli ölçüde bireysel dijital yeterlilikler ve yükseköğretim bağlamında yoğunlaştığını göstermektedir.

Yazar, kurum ve ülke atıf ağlarında bağlantıların bulunmaması veya son derece sınırlı olması, teknolojik okuryazarlık alanındaki entelektüel etkileşimin, karşılıklı atıf ilişkilerinin ve kurumsal iş birliklerinin zayıf olduğunu göstermektedir. Özellikle Scopus analizlerinde yazar ve kurumların ayrı kümeler oluşturması, alanın henüz güçlü bir akademik çekirdek etrafında bütünleşmediğini ortaya koymaktadır. Norhagen vd. (2024), PDC alanında zaman içerisinde ulusal ve uluslararası araştırma iş birliklerinin arttığını, buna karşılık yerel iş birliklerinin azaldığını belirtmektedir. Araştırmacılar bu değişimi araştırma çerçevesinin henüz yeni olması, araştırma faaliyetlerinin küreselleşmesi, fon olanakları ve küresel sorunlara yönelik daha geniş iş birliklerine duyulan gereksinim gibi faktörlerle ilişkilendirmektedir. Bu açıklama, teknolojik okuryazarlık alanında gözlenen dağınık akademik yapı açısından da anlamlı bir karşılaştırma sunmaktadır.

WoS ve Scopus bulguları birlikte değerlendirildiğinde, teknolojik okuryazarlık araştırmalarının niceliksel olarak büyüyen ancak kuramsal ve kurumsal açıdan henüz bütünleşme sürecinde olan bir alan olduğu görülmektedir. Yayın sayılarındaki artış alanın giderek daha fazla önem kazandığını gösterirken, sınırlı anahtar kelime çeşitliliği ve zayıf yazar, kurum ve ülke atıf ağları alanın henüz güçlü ve sürdürülebilir bir bilimsel çekirdek oluşturmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle Baltık ülkeleri bağlamında teknolojik okuryazarlığın yalnızca dijital yeterlilikler veya yükseköğretim ekseninde değil; öğretmen eğitimi, dijital vatandaşlık, yapay zekâ, sosyal katılım, eğitim politikaları ve bölgesel dijital dönüşüm gibi farklı boyutlarla birlikte incelenmesi alanın kavramsal gelişimine katkı sağlayabilir.

5. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI

Araştırmanın sınırlılıkları, bibliyometrik analizin geçerliliğini, karşılaştırılabilirliğini ve analitik tutarlılığını sağlamak amacıyla belirlenen metodolojik tercihler doğrultusunda oluşturulmuştur. Araştırma kapsamında Web

of Science ve Scopus veri tabanlarında “technology literacy” anahtar kelimeleri kullanılarak gerçekleştirilen taramalar, ilgili alanın kavramsal kapsamını temsil eden çalışmalara sistematik biçimde ulaşmayı amaçlamıştır. Baltık ülkeleri filtresi, araştırmanın bölgesel odağı doğrultusunda literatürün coğrafi kapsamını sınırlandırmak amacıyla uygulanmıştır.

Araştırmanın 2021–2025 yılları arasındaki yayınlarla sınırlandırılması, güncel araştırma eğilimlerinin ve yakın dönemdeki bilimsel gelişmelerin incelenmesini hedeflemektedir. Yalnızca makale türündeki yayınların araştırmaya dâhil edilmesi, hakem değerlendirmesinden geçmiş bilimsel çalışmalar üzerinden analiz gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır.

Sosyal bilimler alanı filtresi, özellikle teknolojik okuryazarlığın eğitimsel, pedagojik ve toplumsal boyutlarına odaklanılması nedeniyle araştırma amacıyla doğrudan ilişkili olmayan teknik ve deneysel çalışmaların kapsam dışında bırakılması için kullanılmıştır. Yalnızca İngilizce dilindeki ve açık erişimli yayınların seçilmesi ise verilerin analiz edilebilirliğini, şeffaflığını ve araştırma sürecinin tekrarlanabilirliğini desteklemeye yönelik tercihlerdir.

KAYNAKLAR

- Artun, H. (2016). Examining the influence of projects carried out with technological tools on preservice teachers' levels of environmental literacy. *Journal of Baltic Science Education, 15*(2), 173–184.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (Eds.). (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach* (2nd ed.). Sense Publishers.
- Dereli, A. B. (2024). Bibliometric analysis with Vosviewer. *Communicata, 28*, 1–7. https://doi.org/10.32952/communicata.1517725
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 133,* 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070
- Doyle, A., Seery, N., Gumaelius, L., Canty, D., & Hartell, E. (2019). Reconceptualising PCK research in D&T education: Proposing a methodological framework to investigate enacted practice. *International Journal of Technology and Design Education, 29*, 473–491. https://doi.org/10.1007/s10798-018-9456-1
- Erstad, O., Kjällander, S., & Järvelä, S. (2021). Facing the challenges of 'digital competence': A Nordic agenda for curriculum development for the 21st century. *Nordic Journal of Digital Literacy, 16*(2), 77–87. https://doi.org/10.18261/issn.1891-943x-2021-02-04
- Garmire, E., & Pearson, G. (2006). *Tech tally: Approaches to assessing technological literacy.* National Academies Press.
- International Technology Education Association (ITEA). (2007). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology* (3rd ed.). International Technology Education Association.
- Kultusministerkonferenz (KMK). (2025). *Jahresbericht der Kultusministerkonferenz zur Bildung in der digitalen Welt (Beschluss der KMK vom 18.12.2025): Berichtszeitraum 01.08.2024 bis 31.07.2025*. Sekretariat der Kultusministerkonferenz.
- Lisborg, S., Händel, V. D., Schrøder, V., & Rehder, M. M. (2021). Digital competences in Nordic teacher education: An expanding agenda. *Nordic Journal of Comparative and International Education, 5*(4), 53–69. https://doi.org/10.7577/njcie.4295
- Norhagen, S. L., Krumsvik, R. J., & Røkenes, F. M. (2024). Developing professional digital competence in Norwegian teacher education: A scoping review. *Frontiers in Education, 9*, 1363529. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1363529
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu* (Y. Punie, Ed.). Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/159770
- Rossouw, A., Hacker, M., & de Vries, M. J. (2011). Concepts and contexts in engineering and technology education: An international and interdisciplinary Delphi study. *International Journal of Technology and Design Education, 21*, 409–424. https://doi.org/10.1007/s10798-010-9129-1

BOYAMA KİTAPLARI İÇİN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ İLLÜSTRASYON ÜRETİMİNDE GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA VE OPTİMİZASYON SÜREÇLERİNE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM

Doç. Dr., Bayram BOZHÜYÜK[1]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Grafik Sanatlar, bayramb@gaziantep.edu.tr, 0000-0002-3958-5072

Özet

Günümüzde Yapay zekâ tabanlı görsel üretim teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte tasarımcı olsun ya da olmasın herkes estetik düzeye bakmaksızın illüstrasyonları daha seri bir şekilde üretebilmektedir; ancak bu çıktılar çoğu zaman yüzeysel prompt yazımları sonucunda estetik düzeyde yeterli bir görünüm sunmamaktadır. Bu tür çalışmaları ya uygun hâle getirilmek için yeniden düzenlenmeyi ya da uzman tasarımcıların promptları daha teknik bir incelikle yazması sonrası yine grafik işlemlerden gerekmektedir. Bu durum çalışmanın temel problem alanını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, boyama kitapları için illüstrasyon üretiminde yapay zekâ (YZ) destekli araçların kullanımı; görüntü oluşturma, dönüştürme ve optimizasyon süreçleri çerçevesinde ele alınmaktadır. Araştırma, YZ tarafından üretilen renkli illüstrasyonların sistematik olarak boyama etkinliklerine uygun siyah-beyaz çizgisel çizimlere dönüştürüldüğü uygulamaya dayalı bir yöntem benimsemektedir. Çalışma üç temel aşamayı incelemektedir: istem (prompt) mühendisliği yoluyla YZ destekli görsel üretimi, raster görüntülerin vektör tabanlı çizgi sanatına dönüştürülmesi ve çocuklar için kullanılabilirliği artırmak amacıyla görsel öğelerin sadeleştirilmesi. Kontur netliği, görsel karmaşıklığın azaltılması ve geniş boyama alanlarının oluşturulması özellikle ele alınmıştır. Bulgular, YZ'nin üretim sürecini önemli ölçüde hızlandırdığını; ancak en iyi sonuçların otomatik üretim ile manuel tasarım müdahalesini birleştiren hibrit bir iş akışıyla elde edildiğini göstermektedir. Bu araştırma, tasarım ilkelerinin yapay zekâ teknolojileriyle bütünleştirilmesinin önemini vurgulamakta ve boyama kitabı illüstrasyonlarının üretimi için yapılandırılmış bir iş akışı önermektedir.

Anahtar kelimeler: Yapay Zekâ, İllüstrasyon, Görsel Tasarım

AN APPROACH TO IMAGE GENERATION AND OPTIMIZATION PROCESSES IN AI-ASSISTED ILLUSTRATION PRODUCTION FOR COLORING BOOKS

Abstract

With the rapid development of artificial intelligence (AI)-based visual generation technologies, illustration production has become accessible to a wide range of users regardless of their design expertise. Both designers and non-designers are now able to produce illustrations quickly, often without sufficient consideration of aesthetic quality. However, these outputs frequently fail to achieve an adequate level of visual quality due to the use of superficial and technically insufficient prompts. Such works typically require further refinement to become usable, or they must be regenerated through more technically sophisticated prompt construction by expert designers. In many cases, this process also necessitates additional graphic interventions. This situation constitutes the primary problem addressed in this study. In this context, the use of AI-assisted tools in the production of illustrations for coloring books is examined through the processes of image generation, transformation, and optimization. The research adopts a practice-based methodology in which AI-generated colored illustrations are systematically transformed into black-and-white linear drawings suitable for coloring activities. The study investigates three main stages: AI-assisted image generation through prompt engineering, the conversion of raster images into vector-based line art, and the simplification of visual elements to enhance usability for children. Particular attention is given to contour clarity, reduction of visual complexity, and the creation of large, colorable spaces. The findings indicate that while AI significantly accelerates the production process, the most effective results are achieved through a hybrid workflow that combines automated generation with manual design intervention. The study highlights the importance of integrating design principles with AI technologies and proposes a structured workflow for the production of coloring book illustrations.

Keywords: Artificial Intelligence, Illustration, Visual Design

1. GİRİŞ

Boyama kitapları, ince motor becerilerin gelişimi, yaratıcılık ve görsel algının desteklenmesi açısından erken çocukluk döneminden yetişkinliğe kadar önemli araçlar olarak uzun zamandır kabul edilmektedir. Geleneksel olarak bu kitaplarda kullanılan illüstrasyonlar, çocuklar için bilişsel düzeylerine uygun olacak şekilde dikkatle tasarlanmakta; belirgin konturlar, sadeleştirilmiş formlar ve dengeli kompozisyonlar içermektedir. Bununla birlikte, yetişkinlere yönelik hazırlanan boyama kitaplarında ise daha yüksek düzeyde detay, karmaşık desenler, mandala benzeri yapılar ve estetik yoğunluğu artıran kompozisyonlar tercih edilmektedir. Yetişkinler bağlamında boyama kitaplarındaki görsel tasarımlar, rahatlama, stres azaltma ve dikkat odaklanmasını destekleyici özelliği bulunmaktadır. Ancak dijital teknolojilerin ortaya çıkışı, bu tür görsel materyallerin üretim biçimini önemli ölçüde dönüştürmüştür. Son yıllarda yapay zekâ (YZ) destekli tasarım araçları, illüstrasyon üretiminde daha önce mümkün olmayan hız, çeşitlilik ve erişilebilirlik sunarak yeni olanaklar yaratmıştır. YZ tabanlı görsel üretim sistemleri, tasarımcı olsun olmasın herkesin "prompt" olarak adlandırılan metin tabanlı girdiler aracılığıyla stil açısından çeşitlilik gösteren görseller üretmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca YZ bu işlemi, saniyeler içerisinde gerçekleştirmektedir. Her ne kadar bu teknolojik gelişme verimlilik açısından önemli avantajlar sağlasa da, özellikle hedef kitle ve estetiksel nitelik bağlamında bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. YZ tarafından üretilen görseller çoğu zaman aşırı detay, karmaşık dokular ve belirsiz formlar içermekte; bu da boyama etkinlikleri için uygunluklarını azaltmaktadır. Bu noktada temel bir soru ortaya çıkmaktadır: Yapay zekâ ile üretilen görseller, boyama kitaplarının tasarım gereksinimlerine nasıl uyarlanabilir? Bu çalışma, söz konusu soruya odaklanarak YZ ile üretilen renkli illüstrasyonların siyah-beyaz çizgisel çizimlere dönüştürülme sürecindeki estetiği ve kullanışlılığı incelemektedir. Amaç yalnızca görselleri gri tonlamaya çevirmek değil; onları açık, sadeleştirilmiş ve işlevsel çizgi illüstrasyonları olarak yeniden yapılandırmaktır. Bu bağlamda "görsel sadeleştirme" kavramı merkezi bir öneme sahiptir. Sadeleştirme; gereksiz detayların azaltılmasını, kontur netliğinin artırılmasını ve görsel öğelerin boyamayı kolaylaştıracak şekilde düzenlenmesini içermektedir.

Araştırmanın bir diğer önemli boyutu, prompt mühendisliğinin YZ sistemlerinin ürettiği çıktıları şekillendirmedeki rolüdür. Prompt'un nasıl yapılandırıldığı; kompozisyonu, stili ve detay seviyesini doğrudan etkilemektedir. Minimal gölgeleme, kalın konturlar ve sade kompozisyonlar gibi belirli sınırlamalarla oluşturulan prompt'lar, YZ çıktılarının sonraki işlemler için daha uygun hâle gelmesini sağlamaktadır. Bu nedenle prompt tasarımı teknik bir komut işlemi olmasının yanında yaratıcı ve metodolojik bir karar olarak değerlendirilmelidir. Bu bağlamda YZ'nin kullanımında tasarımcıların, özellikle de görsel iletişim

tasarımcılarının bilgi birikimi, kullandığı estetik terimler, tecrübeleri ve uzmanlık alanları promptun estetiği ve işlevselliğinin artması bağlamında önemlidir. Bu yüzden YZ ile herkes görsel üretebilse bile profesyonel anlamda estetik ve işlevsel çalışmalar üretilebilmesi için yine görsel tasarım ve sanat eğitiminin önemi büyüktür.

YZ ile ortaya çıkacak bir boyama kitabında görsel estetiğin salt olarak kullanımından önce bazı ayısal grafik işlemlerin yapılması gerekmektedir. YZ ile görsel üretim aşamasının ardından boyama kitabı illüstrasyonları, piksel tabanlı görüntülerden vektör tabanlı çizgi çizimlere dönüştürülmesi gibi işlemlerden geçmelidir. Vektörleştirme araçları bu aşamada önemli bir rol oynamaktadır; çünkü piksel tabanlı görsellerin ölçeklenebilir ve düzenlenebilir çizgi yapılarına dönüşmesini sağlamaktadır. Vektörleştirme sürecinde, otomatik vektörleştirme çoğu zaman tek başına yeterli değildir; tutarlı çizgi kalitesi ve uygun görsel hiyerarşi elde edebilmek için manuel düzenlemeler gereklidir. Bu durum, yapay zekâ otomasyonu ile insan merkezli tasarım kararlarını birleştiren hibrit bir iş akışının önemini ortaya koymaktadır. Çalışma da bu bağlamda ortaya çıkan illüstrasyonların algılanabilirlik ve kullanılabilirlik kriterlerinin dikkate alınması gerektiğini düşünülmelidir. Çünkü plastik sanatlar bağlamında çizgi kalınlığı, boşluklar ve şekillerin algılana bilirliği gibi unsurlar, bireyin illüstrasyonla etkileşimini doğrudan etkilediği söylenebilir. Geniş ve net tanımlanmış alanlar boyamayı teşvik ederken, aşırı parçalı veya yoğun kompozisyonlar karmaşık görüntülerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Dolayısıyla boyama kitabı illüstrasyonlarının tasarımı yalnızca estetik kaygılarla değil, aynı zamanda işlevsel ve gelişimsel ölçütlerle yönlendirilmelidir. Bu önermeyi desteklemek için önce makalede "Geleneksel ve Dijital Boyama Kitabı İllüstrasyonlarının Karşılaştırmalı Analizi" ile estetiksel ve tasarımcılar için üretimsel farklar anlatılmak istenmiştir. Araştırmanın sonraki başlığı olan "Yapay Zekâ Destekli Boyama Kitabı İllüstrasyon Tasarımı için Uygulamaya Dayalı Metodoloji" kısmında teorik bilgilerle desteklenmiş uygulama örnekleri anlatılmıştır. Dolayısıyla uygulamaya dayalı araştırma yaklaşımını benimseyen bu çalışma, üretim sürecini analitik değerlendirme ile birleştirmektedir. Sonraki başlıkta ise Uygulama sonuçları hakkında bilgi verilmiştir. YZ tarafından üretilen bir dizi görsel, farklı dönüşüm tekniklerinden geçirilmiş ve elde edilen sonuçlar netlik, kullanılabilirlik ve görsel bütünlük açısından değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım doğrultusunda araştırma, tasarımcıların yapay zekâ araçlarını etkin bir şekilde kullanabilmelerine rehberlik edecek yapılandırılmış bir iş akışı geliştirmeyi amaçlamaktadır.

1. Geleneksel ve Dijital Boyama Kitabı İllüstrasyonlarının Karşılaştırmalı Analizi

Boyama kitapları, erken çocukluk döneminden itibaren bilişsel, motor ve yaratıcı gelişimi destekleyen, yetişkinler için de farklı bilişsel becerilerin sürdürülebildiği yayınlar olarak önemli görsel araçlar arasındadır. Çünkü bu kitaplarda kullanılan illüstrasyonlar estetik unsurların yanında eğitsel işlevler taşıyan görsel iletişim araçlarıdır. Bu bağlamda boyama kitabı illüstrasyonlarının tasarımı; kişilerin yaş düzeyi, algısal kapasitesi ve motor becerileri göz önünde bulundurularak belirli ilkeler doğrultusunda şekillendirilmektedir. Geleneksel boyama kitabı üretim süreçlerinde illüstrasyonlar genellikle el çizimi veya dijital çizim araçları aracılığıyla tasarımcı tarafından manuel olarak oluşturulmaktadır. Bu süreç, yüksek düzeyde tasarım bilgisi ve deneyim gerektirmekte; aynı zamanda zaman ve emek açısından yoğun bir üretim sürecini beraberinde getirmektedir. Yeni çağın getirdiği teknolojik olanaklar ise illüstratörlere geleneksel resimleme tekniklerini dijital ortamlara taşıyabilme olanağı vermiştir. Üretim hızını arttıran, resimleme üzerinde farklı varyasyonlar deneyebilme imkânı veren bu pratikler ile illüstratör çizimi çoğaltma, düzeltme ve geri alabilme fırsatını yakalayabilmektedir (Kılıç, 2021: 81). Bu bakımdan üretimsel farklar ve benzerlikler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinin yanında ortak yönleri de vardır. Her şeyden önce her bir görselin uygunluk açısından değerlendirilmesi ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması, tasarımcının/illüstratörün aktif müdahalesi ile mümkündür. Bu durumu dijital görsel üretim içinde geçerlidir. Boyama kitaplarının üretim şekli düşünüldüğünde geleneksel boyama kitabı illüstrasyonları incelendiğinde, üretilen görsellerin belirgin konturlar, sadeleştirilmiş formlar ve geniş boyama alanları ile karakterize edildiği görülmektedir. Bu durum boyama kitaplarının geçmişten günümüze kadar sürdürüldüğü kurallar olarak benimsendiği görülmektedir. Boyama kitabı illüstrasyonlarında detay seviyesi minimumda tutulmakta, figürler kolay tanınabilir geometrik yapılara indirgenmekte ve kompozisyonlar görsel karmaşıklıktan arındırılmaktadır. Burada ister geleneksel olsun ister dijital olsun bir boyama kitabının içeriğini oluşturan şey her şeyin başında çizgidir. Çizgi, bir karakterin ruh halini ifade etmekten, bir mekânın atmosferini kurmaya kadar geniş bir alanda etkili olmaktadır (Kılıç, 2014: 76). Özellikle kalın ve kesintisiz çizgiler, boyamayı uygulayıcı kişilerin sınırları daha kolay algılamasına ve boyama eylemini daha kontrollü gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır. Aynı zamanda boşlukların dengeli dağılımı, dikkati yönlendiren ve görsel yorgunluğu azaltan önemli bir tasarım unsuru olarak değerlendirilebilir. Boyama kitaplarında stilizasyon da önemli bir unsurdur. Stilizasyon, biçimlerin sadelik, tekrar ve ritim ilkeleri doğrultusunda bir estetik anlayışla yeniden yapılandırılmasıdır (Delen, 2024: 113). Stilizasyon bir görsel bölgenin anlamı kaybolmadan sadeleştirilmesi şeklinde yeniden üretilmesidir. Hem geleneksel hem de dijital görüntü süreçlerinde çizgi ve boşluğun yanında stilizasyon da yine evrenselleşmiş bir estetik kuraldır. Dijitalleşme ile birlikte boyama kitabı

illüstrasyonlarının üretiminde yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Vektör tabanlı çizim yazılımları, hazır şablonlar ve stok görsel platformları, üretim sürecini hızlandırmış ve erişilebilirliği artırmıştır. Bu araçlar sayesinde tasarımcılar daha kısa sürede çok sayıda görsel üretebilmekte veya mevcut görselleri dönüştürerek kullanabilmektedir. Ancak bu durum, beraberinde belirli sınırlılıkları da getirmiştir. Özellikle stok görsellerin kullanımı, özgünlük problemini gündeme getirmekte; hazır şablonlar ise tasarım çeşitliliğini sınırlayabilmektedir. Son yıllarda yapay zekâ tabanlı görsel üretim sistemlerinin gelişimi, boyama kitabı illüstrasyonu üretiminde yeni bir değişimi ortaya koymuştur. Metin tabanlı komutlar aracılığıyla çalışan bu sistemler, kısa sürede yüksek kalitede ve stil çeşitliliğine sahip görseller üretebilmektedir. Bu durum, tasarım sürecinde hız ve verimlilik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, yapay zekâ tarafından üretilen görsellerin doğrudan boyama kitabı formatına uygun olmadığı söylenebilir. Çünkü sanatsal üretim konusunda insan kararları temel biçimlerin ortaya çıkmasında merkezde yer almaktadır. Bu fikirle birlikte YZ'da insan yaratıcılığının bir tür yansımasının bulunduğu söylenebilmektedir (Aslan ve Kemal, 2023:1157). Buna karşın YZ tabanlı sistemler artık yüksek detay seviyesine sahip, gölgelendirme, doku ve karmaşık arka planlar içeren görseller üretmektedir. Bu özellikler estetik açıdan zenginlik sağlasa da, boyama kitaplarının temel gereksinimleri bağlamında işlenmesi gereken bir süreçtir. Bu bağlamda, geleneksel ve dijital üretim yaklaşımları arasında belirgin bir fark ortaya çıkmaktadır. Geleneksel yöntemler pedagojik uygunluk açısından daha kontrollü ve hedef odaklı sonuçlar üretirken, yapay zekâ tabanlı sistemler hız ve çeşitlilik sunmakta ancak tasarım kontrolü açısından sınırlılıklar barındırmaktadır. Dolayısıyla, bu iki yaklaşımın güçlü yönlerini bir araya getiren hibrit bir üretim modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın temel çıkış noktası da bu ihtiyaçtan doğmaktadır. Yapay zekâ tarafından üretilen görsellerin doğrudan kullanılabilir olmaması, bu görsellerin belirli dönüşüm ve sadeleştirme süreçlerinden geçirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu noktada görsel sadeleştirme, kontur belirginleştirme ve kompozisyon optimizasyonu gibi işlemler ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla mevcut durum analizi göstermektedir ki boyama kitabı illüstrasyonlarının üretiminde hız ve verimlilik kadar pedagojik ve bilişsel uygunluk ve tasarım kontrolü de önemlidir.

2. Geleneksel ve Dijital Boyama Kitabı İllüstrasyonlarının Karşılaştırmalı Analizi

Boyama kitapları Yapay zekâ teknolojilerinin son yıllarda hızlı bir gelişim göstermesi, görsel tasarım üretim süreçlerinde köklü dönüşümlere yol açmıştır. Makine öğrenimi ve üretici modelleri kullanan gelişmiş yapay zeka araçlarının yükselişi, yaratıcı süreci dönüştürmekte, tasarımcının rolünü yeniden tanımlamakta ve yerleşik sektör normlarını sorgulamaktadır. Bu teknolojik dönüşüm, dikkate değer fırsatlarla birlikte önemli zorlukları da içeren karmaşık bir alan ortaya koymaktadır (Gyang, Jonah, Bonaventure, 2025:2030). Özellikle üretken

yapay zekâ (Generative AI) sistemlerinin gelişimiyle birlikte, metin tabanlı girdiler aracılığıyla görsel içerik üretimi mümkün hâle gelmiş ve bu durum tasarım üretimini yeniden şekillendirmiştir. Teknolojik gelişmelerle beraber tasarımcılar yeni yöntem, teknik ve araçlarla farklı tarzlarda eserler üretmektedir. Bu anlamda yapay zekâ uygulamaları tasarımcılar için yeni bir araç olmuştur (Tıngır, 2026:87). Günümüzde DALL•E, Midjourney ve Stable Diffusion gibi sistemler aracılığıyla kullanıcılar, herhangi bir ileri düzey tasarım bilgisine sahip olmadan kısa sürede yüksek çözünürlüklü ve estetik açıdan zengin görseller üretebilmektedir. Bununla birlikte, yapay zekâ destekli üretim süreçlerinin yaygınlaşması bazı önemli tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Bu tartışmaların başında, estetik kalite ve tasarım ilkelerinin korunması gelmektedir. Yapay zekâ sistemleri, çok sayıda görsel referansı analiz ederek çıktı üretse de, bu çıktılar çoğu zaman bağlamsal tutarlılık ve tasarım bütünlüğü açısından yetersiz kalabilmektedir. Özellikle yüzeysel istem (prompt) kullanımı, görsellerde anlamsal kopukluklara ve görsel karmaşıklığa yol açabilmektedir. Bu durum, yapay zekânın tek başına yeterli bir tasarım aracı olmadığını, insan müdahalesinin hâlen kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, yapay zekânın görsel üretim süreçlerine dâhil edilmesi geniş kitlelerin katılımını mümkün kılmıştır. Ancak bu yaygınlaşma, çoğu zaman niteliksel bir gerilemeyi de beraberinde getirmektedir. Sanat eğitimi ve estetik bilgi birikiminden yoksun bireyler tarafından üretilen görsellerin, estetik değer ve sanatsal üretim kriterleri açısından ne ölçüde değerlendirilebileceği ciddi bir problem alanı oluşturmaktadır. Bu bağlamda, yapay zekâ aracılığıyla üretilen içeriklerin sanat üretimi kapsamında ele alınıp alınamayacağı tartışmalı bir konu olarak öne çıkmaktadır. Diğer taraftan, yapay zekânın farklı bakış açıları sunma kapasitesi tasarımcılar açısından öğretici bir nitelik taşımaktadır. Yapay zekânın, tasarımcıların yaratıcı ifade repertuarını genişletmesi ve yeni tasarım yaklaşımlarını teşvik etmesi, bu teknolojiyi avantajlı bir araç hâline getirmektedir.

Görsel iletişim tasarımı bağlamında yapay zekânın etkisi yalnızca üretim hızında değil, aynı zamanda tasarımcı rolünün dönüşümünde de gözlemlenmektedir. Yapay zekâ ile birlikte tasarımcı, yalnızca üretici değil; aynı zamanda küratör, yönlendirici ve karar verici bir konuma evrilmektedir. İllüstrasyon, afiş, logo ve dijital medya üretimi gibi pek çok alanda yapay zekâ aktif olarak kullanılmakta ve tasarım süreçlerine entegre edilmektedir. Dahası yapay zekânın tasarımcılara yardımcı olarak çalışma süresinde harcanan zamanı kısaltmasına ve tasarımcıların yaratıcı süreçler için zaman kazanmasını sağladığı öngörülebilir (Karabulut, 2021:1532). Tekrarlayan ve zaman alıcı süreçlerin otomatikleştirilmesi, tasarımcıların daha yaratıcı ve kavramsal problemlere odaklanmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda yapay zekâ, tasarımcıyı ikame eden bir unsurdan ziyade, tasarım sürecini destekleyen ve genişleten bir araç olarak değerlendirilmektedir. Geleneksel olarak öznel bir süreç olarak kabul edilen estetik değerlendirme, yapay zekâ modelleri aracılığıyla daha nesnel analizlere

konu olabilmektedir. Derin öğrenme temelli sistemler, kompozisyon, denge ve görsel hiyerarşi gibi tasarım ilkelerini analiz edebilmekte ve bu ilkeler doğrultusunda değerlendirmeler yapabilmektedir. Bu durum, tasarım süreçlerinde veri temelli yaklaşımların önemini artırmaktadır. Yapay zekâ ve grafik tasarım alanındaki bu güncel başarılı gelişmeler, çoğunlukla tasarım yazılımlarının kendisi içinde zaman kazandıran otomasyon ve makine öğrenmesi süreçlerine dayanıyor gibi görünmektedir (Meron, 2022: 12). Bu durum tasarımcının üretkenliğini korumasını gerektirirken üretilen tasarım yüzeyindeki ritmik ve tekrarları olan görsel işlerin üretimini otomasyona devredebilmektedir. Çünkü üretken yapay zekâ sistemlerinin amacı, kullanıcı girdilerini analiz ederek hızlı ve yüksek kaliteli içerik üretmek olup, bu sistemler büyük veri setlerinden öğrenerek sürekli çıktılar oluşturabilmektedir.

Yapay zekâ hâlâ belirli ölçüde idealize edilmiş bir hedef olarak görülse de, bu alandaki teknolojik gelişmeler hesaplamalı sistemlerin sürekli ilerlemesi ile gelişmektedir (Jarrahi, Lutz ve Newlands, 2022:5). Bu durum yapay zekâ hakkında yazılan birçok haber veya bilimsel bilgiyi kısa bir süre içerisinde eskitecek kadar hızlıdır. Yine de şimdilik gelişmelere rağmen, yapay zekâ destekli görsel üretim süreçlerinin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Özellikle özgünlük, telif hakları ve etik konular, güncel tartışmaların merkezinde yer almaktadır. Bununla birlikte tasarımın geleceği insan tasarımcıların yapay zekâyı uygulama ve üretim süreçlerinde bir araç olarak kullandığı iş birliğine dayalı bir yaklaşım üzerine kurulu olması gerekmektedir. Bu bağlamda, insan faktörü işin içinde olacağından yaratıcı sahiplik, özgünlük ve telif hakkı gibi etik sorunları ele almak zorundadır (Gyang, Jonah, Bonaventure, 2025:2038). Yapay zekâ modellerinin eğitiminde kullanılan veri setlerinin kaynakları, üretilen görsellerin sahipliği ve sanatın özgünlüğü gibi konular, disiplinler arası araştırmaları gerektiren önemli problem alanlarıdır. Çünkü bilgisayar bilimi kökenli çalışmaların büyük kısmı hâlen işlevsel bir yaklaşım benimsemekte; yerleşim, stil veya görüntü işleme süreçlerini optimize etmeye odaklanmaktadır. Ancak bu görev odaklılık, grafik tasarımın yaratıcı doğasını bilinçli problem çözme, bağlamsal okuma ve sembolik üretim süreçlerini geri plana iterek tasarımı yalnızca parametre ayarlama ve örüntü kopyalama düzeyine indirgeme riski taşımaktadır (Hafez, 2025:137). Bunun gibi durumlar, yapay zekânın yaratıcı süreçlere etkisi, sanatın doğası ve insan yaratıcılığı üzerine yeni tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Genel bağlamda yapay zekâ, üretim süreçlerini hızlandırmakta, erişilebilirliği artırmakta ve yeni yaratıcı olanaklar sunmaktadır. Ancak estetik kalite, tasarım bütünlüğü ve etik sorumluluklar açısından insan merkezli yaklaşımların önemi devam etmektedir. Bu bağlamda, yapay zekâ ile tasarım ilişkisi, teknolojik bir dönüşümden ziyade, insan ve makine arasındaki yaratıcı iş birliğinin yeniden tanımlandığı bir süreç olarak değerlendirilmelidir. Bu hibrit süreç, insan zekâsı ile yapay zekânın zengin kombinasyonlarını mümkün

kılmakta ve geçmişe kıyasla daha çeşitli arama sonuçlarının ortaya çıkmasına katkı sağladığı muhakkaktır (Raisch, Fomina, 2023:19). Dolayısıyla yapay zekâ teknolojilerinin sunduğu potansiyelin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için bu teknolojilerin tasarımcı elinde daha nitelikli hale geleceği olasıdır. Bu doğrultuda, bir sonraki bölümde yapay zekâ destekli üretim sürecini sistematik bir şekilde ele alan uygulamaya dayalı metodolojik yaklaşım sunulacaktır.

3. Yapay Zekâ Destekli Boyama Kitabı İllüstrasyon Tasarımı için Uygulamaya Dayalı Metodoloji

Yapay zekâ destekli illüstrasyon üretim sürecini incelemek ve estetik bağlamda boyama kitaplarındaki illüstrasyonların niteliği ile uyumu gerekmektedir. Bu yüzden üretim sürecinin doğrudan deneyimlenmesini ve bu süreçten elde edilen bulguların değerlendirilmesini gerekmektedir. Araştırma kapsamında geliştirilen metodoloji, yapay zekâ ile üretilen görsellerin boyama kitabı formatına uygun hale getirilmesini amaçlayan çok aşamalı bir iş akışı modeli önerilmektedir. Bu kapsamda ilk aşama, yapay zekâ destekli görsel üretim sürecidir. Bu süreçte metin tabanlı komutlar (promptlar) aracılığıyla farklı illüstrasyon varyasyonları üretilmiştir. Konu olarak Türkiye'deki arkeoloji içerikli iki adet fotoğrafik uygulamalardan yola çıkılarak promptlar üretilmiştir. Bu fotoğraflardan soldaki Xanthos antik kentine aitken sağdaki görüntü Jupiter Dolichenus heykelciğidir. Görsellerde birisi dış mekan manzara görseline emsaldir. Sağdaki görsel ise bir obje görselinin ya da karakterin boyama kitabına emsal olması içindir. Dolayısıyla yapılacak hibrit uygulama tekniğinin kullanılışlı bir teknik olmasını sağlamak için seçilen görseller ayrıntı vermesi ve geometrik görünüm bağlamında farklı özelliklerde olması gerekmektedir. Çünkü bir genel görünüm bir de ayrıntılı bir objenin seçilmesi uygulanabilirlik yelpazesinin genişliğinin gösterilmesi açısından önemlidir (Görsel 1).

Görsel 1. Solda Xanthos Antik kentine ait bir fotoğraf, sağda Jupiter Dolichenus heykelciği.

Nano Banana veya Pixverse gibi yapay zekâ araçlarına görsel 2'deki promptlarla beraber görseller yüklenince ortaya görsel 3'teki gibi bir görüntü ortaya çıkmıştır (Görsel 2). Yapay zekâ tarafından oluşturulan görsel, kompozisyon açısından dengeli, detay seviyesi düşük ve ana formu belirgin olan örneklerin olduğu görseller tercih edilmelidir. Bu seçim süreci, görselin boyama kitabına uygunluk potansiyeline göre yapılmalı ve karmaşık arka plan içeren veya aşırı detay barındıran görseller elenmelidir. Prompt tasarımı, bu aşamada belirleyici bir rol oynamaktadır. Görsel içeriği ile yapay zekâya yüklenen bir fotoğraf için prompt yazılırken, görselin adı ve neye ya da nereye ait olduğu açıkça belirtilmelidir. Bu tanımlamalar, yapay zekânın veriler arasında daha doğru ilişki kurmasını sağlar ve görselin daha doğru üretilmesine yardımcı olur. Üretilen görsellerin ne işe yarayacağı, sade, anlaşılır ve çizgisel dönüşüme uygun olması için promptlar; minimal detay, belirgin kontur, gölgelendirmeden kaçınma ve sade kompozisyon gibi kriterlerin vurgusu yapılmalıdır (Görsel 3).

Görsel 2. Görseller yapay zekâ araçlarına yüklendikten sonra yazılan promptlar. Soldaki Xanthos için yazılmıştır. Sağdaki ise Jupiter Dolichenus heykelciği için yazılmış promttur.

"Transform this image of the ancient city of Xanthos into a simplified coloring book illustration. Convert the scene into clean, vector-style line art using only black lines on a white background. Remove unnecessary textures and noise while preserving and enhancing key architectural details. Restore and clarify structural elements to make them more defined and readable. The final result should be crisp, high-contrast, single-color (black) linework, suitable for a coloring book, with balanced composition and clear outlines."

Türkçe: "Xanthos antik kentine ait bu görüntüyü sadeleştirilmiş bir boyama kitabı illüstrasyonuna dönüştür. Sahneyi yalnızca beyaz zemin üzerine siyah çizgilerden oluşan temiz, vektör tarzında çizgisel bir görsele çevir. Gereksiz doku ve gürültüyü kaldırırken temel mimari detayları koru ve güçlendir. Yapısal öğeleri restore ederek daha belirgin ve okunaklı hale getir. Nihai sonuç, net konturlara sahip, yüksek kontrastlı, tek renkli (siyah) çizgisel bir çalışma olmalı ve boyama kitabı için uygun, dengeli bir kompozisyon sunmalıdır."

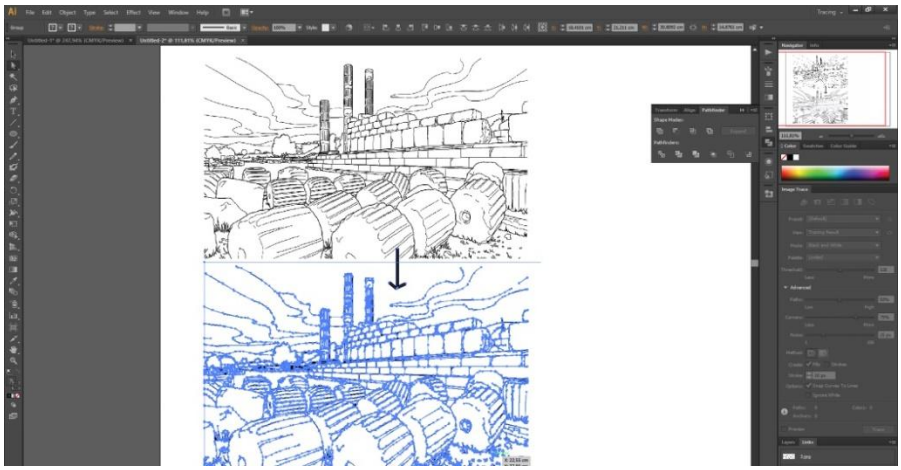
"Transform this statue of Jupiter Dolichenus into a simplified coloring book illustration. Convert the figure into clean, vector-style line art using only black lines on a white background. Remove unnecessary textures and surface noise while preserving and enhancing key anatomical and sculptural details. Restore missing or worn elements to improve clarity and visual completeness. Emphasize sharp, well-defined outlines and balanced proportions. The final result should be high-contrast, single-color (black) linework, clear and detailed, suitable for a coloring book."

Türkçe: "Jupiter Dolichenus heykelini sadeleştirilmiş bir boyama kitabı illüstrasyonuna dönüştür. Figürü yalnızca beyaz zemin üzerine siyah çizgilerden oluşan temiz, vektör tarzında çizgisel bir görsele çevir. Gereksiz doku ve yüzey gürültüsünü kaldırırken temel anatomik ve heykelsi detayları koru ve güçlendir. Eksik veya aşınmış bölümleri restore ederek netlik ve görsel bütünlüğü artır. Keskin, belirgin konturları ve dengeli oranları vurgula. Nihai sonuç, yüksek kontrastlı, tek renkli (siyah) çizgisel bir çalışma olmalı; net, detaylı ve boyama kitabı için uygun olmalıdır."

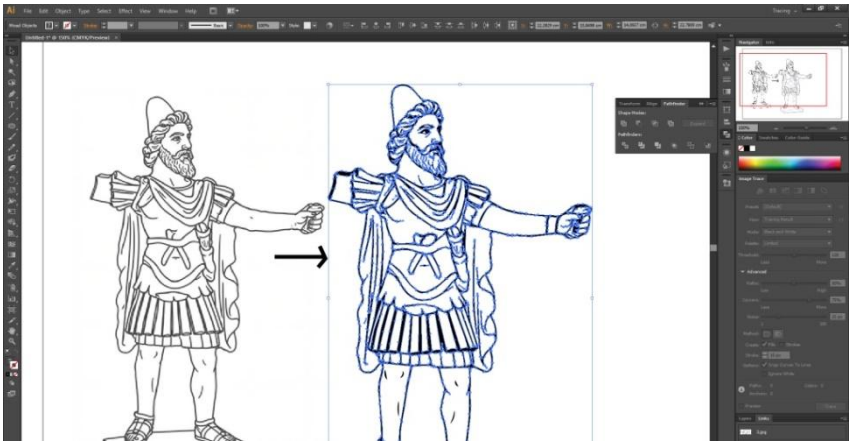
Görsel 3. Promtların kullanılması ile ortaya çıkan çizgisel görüntü.

İkinci aşamada, seçilen görsellerin dönüştürülmesi süreci yer almaktadır. YZ'nin çıkarmış olduğu görüntüler piksel tabanlı olmaktadır. Bu yüzden öncelikle görüntüler raster görüntülerin siyah-beyaz çizgisel yapılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Raster tabanlı çizgisel görüntüler, vektör tabanlı formatlara dönüştürülerek düzenlenebilir hale getirilmiştir. Bu aşama, çizgi kalitesinin iyileştirilmesi ve baskı sürecine uygunluk açısından önemlidir. Ancak otomatik vektörleştirme işlemi çoğu zaman yeterli sonuç vermemekte, bu nedenle manuel müdahaleler gerekmektedir. İlk olarak görseller gri tonlamaya çevrilmiş ve kontrast değerleri azaltılarak ana hatların belirginleşmesi sağlanmıştır. Ardından kenar tespiti teknikleri kullanılarak görseldeki temel çizgiler düzenlenmiştir. Bu işlem, görselin çizgisel yapıya dönüştürülmesinde önemli bir ara aşama oluşturmaktadır (Görsel 4 ve 5). Daha sonra, manuel sadeleştirme ve düzenleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte gereksiz detaylar temizlenmiş, küçük ve parçalı alanlar birleştirilmiş ve çizgi sürekliliği sağlanmıştır. Özellikle bireylerin boyama sürecini kolaylaştırmak amacıyla, karmaşık bölgeler sadeleştirilmiş ve görsel hiyerarşi yeniden düzenlenmiştir.

Görsel 4. Çizgisel görüntünün sağda piksel formatına dönüştürülmüş örneği. Bu yöntemle görüntü vektörel hale getirilip birçok içerik için kullanılabilmesinin yanında yapılan işlem çizgi sertlikleri ve lekelerin düzenlenmesi için de kullanılmaktadır.

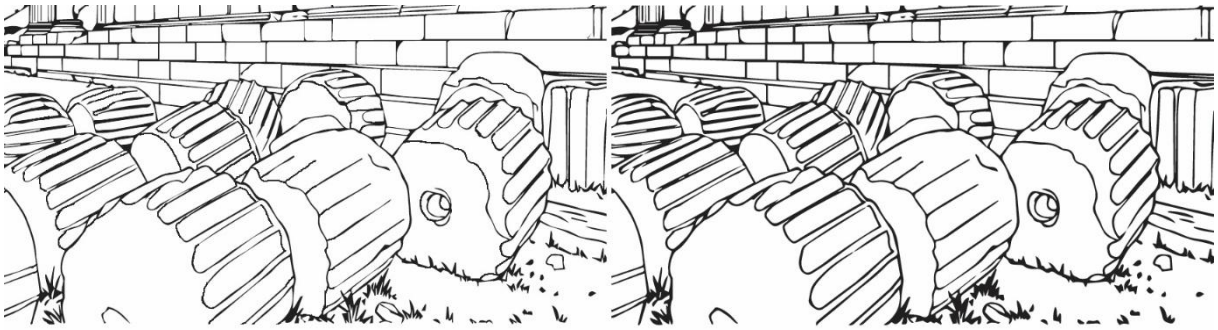


Görsel 5. Çizgisel görüntünün sağda piksel formatına dönüştürülmüş örneği. Bu yöntemle görüntü vektörel hale getirilip birçok içerik için kullanılabilmesinin yanında yapılan işlem çizgi sertlikleri ve lekelerin düzenlenmesi için de kullanılmaktadır.



Dördüncü ve son aşama, çizgi optimizasyonudur. Bu aşamada çizgi kalınlıkları artırılarak daha belirgin hale getirilmiş, boyama alanları genişletilmiş ve görselin genel okunabilirliği artırılmıştır. Ayrıca sayfa kenarlarından veya objeler üst üste görünürken yarım kalan çizgiler tekrar çizilerek bütünlenmiştir. Çizgi bütünlemesinin yapılmasının sebebi; boyama sırasında hangi rengin hangi nesne içerisinde taşmadan boyanacağını ayırt etmektir. Bu durum boyamam kitaplarında kullanılan bir tekniktir. Elde edilen nihai görseller, çocuk boyama kitabı formatına uygun siyah-beyaz lineer illüstrasyonlar olarak değerlendirilmiştir (Görsel 6 ve 7).

Görsel 6. Sağda çizgilerin bütünlenip kalınlıklarının bütünlendiği görüntü şekli.



Görsel 7. Sağda çizgilerin bütünlenip kalınlıklarının bütünlendiği görüntü şekli.

Bu metodolojik süreç, yapay zekâ ile hızlı üretim avantajını, tasarımcının estetik ve pedagojik müdahalesi ile birleştiren hibrit bir model sunmaktadır. Bu model, hem üretim sürecini hızlandırmakta hem de elde edilen sonuçların çocuklara uygunluk açısından optimize edilmesini sağlamaktadır.

4. Bulgular / Tartışma

Bu bölümde, üçüncü bölümde geliştirilen iş akışı modeli doğrultusunda elde edilen görsel çıktılar değerlendirilmiştir. Yapay zekâ tarafından üretilen başlangıç görselleri ile dönüşüm süreci sonrası elde edilen çizgisel illüstrasyonlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. İlk bulgular, yapay zekâ tarafından üretilen görsellerin yüksek düzeyde detay içerdiğini ya da bazı görselleri tanımada zorluk çektiği ve bu yüzden doğrudan boyama kitabı kullanımına uygun olmadığını göstermektedir. Özellikle arka plan öğeleri, doku detayları ve gölgelendirme unsurları, görsel karmaşıklığı artıran başlıca faktörler olarak belirlenmiştir. Dönüşüm sürecinde ayrıca kontur rengi olarak görselin heryerinde %100 bir siyah rengin elde edilememesi, farklı gri tonların da görselde bulunması görülmektedir. Dolayısıyla görüntünün ilk çizgisel şeklinde gri tonlama ve kenar tespiti işlemleri, sadece görselin temel hatlarını ortaya çıkarmada etkili olmuştur. Ancak bu aşamada elde edilen çizgilerin düzensiz ve parçalı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, otomatik süreçlerin tek başına yeterli olmadığını ortaya koymaktadır.

Vektörleştirme aşaması, çizgilerin düzenlenebilir hale gelmesini sağlamış; ancak çizgi kalitesinin istenen seviyeye ulaşabilmesi için manuel müdahalenin gerekli olduğu görülmüştür. Manuel sadeleştirme süreci, görselin çocuklara uygun hale getirilmesinde en kritik aşama olarak öne çıkmıştır. Son aşamada gerçekleştirilen çizgi optimizasyonu, görsellerin okunabilirliğini ve boyanabilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. Kalın ve net konturlar, kişilerin sınırları daha kolay algılamasını sağlamış; geniş alanlar ise boyama sürecini daha keyifli hale getirmiştir. Elde edilen bulgular, en etkili üretim yönteminin yapay zekâ ile insan müdahalesini birleştiren hibrit model olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın çıkış noktası yapay zekâ ile üretilen görsellerin çoğu zaman yüksek detay, karmaşık kompozisyon ve kontrolsüz estetik özellikler taşıması nedeniyle doğrudan boyama kitabı formatına uygun olmamasıdır. Boyama kitabı illüstrasyonları ise belirgin konturlar, sadeleştirilmiş formlar, geniş boyanabilir alanlar ve düşük görsel karmaşıklık gibi belirli tasarım ilkelerine dayanır. Bu iki yaklaşım arasındaki temel uyumsuzluk, çalışmanın problem alanını oluşturmuş ve çözüm olarak sistematik bir iş akışı geliştirilmiştir. Bu bağlamda, araştırmanın en önemli katkısı, YZ üretim sürecinin tek aşamalı bir çıktı üretimi değil, çok aşamalı bir tasarım ve optimizasyon süreci olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymasıdır. Dolayısıyla bu çalışma, yapay zekâ destekli illüstrasyon üretiminin boyama kitapları bağlamında nasıl yapılandırılabileceğini incelemiştir. Elde edilen bulgular, yapay zekânın üretim sürecini hızlandırma ve çeşitlendirme açısından önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu avantajların, doğrudan kullanılabilir çıktılar üretmek için yeterli olmadığı görülmüştür. Bu durumdan dolayı çalışmada yapay zekâ (YZ) tabanlı görsel üretim teknolojilerinin boyama kitabı illüstrasyonlarına uyarlanabilirliğini, bu süreçte karşılaşılan sorunları ve insan tasarımcı müdahalesi ile geliştirilebilecek hibrit üretim modelini kapsamlı biçimde incelemiştir. Araştırma, yalnızca teknik bir üretim sürecini değil, aynı zamanda estetik, pedagojik ve metodolojik boyutları da içeren bütüncül bir yaklaşım ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, YZ'nin görsel üretimde önemli bir hız ve çeşitlilik sağladığını, ancak boyama kitabı gibi özel kullanım alanlarında tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Bu nedenle en etkili yaklaşımın, yapay zekâ destekli üretim ile insan merkezli tasarım müdahalesini birleştiren hibrit bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Fakat yapay zeka destekli üretilen görsellerin kaynakları, veri setleri ve kullanım hakları konusunda daha şeffaf sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda tasarımcıların yalnızca teknik değil, aynı zamanda etik sorumluluklar da taşıdığı unutulmamalıdır. Çalışmada bahsedilen bu teorik bilgilerin yanında anlatılan konular hibrit uygulama modeli ile

de pekiştirilmek istenmiş, bu konuda yapay zeka desteği kullanılarak fotoğraftan çizgisel bir üretim ve grafik uygulama süreci yapılmıştır.

Uygulamada çalışmanın ilk aşamalarına dayanan bulgular, yapay zekanın görsel üretim üzerindeki belirleyici rolünü açıkça göstermektedir. Promptların içeriği, kompozisyon yapısını, detay seviyesini ve görsel stilini doğrudan etkilemektedir. Minimal detay, kalın kontur, gölgelendirmeden kaçınma ve sade kompozisyon gibi yönlendirmelerle oluşturulan promptlar, YZ'nin ürettiği görsellerin boyama kitabı kullanımına daha uygun hale gelmesini sağlamaktadır. Bu durum, prompt yazımının yalnızca teknik bir komut verme süreci olmadığını, aynı zamanda yaratıcı ve stratejik bir tasarım kararı olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla tasarımcıların YZ ile üretim süreçlerinde aktif bir "yönlendirici" rol üstlenmeleri gerekmektedir. Görsel üretim aşamasının ardından gerçekleştirilen raster görüntü işleme süreci, YZ tarafından üretilen görsellerin temel hatlarını ortaya çıkarmada önemli bir rol oynamıştır. Ancak bu aşamada elde edilen sonuçların genellikle parçalı, düzensiz ve görsel bütünlükten uzak olduğu gözlemlenmiştir. Kenar tespiti ve gri tonlama işlemleri, yalnızca başlangıç düzeyinde bir çizgi altyapısı sunmuş; ancak boyama kitabı standardı için yeterli olmamıştır. Bu durum, otomatik görüntü işleme tekniklerinin tek başına nihai ürün üretiminde yeterli olmadığını göstermektedir. Bir sonraki aşama olan vektörleştirme süreci, görsellerin düzenlenebilir ve ölçeklenebilir hale gelmesini sağlamış, bu açıdan önemli bir teknik avantaj sunmuştur. Ancak vektörleştirme işlemi de çizgi kalitesi, estetik bütünlük ve pedagojik uygunluk açısından tek başına yeterli olmamıştır. Özellikle çizgilerin sürekliliği, kontur netliği ve görsel hiyerarşi gibi unsurların manuel müdahale ile iyileştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu bulgu, otomasyonun tasarım sürecini hızlandırsa da tasarım kalitesini garanti etmediğini göstermektedir. Çizgi optimizasyonu süreci, boyama kitabı illüstrasyonlarının nihai kalitesini belirleyen temel faktör olarak öne çıkmıştır. Bu aşamada çizgi kalınlıklarının artırılması, gereksiz detayların temizlenmesi, boşlukların genişletilmesi ve kompozisyonun yeniden düzenlenmesi gibi işlemler gerçekleştirilmiştir.

Bulgular bölümünde yapılan değerlendirmeler, YZ tarafından üretilen ilk görsellerin boyama kitabı kullanımına uygun olmadığını net biçimde göstermektedir. Özellikle aşırı detay, gölgelendirme, karmaşık arka planlar ve belirsiz formlar, bu görsellerin doğrudan kullanımını engellemektedir. Buna karşın, hibrit üretim süreci sonunda elde edilen çizgisel illüstrasyonların çok daha okunabilir, sade ve işlevsel olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, insan müdahalesinin tasarım sürecinde vazgeçilmez bir unsur olduğunu göstermektedir.

Tüm bu süreçler birlikte değerlendirildiğinde, çalışmanın temel sonucu yapay zekanın tasarım süreçlerinde bir "yerine geçen" değil, "destekleyen" teknoloji olduğudur. Tasarımcı ise bu süreçte üretici olmaktan çok seçici, düzenleyici ve yönlendirici bir role evrilmektedir. Bu dönüşüm, görsel iletişim tasarımının geleceğinde insan-

makine iş birliğine dayalı yeni bir üretim modelinin hâkim olacağını göstermektedir. Dolaysıyla ilk olarak, yapay zekâ ile görsel üretim süreçlerinde prompt mühendisliği eğitimi tasarım eğitiminin temel bir parçası haline getirilmelidir. Tasarımcıların yalnızca estetik bilgiye değil, aynı zamanda algoritmik düşünme ve yönlendirme becerilerine de sahip olması gerekmektedir. İkinci olarak, boyama kitabı gibi özel kullanım alanları için geliştirilmiş YZ modelleri veya filtreleme sistemleri tasarlanabilir. Bu sistemler, doğrudan sadeleştirilmiş ve kontur odaklı görseller üretebilecek şekilde optimize edilebilir. Genel olarak bu çalışma, yapay zekâ destekli illüstrasyon üretiminde sistematik bir iş akışı sunarak hem akademik literatüre hem de uygulama alanına katkı sağlamaktadır. Geliştirilen hibrit model, hem üretim hızını artırmakta hem de görsel kalitenin kontrol altında tutulmasını mümkün kılmaktadır. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmaların, insan ve yapay zekâ iş birliğini daha ileri seviyelere taşıyan yeni yöntemler geliştirmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Aslan, T., & Aydın, K. (2023). Metinden Görüntü Üretme Potansiyeli Olan Yapay Zekâ Sistemleri Sanat ve Tasarım Performanslarının İncelenmesi. Ondokuz Mayis University Journal of Education Faculty, 42(2), 1049-1198. https://doi.org/10.7822/omuefd.1293657

Delen, A. A. (2024). Stilizasyon Tekniklerinin Yalınlaştırma Üzerine Etkileri ve Uygulama Örneği. *Beykoz Akademi Dergisi, 10*(1), 112–120.

Raisch, S., Fomina, K. (2023). Combining Human And Artificial Intelligence: Hybrid Problem-Solving In Organızations. Academy of Management Review. 1–24. https://doi.org/10.5465/amr.2021.0421

Gyang, S., S., Jonah, B., Bonaventure, Z. (2025). The Integration of Artificial Intelligence Into Graphic Communication Design Profession: Opportunities and Challenges. Path of Science. 2030-2038. https://doi.org/10.22178/POS.123-25

Hafez, S. (2025). Artificial Intelligence in Graphic Design: A Critical Synthesis of Tools, Methods, and Creative Implications. Cihan University-Erbil Scientific Journal. 9. 129-139. 10.24086/cuesj.v9n2y2025.pp129-139.

Jarrahi, M., H., Lutz, C. ve Newlands, G. (2022). Artificial intelligence, human intelligence and hybrid intelligence based on mutual augmentation. Big Data & Society. https://doi.org/10.1177/20539517221142824

Karabulut, B. (2021). YAPAY ZEKA BAĞLAMINDA YARATICILIK VE GÖRSEL TASARIMIN GELECEĞİ. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 20(79), 1516-1539. https://doi.org/10.17755/esosder.844536

Kılıç, A. (2021). Çocuk kitabı illüstrasyonları ve dijital kolaj illüstrasyon tekniği üzerine bir değerlendirme. Journal of Arts, 4(2), 79-85. https://doi.org/10.31566/arts.4.2.03

Kılıç, T. (2014). İlkokul Öğrencilerine Yönelik Hikâye Kitaplarının Grafik Tasarım Öğeleri Açısından İncelenmesi: Keloğlan ve Nasreddin Hoca Örneği. *Gazi Üniversitesi*.

Meron, Y. (2022) Graphic design and arti;cial intelligence: Interdisciplinary challenges for designers in the search for research collaboration, in Lockton, D., Lenzi, S., Hekkert, P., Oak, A., Sádaba, J., Lloyd, P. (eds.), DRS2022: Bilbao, 25 June - 3 July, Bilbao, Spain. https://doi.org/10.21606/drs.2022.157

Tıngır, M. (2026). Yapay Zekâ ile Üretilen Tipografinin Görsel Anlatım Biçimi, D-Sanat, Ahmet Yakupoğlu Özel Sayısı, 86-102.

UNİVERSAL DESİGN FOR LEARNİNG (UDL) MODELİNİN MÜASİR TƏHSİLDƏ TƏTBİQİ

Gular NURİYEVA
Academician Hasan Aliyev Street 104, Azerbaijan State Pedagogical University, Department of General Pedagogy, teacher ORCİD: 0009-0001-3926-480X

Özet

Universal Öyrənmə Dizaynı (UDL) modeli, müasir təhsil sistemində şagirdlərin müxtəlif ehtiyaclarını, idrak qabiliyyətlərini, psixoloji xüsusiyyətlərini və fərdi fərqlərini proaktiv və hərtərəfli nəzərə alan qabaqcıl, inklüziv pedaqoji yanaşmadır. Uzun müddətdir "hər kəsə eyni metodla öyrətmək" vahid prinsipinə əsaslanan ənənəvi təhsildən fərqli olaraq, bu model təlim mühitini əvvəldən elə dizayn edir ki, sonrakı, vaxt aparan korreksiyaedici və ya fərdi uyğunlaşmalar tələb etməsin, əksinə hər bir uşaq üçün təbii olaraq əlçatan, çevik və maneəsiz olsun.

Bu məqalə, UDL modelinin nəzəri əsasları ilə yanaşı, təhsil prosesində uğurlu praktik tətbiqi təmin edən üç əsas prinsipini ətraflı təhlil edir. Birinci prinsip - məlumatın çatdırılması (nə öyrənirik?) - dərs məzmununun tək bir standart dərslik və ya monoton mühazirə ilə məhdudlaşmamasını, əksinə müxtəlif vizual, eşitmə, rəqəmsal və toxunma formatları vasitəsilə çatdırılmasını tələb edir. Bu, müxtəlif öyrənmə üslublarına, vizual və ya eşitmə qavrayış fərqlərinə və fərqli informasiya emalı sürətlərinə malik şagirdlər tərəfindən təhsil materialının tam mənimsənilməsini əhəmiyyətli dərəcədə asanlaşdırır. İkinci prinsip — hərəkət və ifadə (necə öyrənirik?) — şagirdlərə qazandıqları bilik, bacarıq və qabiliyyətləri nümayiş etdirmək üçün geniş seçim və seçim azadlığı təmin edir. Ənənəvi, birtərəfli yazılı imtahanlar əvəzinə, layihə əsaslı fəaliyyətlər, yaradıcı şifahi təqdimatlar, interaktiv simulyasiyalar və müasir rəqəmsal media fəal şəkildə dəstəklənir. Üçüncü prinsip — cəlb və motivasiya (niyə öyrənirik?) — şagirdlərin fənnə davamlı daxili marağını oyatmağı, özünəinamlarını gücləndirməyi, nəticələrinə görə şəxsi məsuliyyəti inkişaf etdirməyi və muxtar, müstəqil öyrənmə bacarıqlarını inkişaf etdirməyi hədəfləyir.

Tədqiqatda müasir rəqəmsal texnologiyaların, təlim idarəetmə platformalarının (LMS) və süni intellekt alətlərinin rolu xüsusi və hərtərəfli vurğulanır ki, bu da UDL modelinin tətbiqinin miqyasını xeyli sürətləndirir və genişləndirir. Müasir təhsil ekosistemində elektron dərsliklər və fərdiləşdirilmiş təlim mühitləri müəllimlərə hər bir şagirdin fərdi tempinə tam uyğunlaşmaq üçün unikal imkanlar təqdim edir. Təhlilin nəticələri açıq şəkildə göstərir ki, bu yanaşma yalnız xüsusi təhsil ehtiyacları və ya öyrənmə əlilliyi olan uşaqların ümumi sinif otağına uğurlu inteqrasiyasını təmin etməklə yanaşı, həm də istedadlı və yüksək motivasiyalı şagirdlərin maksimum inkişafı üçün əlverişli şərait yaradır. UDL modeli yerli və beynəlxalq təhsili sərt, standartlaşdırılmış çərçivələrdən tamamilə azad edir və onu daha humanist, bərabər, çevik və dinamik bir prosesə çevirir.

Anahtar kelimeler: self-regulation, school environment, emotional development, social factors, teacher-student relationships.

APPLICATION OF THE UNIVERSAL DESIGN FOR LEARNING (UDL) MODEL IN MODERN EDUCATION

Gular NURİYEVA

Academician Hasan Aliyev Street 104, Azerbaijan State Pedagogical University, Department of General Pedagogy, teacher

ORCİD: 0009-0001-3926-480X

Abstract

The Universal Design for Learning (UDL) model is a cutting-edge, inclusive pedagogical approach that proactively and comprehensively considers the diverse needs, cognitive abilities, psychological characteristics, and individual differences of students in the modern education system. Unlike traditional education, which has long relied on the unified principle of "teaching everyone with the same method," this model designs the learning environment from the outset so that it does not require subsequent, time-consuming remedial or individual adaptations, but is inherently accessible, flexible, and barrier-free for every child.

This article, along with the theoretical foundations of the UDL model, analyzes in detail its three fundamental principles, which ensure successful practical implementation in the educational process. The first principle—information delivery (what are we learning?)—requires that lesson content not be confined to a single standard textbook or monotonous lecture, but rather be conveyed through a variety of visual, auditory, digital, and tactile formats. This significantly facilitates the full assimilation of educational material by students with diverse learning styles, visual or auditory perception differences, and varying information processing speeds. The second principle—action and expression (how do we learn?)—provides students with a wide range of options and freedom of choice to demonstrate their acquired knowledge, skills, and abilities. Instead of traditional, one-sided written exams, project-based activities, creative oral presentations, interactive simulations, and modern digital media are actively supported. The third principle—engagement and motivation (why do we learn?)—aims to awaken students' sustained intrinsic interest in the subject, strengthen their self-confidence, foster personal responsibility for their results, and develop autonomous, independent learning skills.

The study specifically and thoroughly emphasizes the role of modern digital technologies, learning management platforms (LMS), and artificial intelligence tools, which greatly accelerate and expand the scale of the UDL model's implementation. In the modern educational ecosystem, electronic textbooks and personalized learning environments offer teachers unique opportunities to fully adapt to the individual pace of each student. The results of the analysis clearly demonstrate that this approach not only guarantees the successful integration of children with special educational needs or learning disabilities into the general classroom but also creates

favorable conditions for the maximum development of gifted and highly motivated students. The UDL model completely frees domestic and international education from rigid, standardized frameworks, transforming it into a more humane, equitable, flexible, and dynamic process.

Keywords: UDL model, inclusive education, personalized learning, pedagogical approach, educational technologies.

İNKLÜZİV TƏHSİLDƏ TƏRBİYƏ PROSESİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ

EMİLYA Hüseynova

Akademik Həsən Əliyev küçəsi 104, Azərbaycan Dövlət Pedagoji Universiteti, Ümumi pedaqogika kafedrası, pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

ORCİD: 0009-0003-4470-5440

Özet

Müasir inklüziv məktəbdə effektiv və ahəngdar təhsil prosesinin təşkili, bütün uşaqlar üçün həqiqətən bərabər, humanist və qayğıkeş bir mühit yaratmağa yönəlmiş pedaqoji nəzəriyyə və təcrübənin ən mürəkkəb və prioritet aspektlərindən biridir. Bu yanaşma, xüsusi təhsil ehtiyacları olan şagirdləri təcrid etməyə və ya zorla standartlaşdırmağa deyil, onların dərin qəbuluna, insan ləyaqətinə hörmət etməsinə və cəmiyyət daxilində ümumi sosial və mənəvi münasibətlər sisteminə tam daxil olmasına yönəldiyi üçün yorğun, seçici təhsil modellərindən köklü şəkildə fərqlənir. Belə bir təhsil prosesinin əsas məqsədi, psixofiziki xüsusiyyətlərindən, inkişaf tempindən və ya sağlamlıq məhdudiyyətlərindən asılı olmayaraq, hər bir uşağın özünü cəmiyyətin dəyərli üzvü kimi hiss etməsi, empatiya, əməkdaşlıq və şəxsi inkişafa qadir olması üçün şərait yaratmaqdır.

Bu məqalədə inklüziv təhsilin dizaynının konseptual əsasları, prinsipləri və praktik mexanizmləri ətraflı araşdırılır. İlk vacib aspekt, empatiya, tolerantlıq, qarşılıqlı dəstək və ayrı-seçkilik və ya damğalanmanın hər hansı təzahürünün aradan qaldırılması prinsiplərinə əsaslanan uşaq icmasında unikal mənəvi və psixoloji atmosferin inkişaf etdirilməsidir. Müəllimlər və baxıcılar ciddi nəzarətçilər kimi deyil, sosial əlaqələrin asanlaşdırıcıları kimi çıxış edərək normal uşaqların və xüsusi qayğıya ehtiyacı olan uşaqların birgə yaradıcı layihələr, oyunlar və komanda işi vasitəsilə ortaq məxrəc tapmasına kömək edirlər. İkinci aspekt təhsil işinin metod və formalarının çevikliyi ilə bağlıdır: hər bir şagirdin özünüifadə, emosional özünütənzimləmə və ünsiyyət üçün fərdi qabiliyyətlərini nəzərə alan müxtəlif təhsil təcrübələrinə üstünlük vermək əvəzinə, formal kütləvi tədbirlərdən imtina etmək. Strategiyanın üçüncü komponenti şagirdlərin ailələri ilə davamlı tərəfdaşlığın inkişafını əhatə edir, çünki uşağın güclü sosiallaşması üçün etibarlı təməl rolunu ev və məktəb arasındakı dəyərlərin vəhdəti oynayır.

Tədqiqatda sinifdə şəxsiyyətlərarası dinamikanın vaxtında monitorinqini və hədəflənmiş dəstəyi təmin edən müasir psixoloji və pedaqoji texnologiyaların, inklüziv monitorinq metodlarının və sosial və emosional öyrənmə (SEL) proqramlarının rolu xüsusilə vurğulanır. Təhlil göstərir ki, inklüziv mühitdə yaxşı hazırlanmış təhsil prosesi yalnız xüsusi qayğıya ehtiyacı olan uşaqların uğurlu uyğunlaşmasını təmin etməklə yanaşı, həm də sağlam həmyaşıdların şüurunu kökündən dəyişdirir, yüksək səviyyədə sosial məsuliyyət, humanizm və vətəndaşlıq yetkinliyi inkişaf etdirir. Nəticədə, inklüziv təhsil məktəbləri mənəvi təcrübənin qarşılıqlı zənginləşdirilməsi və gələcək nəsillərin mənəvi inkişafı üçün məkanlara çevirir.

Anahtar kelimeler: inklüziv təhsil, təhsil prosesi, sosiallaşma, tolerantlıq, psixoloji və pedaqoji dəstək.

FEATURES OF THE EDUCATİONAL PROCESS İN İNCLUSİVE EDUCATİON

EMİLYA Huseynova
Academician Hasan Aliyev Str.104, Azerbaijan State Pedagogical University, Department of General Pedagogy, Doctor of Philosophy in Pedagogy, Associate Professor
ORCİD: 0009-0003-4470-5440

Abstract

Organizing an effective and harmonious educational process in a modern inclusive school is one of the most complex and priority aspects of pedagogical theory and practice, aimed at creating a truly equal, humane, and nurturing environment for all children. This approach fundamentally differs from tired, selective educational models, as it focuses not on isolating or forcibly standardizing students with special educational needs, but on their profound acceptance, respect for their human dignity, and their full inclusion in the overall system of social and moral relations within the community. The primary goal of such an educational process is to create conditions in which every child, regardless of their psychophysical characteristics, developmental pace, or health limitations, feels like a valuable member of society, capable of empathy, cooperation, and personal growth.

This article examines in detail the conceptual foundations, principles, and practical mechanisms for designing inclusive education. The first crucial aspect is the development of a unique moral and psychological atmosphere within the children's community, based on the principles of empathy, tolerance, mutual support, and overcoming any manifestations of discrimination or stigma. Teachers and caregivers act not as strict controllers, but as facilitators of social connections, helping normal children and children with special needs find common ground through joint creative projects, games, and teamwork. The second aspect concerns the flexibility of methods and forms of educational work: abandoning formulaic mass events in favor of varied educational practices that take into account each student's individual abilities for self-expression, emotional self-regulation, and communication. The third component of the strategy encompasses the development of continuous partnerships with the families of the students, as it is the unity of values between home and school that serves as a reliable foundation for the child's strong socialization.

The study particularly emphasizes the role of modern psychological and pedagogical technologies, inclusive monitoring methods, and social and emotional learning (SEL) programs, which enable timely monitoring of interpersonal dynamics in the classroom and providing targeted support. The analysis demonstrates that a well-designed educational process in an inclusive environment not only ensures the successful adaptation of children with special needs but also fundamentally transforms the consciousness of healthy peers, developing a high level of social responsibility, humanism, and civic maturity. Ultimately, inclusive education transforms schools into spaces for mutual enrichment of spiritual experience and the moral development of future generations.

Keywords: inclusive education, educational process, socialization, tolerance, psychological and pedagogical support.

İBTIDAI SINIF ŞAGIRDLƏRININ OXUYUB-ANLAMA BACARIQLARININ INKIŞAF ETDIRILMƏSI YOLLARI

Qasımova Maya Rəhim qızı

Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Azərbaycan

maya0866@gmail.com

https://orcid.org/ 0000-0001-9116-4331

Müasir təhsil sistemində oxu yalnız texniki bacarıq kimi deyil, mənanın dərk edilməsi, təhlil və interpretasiya prosesi kimi qiymətləndirilir. İbtidai sinif mərhələsində oxuyub-anlama bacarığının formalaşdırılması şagirdlərin idrak fəaliyyətinin, tənqidi təfəkküründün və nitq inkişafının əsas şərtidir. Elmi-pedaqoji tədqiqatlar göstərir ki, erkən yaşlarda düzgün oxu strategiyalarının mənimsənilməsi şagirdlərin akademik uğurlarına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Digər tərəfdən, mətn üzərində düşünmək, onu anlamaq bacarıqları inkişaf etdikcə, şagirdlərin ünsiyyət qurma, fikirlərini ifadə etmə və başqalarının fikirlərini başa düşmə bacarıqları da artır. Fikrini ifadə etmək, əsaslandırılmış izahat vermək və s. kimi keyfiyyətlər məhz oxuyub-anlama bacarığı güclü olan şagirdlərdə daha uğurlu alınır.

Oxu görmə, eşitmə və nitq-hərəki analizatorlarının iştirak etdiyi mürəkkəb psixofizioloji prosesdir. Oxumağı öyrənməyən və ya zəif oxuyan uşaq lazımi biliyi əldə edə və praktikada tətbiq edə bilməyəcək. Əgər şagird oxuya bilirsə, lakin oxuduğunu anlamırsa, bu, həm də sonrakı öyrənmə prosesində ciddi çətinliklərə və uğursuzluqlara səbəb olacaqdır. Oxuyub-anlama dedikdə nə başa düşülür? Oxuyub-anlama bacarığı şagirdin yazılı mətndəki informasiyanı qavrama, məntiqi əlaqələri müəyyənləşdirmə, əsas və ikinci dərəcəli fikirləri ayırd etmə və nəticə çıxarma qabiliyyətidir. Mətni anlama prosesi dörd səviyyədə cərəyan edir: ilkin anlama, şərhlə müşayiət olunan anlama, tənqidi anlama, yaradıcı anlama. İlkin anlama oxunanın ilk qavranılması prosesi olub, mətndəki əsas məqamları müəyyən edə bilmək, hadisələrlə bağlı suallara cavab vermək, açar sözlər axtarmaq və s. məsələləri əhatə edir. Şərhlə müşayiət olunan anlama mətndəki məlumatı digər mənbələrdən alınan məlumatlarla əlaqələndirə bilmək, müəyyən bir sistemə salaraq istifadə etməkdir. Yəni bu zaman şagird mətni hərfi qavrayışdan kənara çıxaraq daha yüksək düşünmə səviyyələrinə keçir. Tənqidi anlama suallara cavab verərkən şagirdin öz rəyini, münasibətini ortaya qoyması və mühakimə yürütməsidir. Yaradıcı anlama isə yeni ideyalar yaratmaq, məzmundan kənara çıxaraq həyatla əlaqə yaratmağı tələb edir. Mətni yaradıcı səviyyədə anlamaq şagirdə öz yaradıcı təfəkküründən istifadə etməyə, mətndəki məlumatla bağlı daha üst səviyyədə fikir bildirməyə imkan verir, şagird oxuduğu əsasında həyat həqiqətlərini başa düşür və

qiymətləndirir. Şagird oxuduğunu anladıqdan sonra onun şəxsi mövqeyi, tənqidi yanaşması, yaradıcı təfəkkürü və s. aktivləşməyə başlayır.

Oxuyub-anlama bacarığı özündə aşağıdakı komponentləri ehtiva edir:

- Mətnin leksik-semantik tərkibinin anlaşılması;
- Mətnin sintaktik və məntiqi əlaqələrin dərk edilməsi;
- Mətnin ideyasının müəyyənləşdirilməsi;
- Mətnaltı mənanın çıxarılması.

Bu komponentlərin hər biri ibtidai sinif səviyyəsinə uyğun metodlarla sistemli şəkildə inkişaf etdirilməlidir. Bunun üçün ibtidai sinif müəllimi oxu prosesini müəyyən mərhələlərlə və lazımi strategiyalar üzərində qurmalıdır:

1. Oxudan əvvəlki mərhələ

Oxudan əvvəlki mərhələdə məqsəd şagirdin mövzuya marağını artırmaq və ilkin biliklərini fəallaşdırmaqdır. Bu zaman müəllimin mövzudan asılı olaraq diaqram, təsvir, plakat kimi əyani vəsaitlərdən istifadə etməsi faydalıdır. Bu mərhələdə aşağıdakı üsullar effektiv hesab olunur:

- Başlıq və illüstrasiyalar əsasında mətnin məzmununun proqnozlaşdırılması;
- Mətnin məzmununun qavranılması üçün vacib olan açar sözlərlə bağlı iş;
- Sualvermə strategiyası. Müəllim müəyyən suallar verərək şagirdlərin mövzu ilə bağlı ilkin biliklərini müəyyənləşdirir. Çünki şagirdlərin oxuduqlarını anlamamasının ən böyük səbəblərindən biri mövzu ilə bağlı ilkin biliklərinin olmamasıdır. Mətni oxumazdan əvvəl bütün şagirdlərin mətndəki terminləri və fikirləri başa düşdüyünə əmin olmaq lazımdır. Daha sonra müəllim şagirdlərdən nəyi öyrənmək istədiklərini müəyyənləşdirir, onlarla və mətndəki əsas məqamlarla bağlı sualları yazı taxtasına yazır, şagirdlərə mətni oxumaqla bu suallara cavab tapacaqlarını bildirir.

2. Oxu zamanı

Oxu zamanı şagird mətni fəal şəkildə qavramalıdır. Bunun üçün:

- Səssiz və ifadəli oxu; növbəli və rollar üzrə oxu;
- Mətnin sinif yoldaşları ilə müzakirə edilməsi. Təcrübə göstərir ki, mətni oxumayan sinif yoldaşına onu öz sözləri ilə izah etməsi şagirdin qavrama bucağını genişləndirir, həmin məlumatı daha dərindən anlamasına kömək edir. Çünki şagird üçün anlaşılan olan, başqa cür – yəni, öz sözləri ilə ifadə edə bildiyidir.
- qeydlərin aparılması və işarələmə üsulu tətbiq edilir. Bu zaman şagirdlər mətndə onlara vacib görünən yerləri işarələyir, qeyd edirlər. Şagirdlərin altından xətt çəkdikləri, yaxud da müxtəlif işarələrlə qeyd

etdikləri hissələr əslində mətnin mövzunu anlamağa kömək edən açar sözlər və məfhumlardır. Bu yolla oxu materialı əsas ideya xətləri üzrə qavranılmış olur.

3. Oxudan sonrakı mərhələ

Oxudan sonrakı mərhələ oxuyub-anlama bacarığının dərinləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu mərhələdə:

- mətndəki obrazlar, əsas fikir, hadisələrin cərəyan etdiyi məkan və zamanla bağlı hekayə xəritəsinin tərtibi;
- mətnin planının tərtibi;
- mətnin nəql edilməsi;
- yaradıcı tapşırıqlar (rollu oyun; mətnin mövzusu və ya ideyası ilə bağlı esse yazılması; mətni fərqli şəkildə davam etdirmə; alternativ mətn qurma; mətnlə bağlı şəkilli, şifahi və ya yazılı təqdimatın hazırlanması; mətnə uyğun atalar sözünün seçilməsi, mətnin yenidən adlandırılması və s.) həyata keçirilir. Həmçinin şagirdlərə mövzu ilə bağlı araşdırma aparmağı, əlavə faktlar toplamağı; müəllifə və ya baş qəhrəmana məktub yazmağı da tapşırmaq olar.

Oxuyub-anlama bacarıqlarının inkişafı, şagirdlərdə mütaliə mədəniyyətinin də yaranmasına təkan verir. Lakin bu işi bütünlüklə məktəbin çiyinlərinə qoymaq olmaz. Şagirdlərin bu bacarığa yiyələnməsində ailə də həvəsləndirici təbliğat və təşviqat işləri aparmalı, şagirdlər bu bacarığa sevə-sevə alışdırılmalıdırlar. Valideynlər övladlarına yaş və idrak səviyyələrinə uyğun kitablar almalı, birgə oxu təşkil etməli, övladlarının nə oxumağı sevdikləri ilə maraqlanmalı, onunla bağlı müzakirələr aparmalıdırlar.

Aparılan təhlil göstərir ki, ibtidai sinif şagirdlərinin oxuyub-anlama bacarıqlarının inkişafı sistemli, mərhələli və məqsədyönlü pedaqoji yanaşma tələb edir. Oxu strategiyalarının düzgün seçilməsi və müasir təlim metodlarının tətbiqi şagirdlərin mətni dərk etmə səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu baxımdan oxuyub-anlama bacarığının inkişafı ibtidai təhsilin prioritet istiqamətlərindən biri kimi daim diqqət mərkəzində saxlanılmalıdır.

Açar sözlər: oxuyub-anlama, ibtidai sinif, oxu strategiyaları, təlim metodları, mətnlə iş.

WAYS TO DEVELOP THE READING COMPREHENSION SKILLS OF PRIMARY STUDENTS

In the modern education system, reading is not only considered a technical skill, but also a process of understanding meaning, analysis and interpretation. The formation of reading comprehension skills at the primary school level is the main condition for the cognitive activity, critical thinking and speech development of students. Scientific and pedagogical research shows that mastering correct reading strategies at an early age significantly affects the academic success of students. On the other hand, as the skills of thinking about and understanding the text develop, students' skills of communicating, expressing their thoughts and understanding the opinions of others also increase. Qualities such as expressing their thoughts, giving reasoned explanations, etc. are more successful in students with strong reading comprehension skills.

Reading is a complex psychophysiological process involving visual, auditory and speech-motor analyzers. A child who does not learn to read or who reads poorly will not be able to acquire the necessary knowledge and apply it in practice. If a student can read but does not understand what he reads, this will also lead to serious difficulties and failures in the subsequent learning process. What is meant by reading comprehension? Reading comprehension is the student's ability to comprehend information in a written text, determine logical connections, distinguish main and secondary ideas, and draw conclusions. The process of understanding a text occurs at four levels: initial comprehension, interpretation-accompanied comprehension, critical comprehension, and creative comprehension. Initial comprehension is the process of initial comprehension of what is read and includes the ability to identify the main points in the text, answer questions about events, search for keywords, etc. Interpretive comprehension is the ability to relate the information in the text to information from other sources, and to use it in a certain system. That is, at this time, the student moves beyond literal comprehension of the text and moves to higher levels of thinking. Critical understanding is the student's ability to express his or her own opinion and make judgments when answering questions. Creative understanding requires the creation of new ideas, going beyond the content and making connections with life. Understanding the text at a creative level allows the student to use his or her creative thinking, to express opinions on the information in the text at a higher level, and the student understands and evaluates the realities of life based on what he or she has read. After the student understands what he or she has read, his or her personal position, critical approach, creative thinking, etc. begin to be activated.

Reading comprehension includes the following components:

- Understanding the lexical-semantic composition of the text;
- Understanding the syntactic and logical relationships of the text;

- Determining the idea of the text;
- Inference (extracting the subtextual meaning).

Each of these components should be developed systematically with methods appropriate to the primary school level. To do this, the primary school teacher should build the reading process in certain stages and on the necessary strategies:

1. Pre-reading stage

The goal of the pre-reading stage is to increase the student's interest in the subject and activate their initial knowledge. At this time, it is useful for the teacher to use visual aids such as diagrams, images, posters, depending on the subject. The following methods are considered effective at this stage:

• Predicting the content of the text based on the title and illustrations;

• Working with keywords that are important for understanding the content of the text;

• Questioning strategy. The teacher determines the students' prior knowledge about the topic by asking certain questions. Because one of the biggest reasons why students do not understand what they read is their lack of prior knowledge about the topic. Before reading the text, it is necessary to make sure that all students understand the terms and ideas in the text. Then, the teacher determines what they want to learn from the students, writes questions about them and the main points in the text on the board, and tells the students that they will find answers to these questions by reading the text.

2. During reading

During reading, the student must actively comprehend the text. For this:

• Silent and expressive reading; reading in turns and in roles;

• Discussing the text with classmates. Experience shows that explaining the text to a classmate who has not read it in his or her own words expands the student's angle of comprehension and helps him or her to understand the information more deeply. Because what is understandable to the student is what he can express in another way (in his own words).

• The method of taking notes and marking is applied.

3. Post-reading stage

The post-reading stage is of great importance in terms of deepening reading comprehension skills. At this stage:

• drawing up a story map related to the images in the text, the main idea, the place and time where the events take place;

• drawing up a text plan;

• narrating the text;

• creative tasks (role-playing; writing an essay on the theme or idea of the text; continuing the text in a different way; constructing an alternative text; preparing a visual, oral or written presentation related to the text; selecting a proverb appropriate to the text, renaming the text, etc.) are carried out. Students can also be assigned to conduct research on the topic, collect additional facts; write a letter to the author or the main character.

The development of reading comprehension skills also encourages the creation of a reading culture in students. However, this task cannot be left entirely to the school. In order for students to acquire this skill, the family should also carry out encouraging propaganda and promotion work, and students should be willingly accustomed to this skill. Parents should buy books for their children that are appropriate for their age and cognitive level, organize joint reading, be interested in what their children like to read, and hold discussions about it.

The analysis conducted shows that the development of reading comprehension skills of primary school students requires a systematic, phased and purposeful pedagogical approach. The correct selection of reading strategies and the application of modern teaching methods significantly increase the level of students' understanding of the text. In this regard, the development of reading comprehension skills should always be kept in the spotlight as one of the priority areas of primary education.

Keywords: reading comprehension, primary school, reading strategies, teaching methods, work with text.

ÖZEL EĞİTİM İHTİYAÇLARI OLAN ÇOCUKLARIN AİLE ORTAMINDA KAPSAYICI OLARAK DESTEKLENMESİ

Natevan Paşayeva

Öğretmen, Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitesi, Temel Eğitim Fakültesi, Temel Eğitim bölümü,

pasayeva.natavan@mail.ru, ORCİD: 0009-0001-4269-7681

ÖZET

Günümüz eğitim sisteminde özel eğitim gereksinimleri olan çocukların topluma ve eğitim ortamına aktif bir şekilde dahil edilmesi, kapsayıcı yaklaşımın temel yönelimlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu süreçte okulun yanı sıra aile ortamı da çocuğun sosyal, duygusal, psikolojik ve akademik gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Araştırmanın amacı, özel eğitim gereksinimleri olan çocukların aile ortamında kapsayıcı olarak desteklenmesinin temel yönlerini belirlemek ve ailenin bu süreçteki rolünü kuramsal açıdan incelemektir. Araştırmada aile üyelerinin çocuğun bireysel özelliklerini dikkate almasının, onun bağımsızlığını ve özgüvenini desteklemesinin, olumlu duygusal ilişkiler oluşturmasının, günlük etkinliklere katılımını teşvik etmesinin ve eğitim kurumuyla iş birliği yapmasının önemi ele alınmıştır. Yapılan inceleme, aile içinde kabul edici, güvenli ve destekleyici bir ortamın oluşturulmasının çocuğun potansiyelinin gelişmesine ve toplumsallaşmasına önemli katkı sağladığını göstermektedir. Bunun yanı sıra, ebeveynlerin kapsayıcı eğitim konusundaki bilgi ve farkındalıklarının artırılması, bireysel yaklaşımların uygulanması ve aile-okul iş birliğinin güçlendirilmesi, özel eğitim gereksinimleri olan çocukların eğitim ve gelişim sürecinin etkililiğini artıran önemli faktörlerdir. Sonuç olarak, aile ortamında kapsayıcı destek yalnızca çocuğun eğitim gereksinimlerinin karşılanmasına değil, aynı zamanda sosyal katılımının, duygusal iyi oluşunun ve bağımsız yaşam becerilerinin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: özel eğitim gereksinimleri, kapsayıcı eğitim, aile ortamı, ebeveyn desteği, bireysel yaklaşım, toplumsallaşma, aile-okul iş birliği.

INCLUSIVE SUPPORT FOR CHILDREN WITH SPECIAL EDUCATIONAL NEEDS IN THE FAMILY ENVIRONMENT

Natavan Pashayeva

Teacher, Azerbaijan State Pedagogical University, Faculty of Primary Education, Department of Primary Education, pasayeva.natavan@mail.ru, ORCİD: 0009-0001-4269-7681

ABSTRACT

In the modern education system, the active integration of children with special educational needs into society and the educational environment is considered one of the key directions of the inclusive approach. In this process, alongside the school, the family environment also has a significant impact on the child's social, emotional, psychological, and academic development. The aim of the study is to identify the main directions of inclusive support for children with special educational needs within the family environment and to theoretically examine the role of the family in this process. The study considers the importance of family members taking into account the child's individual characteristics, supporting their independence and self-confidence, establishing positive emotional relationships, encouraging their participation in daily activities, and cooperating with the educational institution. The analysis indicates that creating an accepting, safe, and supportive environment within the family provides important conditions for the development of the child's potential and socialization. At the same time, increasing parents' awareness of inclusive education, applying individualized approaches, and strengthening family-school cooperation are important factors that enhance the effectiveness of the educational and developmental process of children with special educational needs. In conclusion, inclusive support within the family environment serves not only to meet the educational needs of the child but also to promote their social participation, emotional well-being, and independent living skills.

Keywords: special educational needs, inclusive education, family environment, parental support, individualized approach, socialization, family-school cooperation.

İLKOĞRETİM ÖĞRENCİLERİNDE SENSÖRİMOTOR ENTEGRASYON VE SEREBELLO-KORTİKAL NÖRONAL DÖNGÜLERİN KOĞNİTİF DÜZENLEME VE DİKKAT AKTARIMI ÜZERİNDEKİ NÖROBİYOLOJİK ROLÜ

Dr. Tarana AKBARİ

Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Şamahı Şubesi

Sosyal ve Özel Disiplinler Bölümü

Biyoloji alanında Felsefe Doktoru, Doktor Öğretim Üyesi

E-posta: akbarietmp@gmail.com

Özet

Geleneksel nöroanatomi anlayışında yalnızca motor koordinasyon ve kas tonusunun düzenlenmesinden sorumlu bir merkez olarak değerlendirilen beyincik (*cerebellum*), güncel fonksiyonel nöro-görüntüleme (fMRI, DTI) ve klinik çalışmalar ışığında koğnitif süreçlerin, yürütücü işlevlerin ve dikkat kontrolünün temel düzenleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu araştırma, ilkokul çağındaki (6–10 yaş) çocuklarda sensörimotor entegrasyon süreçlerinin ve prefrontal korteks ile serebellum arasında kurulan çift yönlü nöronal döngülerin (*cerebro-cerebellar loops*) koğnitif düzenleme, zihinsel esneklik ve dikkat aktarımı (*attentional shifting*) üzerindeki nörobiyolojik mekanizmalarını incelemektedir. Serebellar posteriör lobların (özellikle Crus I ve Crus II alanları) *nucleus dentatus* ve mediodorsal talamus üzerinden dorsolateral prefrontal korteks (dlPFC) ile oluşturduğu anatomik döngüler, zihinsel işlemlerin zamansal ve uzamsal olarak hassas bir biçimde "metrik ayara" tabi tutulmasını sağlamaktadır. Serebellum, motor eylemlerde kullandığı "içsel ileriye dönük model" (*internal forward model*) algoritmasını bilişsel süreçlere de uygulayarak, düşünce ve dikkat eylemlerindeki hataları önceden tahmin etmekte ve kortikal duyarlılığı güncellemektedir. Araştırmada; M.A. Qarayev ve arkadaşlarının çocuk anatomisi ve merkezi sinir sistemi olgunlaşması bulguları esas alınarak nöro-pedagojik bir duyusal entegrasyon modeli geliştirilmiştir. Elde edilen analizler, ilkokul derslerinde çoklu duyusal uyarım ile desteklenmiş bedensel-motor etkinliklerin serebello-kortikal ağları aktive ederek dikkat aktarımı hızını ve akademik öğrenme performansını artırdığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Serebellum, serebello-kortikal döngüler, sensörimotor entegrasyon, koğnitif düzenleme, dikkat aktarımı, prefrontal korteks.

THE NEUROBIOLOGICAL ROLE OF SENSORY INTEGRATION AND CEREBELLO-CORTICAL NEURONAL LOOPS IN COGNITIVE REGULATION AND ATTENTIONAL SHIFTING IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS

Tarana AKBARI

Azerbaijan State Pedagogical University (ASPU), Shamakhi Branch

PhD in Biology, Senior Lecturer

Email: akbarietmp@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9293-4561

Abstract

In traditional neuroanatomy, the cerebellum was considered solely a center responsible for motor coordination and muscle tone. However, light of modern functional neuroimaging (fMRI, DTI) and clinical studies reveals it as a major regulator of cognitive processes, executive functions, and attentional control. This study investigates the neurobiological mechanisms of sensory integration processes and bidirectional cerebro-cerebellar loops between the prefrontal cortex and the cerebellum regarding cognitive regulation, mental flexibility, and attentional shifting in primary school children (aged 6–10). The anatomic circuits formed by the posterior cerebellar lobes (specifically Crus I and Crus II areas) via the *nucleus dentatus* and mediodorsal thalamus with the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC) provide precise temporal and spatial "metric tuning" of mental operations. Applying its "internal forward model" algorithm—originally used in motor execution—to cognitive processes, the cerebellum predicts errors in thought and attentional tasks and updates cortical responsiveness. Based on the findings of M.A. Garayev et al. regarding child neuro-anatomy and central nervous system maturation, a neuro-pedagogical sensory integration model was constructed. The findings demonstrate that bodily-motor activities supported by multi-sensory stimulation in primary school lessons activate cerebello-cortical networks, thereby accelerating attentional shifting and improving academic learning performance.

Keywords: Cerebellum, cerebello-cortical loops, sensory integration, cognitive regulation, attentional shifting, prefrontal cortex.

1. GİRİŞ

21. yüzyıl nöro-pedagojik araştırmaları, öğrenme süreçlerinin yalnızca serebral korteksin izolasyonu ile gerçekleşmediğini; subkortikal yapıların, özellikle serebellumun (beyincik) tüm zihinsel organizasyonda doğrudan koordinatör rol oynadığını ortaya koymaktadır. Klasik nörolojik yaklaşım, serebellumu kas koordinasyonu, denge, ince motor beceriler ve vestibüler reflekslerin düzenlenme merkezi olarak sınırlandırmaktaydı. Ancak son otuz yılda gelişen difüzyon tensör görüntüleme (DTI) ve fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) teknolojileri, serebellumun insan nöron sayısının %50'sinden fazlasını barındırdığını ve bu yüksek nöronal yoğunluğun yalnızca hareket kontrolü için değil, karmaşık koğnitif işlevler için de kullanıldığını kanıtlamıştır.

İlkokul çağındaki (6–10 yaş) çocuklarda sensoryal uyarılara verilen tepkilerin düzenlenmesi, görsel-işitsel-dokunsal bilgilerin birleştirilmesi (sensörimotor entegrasyon) ve bir görevden diğerine odak geçişinin yapılması (attentional shifting) henüz tam olgunlaşmamış prefrontal korteks fonksiyonlarına dayanır. Bu gelişimsel evrede serebellum, prefrontal kortekse "bilişsel destek ve işlemci hızı" sağlayan ana organ olarak işlev görür. Prefrontal korteks ile serebellum arasında kurulan kapalı nöronal döngüler (cerebro-cerebellar loops), sensoryal verilerin işlenme kalitesini artırarak çocuğun dersteki dikkatini toplamasına, uyaranlar arasında esnek geçiş yapabilmesine ve akademik becerileri (okuma, yazma, problem çözme) kalıcı şemalar halinde otomatikleştirmesine olanak tanır.

Bu çalışmanın amacı; sensörimotor entegrasyon ve serebello-kortikal nöronal ağların nörobiyolojik altyapısını çözümlemek, serebellumun dikkat aktarımı ve koğnitif düzenlemedeki rolünü açıklamak ve bu mekanizmaları M.A. Qarayev ve arkadaşlarının pedagojik-hijyenik yaklaşımı çerçevesinde ilkokul öğretim süreçlerine entegre etmektir.

1.1. Kuramsal Çerçeve ve Nörobiyolojik Temeller

Serebello-Kortikal Döngülerin Anatomik Mimarisi (*Cerebro-Cerebellar Loops*)

Serebellum ile serebral korteks arasındaki iletişim, iki ana yolak üzerinden kapalı devralar halinde gerçekleşir:

1. **Kortiko-Ponto-Serebellar Yolak (Giriş Yolu):** Dorsolateral Prefrontal Korteks (dlPFC), Anteryör Cingulate Korteks (ACC) ve Parietal Assosiasyon Korteksinden çıkan efferent nöronal lifler, pons tünellerindeki nükleuslara (*nuclei pontis*) ulaşır. Buradan çıkan tırmanıcı ve yosunlu lifler (*mossy fibers*), karşı taraf serebellar kortekse (özellikle Neocerebellum; Crus I ve Crus II lobüllerine) bilgi taşır.
2. **Serebello-Talamo-Kortikal Yolak (Çıkış Yolu):** Serebellar korteksteki Purkinje hücreleri işlenmiş sinyali derin serebellar çekirdeğe, özellikle *nucleus dentatus*'un ventrolateral (bilişsel) porsiyonuna aktarır.

Buradan çıkan aksonlar, mediodorsal ve ventrolateral talamus üzerinden tekrar prefrontal kortekse (Saha 9, 10, 46) ulaşarak döngüyü tamamlar.

"Düşünce Dizmetrisi" ve İçsel İleriye Dönük Modeller (*Internal Forward Models*)

Serebellar nörolojinin öncülerinden Jeremy Schmahmann (1998, 2019) tarafından tanımlanan "Serebellar Bilişsel Duyusal Sendrom" (*Cerebellar Cognitive Affective Syndrome*) teorisine göre; serebellum motor alanda gösterdiği akıcılık ve doğruluk işlevini bilişsel süreçlerde de sergiler. Serebellum, tıpkı bir kas hareketinde oluşan sapmayı düzelttiği gibi, düşünce, dil ve dikkat süreçlerindeki sapmaları da düzeltir. Bu durum "Dysmetria of Thought" (Düşünce Dizmetrisi) kavramı ile açıklanır. Serebellum, prefrontal korteksten gelen niyeti alır, çevreden gelen sensörimotor verilerle kıyaslar ve milisaniyeler düzeyinde bir "içsel ileriye dönük model" (*internal forward model*) oluşturarak muhtemel bilişsel hataları henüz gerçekleşmeden nötralize eder.

Sensörimotor Entegrasyon ve Dikkat Aktarımı (*Attentional Shifting*)

Dikkat aktarımı, bireyin bir görsel veya işitsel uyarandan odağını çekip hızla yeni bir uyarına yöneltmesi becerisidir. Bu süreç, parietal korteks ve superior kollikulus kadar serebellar vermis ve lobül VIIB/VIII yapılarına da bağlıdır. Serebellum, sensoryal girdileri (görsel, işitsel, propriyoseptif) entegre ederek parietal ve prefrontal korteksteki "dikkat ağlarının" uyarılma eşiğini ayarlar. Sensörimotor entegrasyon zayıf olduğunda, çocuk duyusal uyaranlar karşısında nöral işleme gecikmesi yaşar; bu durum sınıfta dikkat dağınıklığı, komutları geç algılama ve aşırı duyusal yüklenme (*sensory overload*) olarak ortaya çıkar.

Qarayev et al. ve Əkbərova'nın Pedagojik-Nörolojik Yaklaşımı

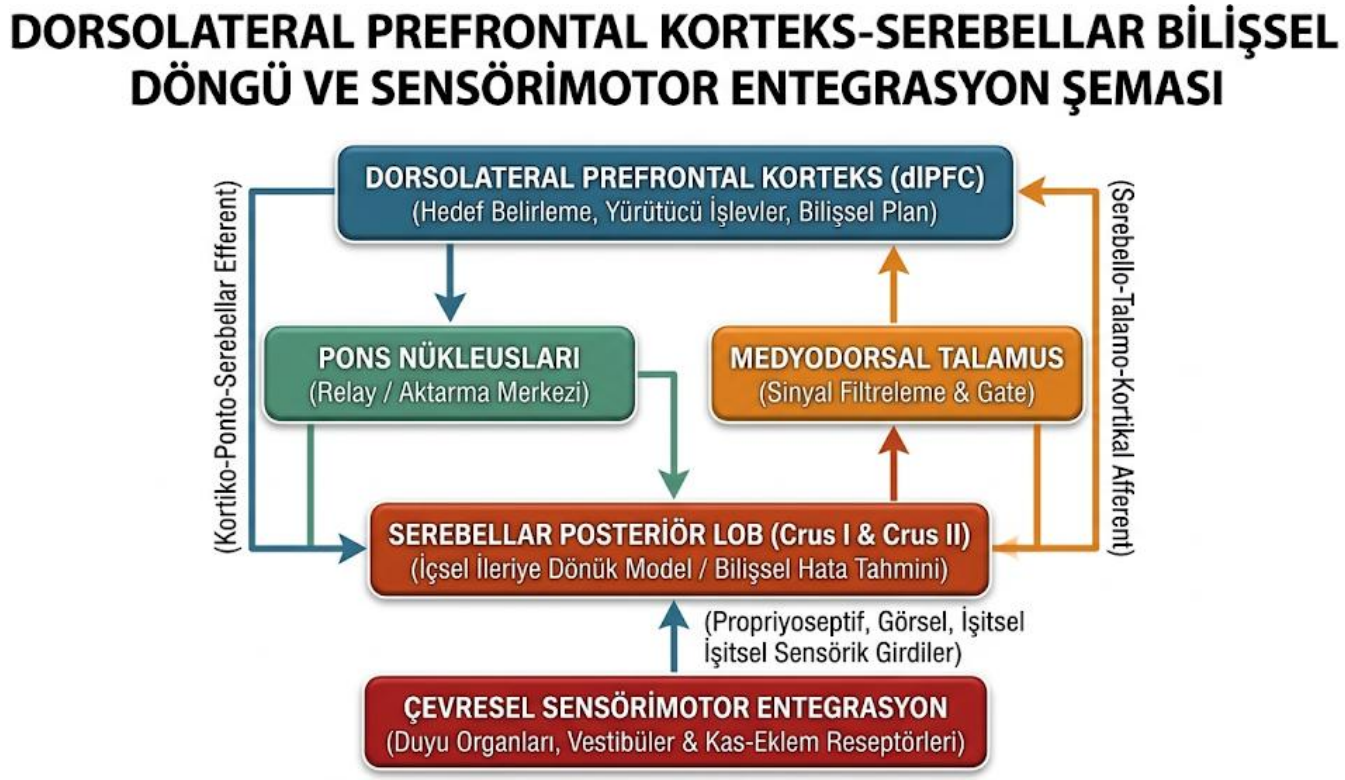
Qarayev, Mehdizadə ve Mehbalıyeva (2021), ilkokul öğrencilerinin merkezi sinir sisteminde uyarılma ve tormozlanma (ketleme) süreçlerinin henüz tam dengelenmediğini, duyu organlarından gelen reseptör sinyallerinin refleks yaylarında ve subkortikal merkezlerde işlenme kapasitesinin fiziksel aktivite ve düzenli propriyoseptif uyarım ile güçlendiğini ifade etmektedir. Akbari (2026) ise Hayat Bilgisi ve fen derslerinin öğretiminde yalnızca sözel anlatımın yetersiz kaldığını; çocuğun duyusal organlarını, ince ve kaba motor kaslarını sürece dahil eden interaktif duyusal oyunların bilişsel kavramayı doğrudan hızlandırdığını vurgulamaktadır. Bu bulgular, serebello-kortikal ağların pedagojik olarak uyarılmasının teorik zeminini oluşturur.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, serebello-kortikal nöronal ağlar, sensörimotor entegrasyon, serebellar bilişsel fonksiyonlar ve pediyatrik nöro-pedagoji alanındaki deneysel, klinik ve teorik literatürün nitel analizi ve fonksiyonel nöronal modellemesidir. Araştırmada uluslararası sinirbilim ve nöro-görüntüleme literatürü (Schmahmann, 2019; Ito, 2008; Stoodley & Schmahmann, 2009; Koziol et al., 2014) ile yerel pediyatrik fizyoloji ve eğitim metodolojisi kaynakları (Qarayev et al., 2021;) sentezlenerek nöro-pedagojik bir uygulama modeli türetilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan nöro-anatomik ve fonksiyonel sentez sonucunda, prefrontal korteks ile serebellum arasındaki çift yönlü bilgi akışı ve sensörimotor entegrasyon devresi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Prefrontal korteks ve serebellum arasındaki çift yönlü bilişsel-sensörik nöronal döngü modeli (*Cerebro-Cerebellar Loop*).

3.1. Klasik ve Modern Serebellar Yaklaşımın Karşılaştırmalı Analizi

Serebellumun insan organizmasındaki işlevlerine dair geleneksel nörolojik bakış açısı ile serebello-kortikal bilişsel döngüleri esas alan modern nöro-sensörik model arasındaki farklar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Geleneksel motor serebellum yaklaşımı ile modern serebello-kortikal bilişsel döngü modelinin karşılaştırılması

Parametre / Özellik	Geleneksel Motor Yaklaşım	Modern Serebello-Kortikal Döngü Modeli
Temel İşlev Alanı	Motor koordinasyon, postür, denge	Motor + Koğnitif düzenleme, dikkat aktarımı, dil, empati
Anatomik Bağlantı	Motor korteks, bazal ganglionlar, omurilik	Prefrontal korteks (dlPFC), Parietal korteks, Talamus, ACC
Serebellar İşlem Birimi	Anterior Lob (I-V lobülleri)	Posterior Lob (Crus I, Crus II, Lobül VII)
Bilişsel Mekanizma	Yok (Sadece refleksif kontrol)	İçsel İleriye Dönük Model (*Internal Forward Model*)
Sensörimotor Rolü	Kas kastırılması ve gerim uyumu	Duyusal entegrasyon, duyusal girdilerin zamanlaması
Eğitimdeki Yansıması	Beden eğitimi ve fiziksel hareket	Çoklu duyusal öğrenme, odaklanma eğitimi, sensoryal oyunlar

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Araştırma bulguları, serebellumun yalnızca fiziksel dengeden sorumlu bir organ olmadığını, prefrontal korteks ile kurduğu yoğun nöronal döngüler (cerebro-cerebellar loops) sayesinde çocukta dikkat aktarımı (attentional shifting), dürtü kontrolü, duyusal entegrasyon ve zihinsel esnekliği doğrudan yönettiğini kanıtlamaktadır. Serebellum, sensoryal sistemlerden gelen verileri milisaniyelik zaman ölçeklerinde işleyip doğrulayarak prefrontal korteksin aşırı yüklenmesini önlemekte ve zihinsel süreçlere işlem hızı kazandırmaktadır.

Qarayev ve arkadaşlarının (2021) dikkat çektiği çocuk sinir sisteminin gelişimsel hassasiyetleri ve Əkbəri'nin (2026) ilkokul öğretim metodolojisi ilkeleri ışığında, öğretim süreçlerinde serebello-kortikal ağları uyaracak nöro-pedagojik öneriler şunlardır:

1. Çoklu Duyusal Metodoloji (Multi-Sensory Teaching): "Hayat Bilgisi" ve fen derslerinde konular yalnızca sözel/görsel yolla değil; dokunsal, işitsel ve kinestetik uyarımı aynı anda içeren materyallerle işlenmelidir. Bu durum sensörimotor entegrasyonu güçlendirerek Crus I/Crus II aktivasyonunu artırır.
2. Koordinatif Hareket Molaları (Serebellar Beyin Egzersizleri): Ders aralarında veya ders içi geçişlerde çocuklara çapraz ekstremite hareketleri (sağ el-sol diz teması), denge tahtası egzersizleri ve ritmik el-göz koordinasyonu oyunları yaptırılmalıdır. Bu egzersizler nucleus dentatus üzerinden prefrontal kortekse giden talamik yolları aktive ederek kortikal uyanıklığı tazeler.
3. Dikkat Aktarımı Egzersizleri (Attentional Shifting Tasks): Öğrencilere görsel bir uyarandan işitsel bir uyarana hızla geçmelerini gerektiren oyunlaştırılmış görevler verilmelidir. Serebellumun kestirimci algoritması bu tür hızlı geçiş egzersizleri ile esneklik kazanır.

4. Erken Çocuklukta İnce Motor ve Denge Çalışmaları: Yazı yazma ve okuma güçlüğü çeken çocuklarda doğrudan kortikal zorlama yerine, serebellar altyapıyı destekleyen denge, çizgi, kilden şekil yapma ve ritm çalışmaları uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ito, M. (2008). Control of mental activities by internal models in the cerebellum. Nature Reviews Neuroscience, 9(4), 304-313. https://doi.org/10.1038/nrn2332
- Koziol, L. F., Budding, D., Andreasen, N., D'Arrigo, S., Bulgheroni, S., Imamizu, H., ... & Yamazaki, T. (2014). Consensus paper: The cerebellum's role in movement and cognition. Cerebellum, 13(1), 151-177. https://doi.org/10.1007/s12311-013-0511-x
- Qarayev, M. A., Mehdizadə, N. M., & Mehbalıyeva, E. C. (2021). Uşağın anatomiyası, fiziologiyası və gigiyenası. Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti. Bakı: Müəllim nəşriyyatı.
- Schmahmann, J. D. (1998). Dysmetria of thought: Clinical consequences of cerebellar dysfunction on cognition and affect. Trends in Cognitive Sciences, 2(9), 362-371. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01218-2
- Schmahmann, J. D. (2019). The cerebellum and cognition. Neuroscience Letters, 688, 62-75. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.07.005
- Stoodley, C. J., & Schmahmann, J. D. (2009). Functional topography in the human cerebellum revealed by functional imaging studies. NeuroImage, 44(2), 489-501. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.08.039
- Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society: The development of higher psychological processes. Harvard University Press.

YER ÜZƏRİNDƏ HƏYATIN ƏMƏLƏ GƏLMƏSİ VƏ YAŞAYIŞ UĞRUNDA MÜBARİZƏ PROSESİNƏ KLASSİK VƏ SİNERGETİK BAXIŞLAR

YERYÜZÜNDE YAŞAMIN OLUŞUM SÜRECİNE VE HAYATTA KALMA MÜCADELESİNE İLİŞKİN KLASİK VE SİNERJİK GÖRÜŞLER

Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi, Bioloji öğretim teknolojisi bölümü

***(amalya.hasanova59@mail.ru) ORCID:* 0000-0002-2196-3215**

Özet

Dünya'da yaşamın oluşumuna ilişkin dini, evrimsel ve son yıllarda sinerjik görüşler var. Bu bakış açısına göre, tüm gezegensel evrimin, geçmişinin, bugününün ve geleceğinin kapsamlı bir incelemesi olmadan noosferi anlama girişimleri ve dünya'nın evriminin evrensel modellerini belirleme girişimleri sonuçsuz kabul edilmelidir. Sentetik evrimin özelliklerini ve teknosferin büyük ölçekli dönüşümlerin tüm seyri üzerindeki etkisinin derecesini de anlamak gerekir. Yaşamın kökenine, evrim sürecine kozmik yaklaşım, bu paradigmanın daha da iyileştirilmesini gerektirir, çünkü dünya sistemleri kozmik enerji akışı içinde gelişir ve bu enerjilerin dalgaları gezegensel evrimin hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, bu da niteliksel olarak yeni yapıların ortaya çıkmasına ve mevcut yapıların yeniden yapılandırılmasına yol açar. Ayrıca, karasal madde ile uzay arasındaki genetik bağlantı sadece geçmişinde değil, gelecekte de kendini gösterir. Dünyadaki yaşamın oluşumu ve gelişimi sadece gezegenin yüzeyiyle sınırlı olmakla kalmıyor, aynı zamanda çevredeki alana da giderek daha fazla yayılıyor. Araştırmacılar kendi gezegensel evrim yasalarının varlığını hesaba katmazlar, bu yasalar diğer doğal yasalar gibi nesnel olarak hareket eder ve insanın öznel arzularına bağlı değildir. Bu, modern bilimin çeşitli alanlarında, özellikle sinerjilerde, denge dışı termodinamikte, sistem teorisinde ve gezegensel ve evrensel evrim kavramlarının geliştirilmesinde doğrulanmaktadır.Doğada meydana gelen birçok süreç bilgilendirici olarak kabul edilebilir. Bunlar örneğin gelişim süreçleri, biyolojik taşıma, tek hücreli organizmalardaki süreçlerdir. Bilim adamlarının bu süreçleri incelerken gözlemledikleri, doğadaki bilgi işlemenin evrensel ilkelerini doğal-bilimsel bağlam (fizyoloji, genetik, kuantum fiziği) açısından açıklamaktadır.

Anahtar kelimeler: yaşamın kökeni, evrimsel süreç, kozmik yaklaşım, gezegensel evrim, denge dışı termodinamik, sistem teorisi

CLASSICAL AND SYNERGETIC VIEWS ON THE PROCESS OF THE FORMATION OF LIFE ON EARTH AND THE STRUGGLE FOR SUBSISTENCE

Associate Professor, Amalya Hasanova

Azerbaijan State Pedagogical University, Department of Biology Instructional Technology

***(amalya.hasanova59@mail.ru) ORCID:* 0000-0002-2196-3215**

Abstract

There are religious, evolutionary and, in recent years, synergistic views on the formation of life on earth. From this point of view, attempts to conceptualize the noosphere without a thorough study of all planetary evolution, its past, present and future and without identifying universal patterns of Earth development should be considered fruitless. It is also necessary to understand the features of synthetic evolution and the degree of influence of the Technosphere on the entire course of large-scale transformations. The cosmic approach to the origin of life, to the process of evolution, requires further improvement of this paradigm, since terrestrial systems develop within the flow of cosmic energy, and the waves of these energies significantly affect the pace of planetary evolution, leading to the emergence of qualitatively new structures and restructuring of existing ones. In addition, the genetic relationship between terrestrial matter and space is manifested not only in its past, but also in its future. The formation and development of life on earth is not limited only to the surface of the planet, but also increasingly spreads to the surrounding spaces. Researchers do not take into account the existence of their own laws of planetary evolution, which act objectively, like other natural laws, and do not depend on the subjective desires of man. This is confirmed in various fields of modern science, in particular in the development of synergetics, nonequilibrium thermodynamics, systems theory and the concepts of planetary and universal evolution.Many processes occurring in nature can be considered informational. These are, for example, developmental processes, biological transport, processes in unicellular organisms. Scientists observe when studying these processes, explaining the universal principles of information processing in nature from the point of view of the natural-scientific context (physiology, genetics, quantum physics).

Key words: origin of life, evolutionary process, cosmic approach, planetary evolution, nonequilibrium thermodynamics, systems theory

Giriş. Həyatın mənşəyinə, təkamül prosesinə fərqli yanaşmalar. Yer üzərində həyatın əmələ gəlməsinə dini, təkamül və son illərdə sinergetik baxışlar mövcuddur. Bu nöqteyi-nəzərdən bütün planetar təkamülün, onun keçmişini, bu gününü və gələcəyini hərtərəfli araşdırmadan və Yer kürəsinin inkişafının universal qanunauyğunluqlarını müəyyən etmədən noosferi konsepsiyalaşdırmaq cəhdləri nəticəsiz hesab edilməlidir. Sintetik təkamülün xüsusiyyətlərini və texnosferin genişmiqyaslı transformasiyaların bütün gedişatına təsir dərəcəsini də anlamaq lazımdır. Həyatın mənşəyinə, təkamül prosesinə kosmik yanaşma bu paradiqmanın daha da təkmilləşdirməsini tələb edir, çünki yerüstü sistemlər kosmik enerji axını daxilində inkişaf edir və bu enerjilərin dalğaları planetar təkamülün tempinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir, keyfiyyətcə yeni strukturların yaranmasına və mövcud olanların yenidən qurulmasına səbəb olur. Bundan əlavə, yerüstü maddə ilə kosmos arasındakı genetik əlaqə təkcə onun keçmişini deyil, həm də gələcəyində özünü göstərir. Yer üzərində həyatın əmələ gəlməsi və inkişafı yalnız planetin səthi ilə məhdudlaşmır, həm də getdikcə ətraf məkanlara da yayılır. Tədqiqatçılar planetar təkamülün öz qanunlarının mövcudluğunu nəzərə almırlar, bu qanunlar digər təbii qanunlar kimi obyektiv şəkildə fəaliyyət göstərir və insanın subyektiv istəklərindən asılı deyil. Bu, müasir elmin müxtəlif sahələrində, xüsusən də sinergetika, qeyri-tarazlıq termodinamika, sistemlər nəzəriyyəsi və planetar və universal təkamül anlayışlarının inkişafında təsdiqlənir.Təbiətdə baş verən bir çox proses məlumat xarakterli hesab edilə bilər. Bunlar, məsələn, inkişaf prosesləri, bioloji nəqlolunma, birhüceyrəli orqanizmlərdəki proseslərdir. Elm adamları bu prosesləri öyrənərkən müşahidə etdikləri, təbiətdə məlumatların işlənməsinin universal prinsiplərini təbii-elmi kontekst baxımından (fiziologiya, genetika, kvant fizikası) izah edirlər [1].

Həyatın mənşəyinə, təkamül prosesinəklassik və sinergetik yanaşmaların tarixi təhlili. XVII və XVIII əsrlərdə inkişaf ideyaları cansız təbiətə də yayılmağa başladı. Bu, R. Dekart, İ. Nyuton, İ. Kant, P.S. Laplas, J.L. Buffon, J.O. La Mettrie, K. F. Wolff, J. Potocki və Ç. Darvinin əsərlərində öz əksini tapmışdır. R. Dekart maddənin yaradıldığı andan etibarən onun bəzi hissələrinin bir istiqamətdə, digərlərinin isə digər istiqamətdə hərəkət etməyə başladığını, bəzilərinin daha sürətli, digərlərinin isə daha yavaş (və ya hərəkətsiz qaldığını) və maddənin sonradan təbiətin adi qanunlarına uyğun olaraq hərəkətini davam etdirdiyini fərz edirdi. J.L. Buffon kosmik cisimlərin əmələ gəlməsində cazibə qüvvəsinin rolundan danışırdı. O qeyd etdi ki, cazibə qüvvəsi kimi tanıdığımız qüvvə bütün maddələrə paylanır: planetlər, kometlər, Günəş, Yer və bütün digər cisimlər onun qanunlarına tabedir və bu, kainatın nizamlılığı üçün əsas rol oynayır [2].

Fundamental elmlərdə özünütəşkil haqqında ilk fikirlər XVIII əsrdə aydın şəkildə ortaya çıxmağa başladı. Onlar əsasən klassik siyasi iqtisadiyyatın banisi Adam Smit (1723-1790) ilə əlaqələndirilir. Onun "Millətlərin

sərvətinin təbiəti və səbəbləri haqqında tədqiqat" əsərində fərdlərin xaotik, tez-tez ziddiyyətli istəklərindən nizamın kortəbii şəkildə yaranması və tələb və təklif arasında tarazlıq yaratması mexanizmi təsvir olunur.

Hal-hazırda, müasir özünütəşkilat ideyalarının humanitar elmlərə tətbiq olunmadığına dair əsassız bir inanc mövcuddur, çünki onlar ciddi təbiət elmləri çərçivəsində yaranıb və qeyri-tarazlıq sistemlərinin termodinamikası ilə əlaqəli riyazi aparatlarla təsvir olunur. Bu yanlış təsəvvür özünütəşkilat ideyalarının yaranmasının onların riyazi təsvirinin ortaya çıxması ilə əlaqəli olması faktından irəli gəlir. Əlbəttə ki, özünütəşkilat ideyalarının ilkin riyazi əsaslandırılmaması, lakin bu, onların humanitar elmlərə tətbiq olunmaması ilə bağlı deyil, riyazi aparatın o dövrdə hələ kifayət qədər inkişaf etməməsi ilə bağlıdır [3].

Özünütəşkil ideyaları açıq qeyri-tarazlıq sistemlərinin termodinamikasının inkişafı yolu ilə cansız maddələrə nüfuz etmişdir. Qeyri-tarazlıq termodinamika kontekstində, sistemin ətraf mühitlə qarşılıqlı təsiri yolu ilə mürəkkəb strukturların əmələ gəlməsini izah etmək mümkün olmuşdur, bu müddət ərzində sistem tarazlıqdan çıxır və qeyri-sabit vəziyyətə keçir və nəticədə yeni strukturlar əmələ gəlir. Tarazlıqsızlıq bunda əsas rol oynayır. Makroskopik fizika səviyyəsində, dalğalanma səviyyəsində və ya mikroskopik səviyyədə olsun, bütün səviyyələrdə nizamın mənbəyi qeyri-tarazlıqdır. Qeyri-tarazlıq "xaosdan nizam" yaradan şeydir. Ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqədə özünütəşkil problemlərinin həlli 1970-ci illərdə ortaya çıxan və sistemlərin qarşılıqlı təsiri və inkişafı baxımından ən müxtəlif təbiətli müxtəlif prosesləri vahid perspektivdə izah etdiyini iddia edən fənlərarası bir sahəni təmsil edən sinergetika (yunanca sinergiya sözündən, "birgə fəaliyyət" mənasını verir) tərəfindən həll edilir. Sinergetika, xarici mühitlə enerji mübadiləsi ilə sabitləşdirilmiş qeyri-tarazlıq dalğalanmalarından irəli gələn elementlərin koordinasiyalı (əlaqəli) davranışının, kollektiv rejimlərin (elementlərin ölçüsündən daha böyük miqyaslı davranış) ortaya çıxmasını təsvir edir. Sinergetika hərəkətə deyil, yeni strukturların, yəni yeni keyfiyyətlərin doğulması və inkişafı prosesinə diqqət yetirir.

Nəticə. **Yer üzündə həyatın mənşəyi və təkamülü mexanizmləri** müxtəlif elmi perspektivlərdən izah olunur. Klassik yanaşma klassik biologiya, genetika və darvinizmə əsaslanır, proseslərə xətti inkişaf, təsadüfi mutasiyalar və təbii seleksiya prizmasından baxır. Sinergetik yanaşma həyatı qapalı sistemlər üçün termodinamika qanunlarına meydan oxuyaraq xaosdan özünü təşkil edən açıq, qeyri-xətti bir sistem kimi görür. Sintetik təkamül nəzəriyyəsi Darvinin təkamül nəzəriyyəsinin bütün müsbət elementlərini özündə birləşdirir, eyni zamanda onu tamamlayır və daha da inkişaf etdirir, bəzi əsassız təkliflərini rədd edir. Əsas məzmununu, yəni təbii seleksiya prinsipini təkamül prosesinin istiqamətləndirici qüvvəsi kimi saxlayır [4].

Fərqlər: Təkamülün başladığı elementar strukturu aydın şəkildə müəyyən edir; hazırda bu struktur bir neçə populyasiyanı əhatə edən fərd və ya növ deyil, populyasiya hesab olunur. Müasir nəzəriyyə populyasiyanın

genotipindəki sabit dəyişiklikləri elementar təkamül fenomeni və ya prosesi hesab edir. O, təkamülün amillərini və hərəkətverici qüvvələrini daha geniş və dərindən şərh edir, ilkin və ikinci dərəcəli amilləri fərqləndirir. Bundan əlavə, sintetik təkamül nəzəriyyəsi ilə Darvinin nəzəriyyəsi arasındakı əhəmiyyətli fərq mikrotəkamül və makrotəkamülün öyrənildiyi sahələr arasındakı aydın fərqdir. Mikrotəkamül nəzəriyyəsi yeni bir növün əmələ gəlməsinə səbəb ola biləcək populyasiyaların genetik strukturundakı dəyişiklikləri araşdırır. Bunun əksinə olaraq, makrotəkamül, növlər üzərində canlı təşkilatlanma formalarının ortaya çıxmasına səbəb olan uzun bir tarixi dövr ərzində baş verən təkamül transformasiyalarını əhatə edir.

Müasir elmdə özünütəşkil konsepsiyası. Sinergetika Konsepsiyası. Özünütəşkil mürəkkəb sistemlərdə təkamülün əsas prosesidir və özünütəşkilin atın dönməz proseslərindən (dövrlərindən) ibarətdir. Özünütəşkilin təkamülü maddənin, enerjinin və informasiyanın getdikcə daha təkmilləşmiş strukturuna və dinamikasına gətirib çıxarır. İstənilən özünütəşkil və təkamül üçün şərtlər bunlardır: dinamik sistemdən enerji axını, sistem müxtəlifliyi və rədd edilmiş altsistemlərin və ya elementlərin seçilməsi və məhv edilməsi. Kibernetik yanaşma, sistemin müstəqil şəkildə onun ətrafında özünütəşkil edərək çalışdığı əvvəlcədən müəyyən edilmiş bir məqsədin mövcudluğunu fərz edir. Sinergetik yanaşma, mexanizmin məqsəd tələb etmədiyini fərz edir; sistemin özünütəşkili özünü sistemin elementləri arasında əməkdaşlığın təsiri kimi göstərir. Özünütəşkilatın hər iki mexanizmi: kibernetik və sinergetik, eyni təmələ malikdir: strukturların istehsalına və sistem daxilində təşkilin yaradılmasına imkan verən elementlər arasında özünə istinad əlaqələri. Sinergetika, mürəkkəb, inkişaf edən sistemlərdə özünütəşkil qanunları elmidir. Sinergetika mürəkkəb fiziki reallığın müxtəlif formalarının xaosdan necə yarandığını nümayiş etdirməyə çalışır. Bu, fizika və biologiya arasında körpü yaradır. Özünütəşkilin müasir konsepsiyaları bizə təkamül biologiyası və fizika arasındakı ənənəvi paradiqma boşluğunu aradan qaldırmağa imkan verir. Sinergetikanın məqsədi xaosdan nizamın necə yaranması problemini həll etməkdir. Axı, istənilən təşkilin mahiyyəti sistemin elementlərinin nizamlılığındadır.

KAYNAKLAR

1.Həsənova A.M, Rüstəmli R.A., **(**2021) Müasir təbiətşünasliğin sosial-sinergetik konsepsiyasi, ADPU nəşriyyatı, Bakı – 31-121 s.

2. Foffi G, Pastore A, Piazza F, Temussi PA., (2012), Macromolecular crowding: chemistry and physics meet biology

3.Kordium VA.Biosystems. 2021 Nov;209:104500. doi: 10.1016/j.biosystems.2021.104500. Epub 2021 Aug 3.PMID: 34352326

4.Carl Zimmer, (2009) Yale UniversityOn the Origin of Life on Earth

NEYROPEDAQOGIKANIN KOQNİTİV ASPEKTLƏRİ

Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi, Bioloji öğretim teknolojisi bölümü

***(amalya.hasanova59@mail.ru) ORCID:* 0000-0002-2196-3215**

NÖROPEDAGOJİNİN BİLİŞSEL YÖNLERİ

Özet

Nöropedagoji, öğrenmeyi daha doğal ve etkili hale getirmek için beyin bilgilerini öğrenme yöntemleriyle birleştirir. Nöropedagojide bilişsel yönler, kişinin bilgiyi (hafıza, dikkat, düşünme ve algı) algıladığı ve işlediği zihinsel süreçlerdir. Nöropedagoji, beynin bu görevlerle nasıl başa çıktığını inceler ve eğitim programlarını bunlara uyarlar. Toplumun gelişimindeki olumsuz eğilimlerin üstesinden gelebilecek bir bireyin ekolojik kültürünün oluşumuyla en yakından ilişkili ana alan eğitimdir. Bu alanda, kilit bir figür ve yetkin bir profesyonel olarak öğretmen çevre eğitimi araçlarından oluşan bir cephaneliğe sahip, yaratıcı bir kişiliğe sahip, tek bir pedagojik süreci yeşillendirebilen, mesleki bilgilerini geliştirmeye ve becerilerini şekillendirmeye çalışan usta, odak noktası olmaya devam ediyor. Pedagogların ekolojik eğitiminin amacı, pedagogun daha da gelişmesine, çevresel yeterliliğine katkıda bulunmak olmalıdır. Çevre eğitimi, tüketicinin çıkarına olan insanlığın yeni bilgilerini, yeni ahlakını ve değer sistemini oluşturmalıdır. Modern toplumun sürdürülebilir kalkınmaya geçişinin temel koşullarından biri, sosyal bir kurum olarak modern eğitimin amacının ve içeriğinin yeniden düzenlenmesidir. Pedagojide bilgi ve becerilerin aktarılması, bu disiplinin ait olduğu en önemli iki alandan biridir. Başkalarının keşfettiği bilginin kullanılması, insanların yaptığı değişiklikler için çok önemliydi. Taklit, insanların son 200.000 yıldır yaşadığı aşırı çevresel koşullara uyum sağlamak, yenilik yaratmak ve uyum sağlamak için önemliydi. Bu aynı zamanda toplulukların, insan gruplarının ve içlerinde var olan ilişkilerin oluşumunda önemli rol oynayan kültürün oluşumunu da etkiledi.

Anahtar kelimeler: bilişsel pedagoji, nörodidaktik, medya pedagojisi, memetik, bilişsel teoriler.

COGNITIVE ASPECTS OF NEUROPEDAGOGY

Associate Professor, Amalya Hasanova

Azerbaijan State Pedagogical University, Department of Biology Instructional Technology

***(amalya.hasanova59@mail.ru) ORCID:* 0000-0002-2196-3215**

Abstract

Neuropedagogy combines brain information with teaching methods to make learning more natural and effective. In neuropedagogy, cognitive aspects are mental processes (memory, attention, thinking and perception) in which a person receives and processes information. Neuropedagogy studies how the brain copes with these tasks and adapts educational programs to them. The main area most closely related to the formation of the ecological culture of the individual, which is able to overcome negative trends in the development of society, is education. The teacher remains in the center again as a key figure and competent professional-master in this area, a whole arsenal of environmental education tools, a creative personality, a figure who can carry out the greening of a single pedagogical process, strive to develop his professional knowledge and form skills. The purpose of environmental training of teachers should be to contribute to the further development of the teacher, his environmental competence. Environmental education should form new knowledge, new morality and the value system of mankind, which is in the interests of consumers. One of the main conditions for the transition of modern society to sustainable development is the reform of the goals and content of existing education as a social institution. The transfer of knowledge and skills in pedagogy is one of the two most important areas to which this discipline belongs. The use of knowledge discovered by others has been very important for the changes that human beings make. Imitation has been essential for development, the creation of innovation, and the adaptation of humans to the extreme environmental conditions they have faced over the past 200,000 years. It also influenced the emergence of culture, which played an important role in the formation of communities, groups of people and the relationships that existed within them.

Key words: cognitive pedagogy, neurodidactics, media pedagogy, memetics, cognitive theories.

Giriş. Koqnitiv pedaqogikanın əsas sahələri. Neyropsixoloji, neyrolinqvistik və digər beyin funksiyalarının ali zehni funksiyalar və ali zehni funksiyalar ilə əlaqəsində təhsil məkanına proyeksiyası, təhsil prosesinin neyrbiologiyanın obyektiv qanunlarına əsasən idarə olunmasına imkan verən neyrodidaktika prinsiplərinin inkişaf etdirilməsinə ehtiyac olduğunu göstərir. Təhsil prosesinin strukturuna elementlər kimi neyropedaqoji mövqelər, komponentlər kimi müvafiq təmsilçi altsistemlər və əlaqələr, neyropedaqoji kanallar, vektorlar və şəbəkələr əlaqələr daxildir. Vahid neyropedaqoji sistemin strukturu onun məkan-zaman təşkilini nəzərə alır, onları strukturlaşdıran şaquli və üfüqi neyropedaqoji sahələri müəyyən edir. Didaktika adətən öyrənmə və təhsil, məqsədlər, məzmun, metodlar, vasitələr, təşkilatlanma və əldə edilən nəticələr elmi kimi müəyyən edilir. Neyrodidaktika, öz növbəsində, təhsil məkanlarının təşkilinin neyropedaqoji prinsiplərini, öyrənmə prosesinin neyropedaqoji strukturunu və qrupdaxili psixodinamikanı, eləcə də ən effektiv nəticələrə nail olmaq üçün neyropedaqoji qarşılıqlı əlaqələri dəyişdirməyin metod və vasitələrini araşdıran didaktikanın bir qoludur. Neyrodidaktika nəzəri və metodoloji prinsipləri öyrənən ümumi neyrodidaktika və neyropedaqoji diaqnostika və təlim üçün praktik tövsiyələri əsaslandıran spesifik neyrodidaktikaya bölünür. Beləliklə, təhsil sistemində ənənəvi olaraq müəyyən edilmiş komponentlərə (didaktik, epistemoloji, psixoloji və kibernetik) əlavə olaraq, neyropedaqoji komponentin əlavə edilməsi zəruridir. Ümumilikdə, təhsil məkanına sintaktik inteqrasiya baxımından təklif olunan yanaşma çox perspektivlidir və ixtisaslaşmış psixologiya və pedaqogikada effektiv şəkildə tətbiq oluna bilən tədris və öyrənmə problemlərinə yeni bir perspektiv yaratmağa imkan verir [1].

Pedaqoji elm və koqnitiv elm sahələrində aparılan tədqiqatların nəticələrini təhlil edərək, koqnitiv pedaqogikanın beş əsas sahəsini müəyyən edə bilərik:

Neyrodidaktika,

Neyrotəhsil,

Memetika,

Pedaqoji antropologiya,

Media pedaqogikası.

Neyrodidaktika koqnitiv pedaqogikanın aşağıdakıları əhatə edən bir alt fənnidir:

– təhsil sahəsində pedaqoji fəaliyyəti məqsədlərinə çatmaq üçün optimallaşdırmağa yönəlmiş tədqiqat və təcrübə;

– fərdi qabiliyyətlər və ali zehni funksiyalar, xüsusən də təlim prosesi zamanı insan beynində informasiya emalı haqqında biliklərin tətbiqi problemləri [2].

Neyrodidaktika tədris/öyrənmə prosesinin bioloji potensiala əsaslanmalı olduğunu fərz edir. Bu alt fənn aşağıdakıları nəzərə alır:

– qanunauyğunluqlar, mexanizmlər və inkişaf potensialı;

– beynin və öyrənmə üstünlüklərinin faktiki potensialı;

– təkmilləşmə ehtiyacı və uğur arzusu;

– zəkanın təbiəti və insan şəxsiyyətlərinin müxtəlifliyi;

– özünütəkmilləşdirmə yolu ilə şəxsi inkişaf.

Neyrotəhsil, insan inkişafının qanunauyğunluqlarını, mexanizmlərini və potensialını araşdıran və nevrologiyadan istifadə edərək izah edilən koqnitiv pedaqogikanın bir alt fənnidir. Beyində informasiya emalı haqqında biliklər daha sonra insan şəxsiyyətində şüurlu, məqsədyönlü dəyişikliklər yaratmaq üçün istifadə olunur. Memetika mədəni təkamül nəzəriyyəsidir. Koqnitiv pedaqogikanın bir qolu olaraq, mədəniyyətin təhsil nəzəriyyəsi və praktikasına təsirini öyrənir. Pedaqoji təsirin təhlilində memetika nəzəriyyəsi şagird davranışını müəyyən edən amillərin aşkarlanmasında mühüm rol oynayır. Təhsil standartlarının hazırlanması prosesində bu, mədəni təkamülə xas olan seçim mexanizmlərinin tətbiqini asanlaşdırır. Memetika kateqoriyalarından istifadə edərək koqnitiv pedaqogika, müəyyən bir mədəniyyət daxilində şagirdlərə xas olan ideyaların, davranış modellərinin, üslublarının və ya vərdişlərinin əhatə dairəsini və tətbiqini müəyyən etməyə imkan verir. İnsanlar mədəniyyəti təqlid etmək və çoxaltmaq üçün inanılmaz bir qabiliyyətə malik olduqları üçün, müəllimlərin və şagirdlərin hərəkətlərini izah etmək və bununla da təhsil prosesinə xas olan əlaqələri daha yaxşı başa düşmək üçün memlərdən koqnitiv pedaqogikada (biologiyada genlərin ekvivalenti) istifadə olunur [3].

Koqnitiv pedaqogikanın bir hissəsi olaraq, pedaqoji antropologiya insanlara təhsilə qadir və ehtiyacı olan varlıqlar kimi müraciət edir. Təhsil reallığı fenomenlərindən ibarət gündəlik həyat təcrübəsi başlanğıc nöqtəsinə çevrilir. Bu fenomenləri insan beynində informasiya emalı perspektivindən təhlil etməklə interpretasiya mümkün olur ki, bu da öz növbəsində düzgün pedaqoji qərarların qəbul edilməsini asanlaşdırır və nəticədə pedaqoji fəaliyyəti əsaslandırmaq üçün əsas yaradır [4].

Media pedaqogikası, media vasitəsilə insan ünsiyyəti ilə məşğul olan və medianın fərdlərə təsiri ilə şərtlənən öyrənmə və təhsil mexanizmlərinin çoxölçülü təhlilini təklif edən pedaqoji bir alt fənndir.

Yeni materialın neyrobiologiya baxımından strukturlaşdırılması qaydaları

1. Həmişə yeni məlumatları artıq məlum olanlarla əlaqələndirmək lazımdır. Praktikada bu belə işləyir: yeni bir mövzunu öyrənməzdən əvvəl tələbələrdən mövzu ilə bağlı artıq bildikləri hər şeyi xatırlamalarını xahiş

edin. Məsələn, elementlərin dövri cədvəlini öyrənməzdən əvvəl tanış maddələri və onların xüsusiyyətlərini xatırlayın. Bu, yeni neyron əlaqələri üçün təməl yaradır.

2. Tələbələrə məlumatları müstəqil şəkildə strukturlaşdırmaq imkanı verin. Tələbələr zehni xəritələr, diaqramlar və rəsmlər yarada bilərlər. Şagirdlər məlumatları özləri təşkil etdikdə, beynin müxtəlif sahələri arasında çoxsaylı əlaqələr yaranır ki, bu da yadda saxlamağı yaxşılaşdırır.

3. Yeni məlumatlara emosional və ya praktik kontekst əlavə edin. Məsələn, sinir sistemini öyrənərkən real həyat nümunələrini təhlil edin və özünüzdə təhlükəsiz təcrübələr aparın (məsələn, reflekslərinizi sınaqdan keçirin). Emosional yüklənmiş məlumatlar beynin əlavə sahələrini aktivləşdirir və daha güclü neyron şəbəkələri yaradır.

Müəllimin vəzifəsi şagirdlərimizin sonrakı öyrənməsi və inkişafı üçün təməl rolunu oynayacaq güclü və geniş neyron şəbəkələrinin formalaşması üçün optimal şərait yaratmaqdır [5].

Öyrənmədə yaddaş mexanizmləri: Biliklərin uzunmüddətli yaddaşa necə konsolidasiya edilməsi: Yaddaşımız hər bir yaddaş növünün özünəməxsus rolunu oynadığı mürəkkəb, çoxsəviyyəli bir sistemdir.

1. İşçi yaddaş aktiv informasiya emalının baş verdiyi "masaüstümüzdür". Onun tutumu məhduddur (7 ± 2 element) və cəmi 15-30 saniyə işləyir. Şagird bir problemi həll edərkən və ya yeni materialın izahını izləyərkən, məlumatın saxlanmasını və manipulyasiyasını təmin edən işçi yaddaşdır.

2. Qısamüddətli yaddaş işlək və uzunmüddətli yaddaş arasında ara əlaqə rolunu oynayır. Məlumatı bir neçə dəqiqədən bir neçə saata qədər saxlaya bilir. Bu, şagirdlərə dərsin sonuna və ya ev tapşırığı yerinə yetirilənə qədər materialı yadda saxlamağa imkan verir.

3. Uzunmüddətli yaddaş bizim əsas bilik ehtiyatımızdır. Məhz burada öyrənmə materialını ötürməyə çalışırıq. Əvvəlki yaddaş növlərindən fərqli olaraq, onun tutumu və saxlama müddəti demək olar ki, məhdud deyil.

Nəticə. Neyropedaqogikanın prinsiplərini və onların müəllimlərin gündəlik işində müəllimlərə öyrənmə effektivliyini artırmaq və şagirdlərin idrak qabiliyyətlərinin inkişafı üçün optimal şərait yaratmaq üçün elmi cəhətdən sübut olunmuş vasitələr təqdim edilməlidir. Son onilliklərdə insan beynini anlamağımızda inqilabi irəliləyişin şahidi oluruq. Müasir neyrogörüntüləmə metodları və illərlə davam edən tədqiqatlar bizə öyrənmə prosesini neyron səviyyəsində araşdırmağa imkan verdi. Bu kəşflər pedaqoji elm sahəsinə də təsir göstərərək neyrobiologiya, psixologiya və pedaqogikadakı irəliləyişləri birləşdirən yeni bir sahənin, neyropedaqogiyanın yaranmasına səbəb olmuşdur. Bugünkü müəllimlər bir neçə səbəbdən beynin necə işlədiyini başa düşməlidirlər.

Birincisi, bu, onlara məlumat əldə etməyin təbii mexanizmlərini nəzərə alan daha effektiv tədris strategiyaları yaratmağa imkan verir.

İkincisi, neyrobioloji əsasları anlamaq onlara öyrənmə cədvəllərini düzgün şəkildə qurmağa kömək edir, stress və istirahət arasında növbələşir ki, bu da şagirdlərin fəaliyyətinə birbaşa təsir göstərir.

Üçüncüsü, müxtəlif yaşlarda beynin spesifik inkişaf xüsusiyyətlərini anlamaq onlara uyğun tədris metodlarını seçməyə imkan verir.

Beyni geniş bir sosial şəbəkə kimi təsəvvür edin, burada neyronlar istifadəçiləri, sinapslar isə onlar arasındakı əlaqələri təmsil edir. Bir insan yeni məlumatlarla qarşılaşdıqda, neyronlar arasında yeni əlaqələr yaranır. Bu, sosial mediada insanların yeni mövzular haqqında söhbət etməyə və maraq qrupları yaratmağa başlamasına bənzəyir. Sinaptik plastiklik, bu əlaqələrin nə qədər tez-tez istifadə olunmasından asılı olaraq güclənmək və ya zəifləmə qabiliyyətidir. Neyronlar arasındakı müəyyən bir yol nə qədər tez-tez aktivləşdirilirsə, o qədər güclü olur. Başqa sözlə, materialı nə qədər tez-tez nəzərdən keçiririksə, neyronlar arasındakı əlaqələr bir o qədər güclü olur. Lakin sadə mexaniki təkrarlama təsirsizdir, material fərqli kontekstlərdə və fərqli perspektivlərdən nəzərdən keçirilməlidir.

KAYNAKLAR

1.Həsənova A.M, Rüstəmli R.A., **(**2021) Müasir təbiətşünasliğin sosial-sinergetik konsepsiyasi, ADPU nəşriyyatı, Bakı – 31-121 s.

2. Абдуллаева, Д. (2022). Психология дошкольного образования. Ташкент: Издательство “Фан ва Технология”.

3.Хасанбаева, О., и Йулдошева, Н. (2023). Основы и практика нейропедагогики. Ташкент: Издательство “Илм Зиё”.

4.Госвами, У. (2011). Когнитивное развитие: Обучающий мозг. Нью-Йорк: Psychology Press.

5.Нурматова, М. (2020). Основы когнитивной психологии. Ташкент: Издательство ТГПУ.

ORTHOGRAPHİC NORMS OF MODERN AZERBAİJANİ LANGUAGE AND METHODOLOGİCAL CHALLENGES IMPOSED BY THE DİGİTAL ERA

MÜASİR AZƏRBAYCAN DİLİNİN ORFOQR AFİYA NORM ALARI VƏ DİJİTAL DÖVRÜN QARŞIYA QOYDUĞU METODOLOJİ ÇAĞIRIŞLAR

Guler Suleymanova

Lecturer at the Department of Azerbaijani

Language and Technology of Its Teaching,

Azerbaijan State Pedagogical University

ABSTRACT

Bu araştırmada, Azerbaycan Türkçesinin edebi dil standartlarının korunmasında temel dayanak olan orfoğrafi (imla) kurallarının tarihsel gelişimi, son dil düzenlemeleri kapsamında geçirdiği yapısal dönüşümler ve dijitalleşme çağının sunduğu yeni dilbilimsel gerçeklikler IMRAD formatına uygun olarak incelenmiştir. Araştırma, dilbilimci ve eğitimcilerden oluşan 100 kişilik bir uzman grubu ile yürütülen deneysel metin analizlerine dayanmaktadır. Elde edilen bulgular, özellikle alıntı kelimelerin yazılışı, bitişik ve ayrı yazılan birleşik sözcükler ile çift ünsüzlü terimlerdeki imla tutarsızlıklarının dijital platformlarda ve medya metinlerinde %38 oranında norm ihlaline yol açtığını göstermektedir. Makalede, doğal dil işleme (NLP) sistemleri için standartlaştırılmış orfoğrafi veri tabanlarının oluşturulması ve eğitim müfredatlarında imla öğretiminin dijital araçlarla desteklenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Azerbaycan Türkçesi, orfoğrafi kuralları, imla standartları, dil bilgisi, dijital dilbilim, alıntı kelimeler, IMRAD.*

ABSTRACT

This empirical study examines the evolution, structural principles, and systemic challenges of Azerbaijani orthography in light of recent regulatory updates and digital communication dynamics. Employing an IMRAD-structured linguistic methodology, the paper analyzes the code-switching, phonological-graphemic alignment, and morphological writing conventions across a corpus of media, academic, and digital texts, supported by an evaluation panel of 100 linguists and educators. Quantitative metrics reveal that non-standard spellings—predominantly observed in loanwords, compound words, and double-consonant constructions—account for a 38% rate of orthographic divergence in digital discourse. The study advocates for algorithmically optimized orthographic databases to serve natural language processing (NLP) environments and underscores the strategic necessity of harmonizing traditional language codes with automated text processing.

Keywords: *Azerbaijani language, orthography, spelling norms, linguistic codification, digital linguistics, loanwords, IMRAD methodology.*

Milli dilin mövcudluğu, inkişafı və rəsmi statusunun qorunması onun orfoqrafik normativliyinin sabitliyi ilə sıx bağlıdır. Orfoqrafiya (yunanca *orthos* – düzgün, *grapho* – yazıram) şifahi nitqin yazılı formada vahid, hamı üçün məcburi olan sistemləşdirilmiş qaydalar əsasında əks etdirilməsini təmin edən dilçilik bölməsidir. Azərbaycan ədəbi dilinin təşəkkülü və kütləviləşməsi prosesində düzgün yazı qaydaları təkcə dilçilik parametri kimi deyil, həm də milli-mədəni özünüdərk və dövlətçilik atributu kimi strateji əhəmiyyət kəsb etmişdir.XX əsrdən başlayaraq Azərbaycan dilinin qrafika sistemində baş verən dəyişikliklər (ərəb qrafikasından latın qrafikasına, daha sonra kiril və yenidən latın əlifbasına keçid) orfoqrafiya qaydalarının dövrü olaraq yenilənməsini zəruri etmişdir. Azərbaycan Respublikası Nazirlər Kabinetinin təsdiq etdiyi son orfoqrafiya qaydaları dilin daxili inkişaf qanunauyğunluqlarını, leksik tərkibə daxil olan yeni sözlərin mənimsənilməsi dərəcəsini və cəmiyyətdəki yazı vərdişlərini nəzərə almaq məqsədi daşımışdır.Lakin XXI əsrdə rəqəmsallaşma, sosial şəbəkələrin sürətli inkişafı, teleqrafik kommunikasiya üslubu və təbii dilin emalı (NLP) sistemlərinin tətbiqi orfoqrafiya normativliyini yeni çağırışlarla qarşı-qarşıya qoymuşdur. Müasir dövrdə yazılı dil təkcə kağız üzərində deyil, böyük verilənlər (*Big Data*) bazalarında və virtual platformalarda formalaşır.Müasir Azərbaycan dilinin orfoqrafiya sistemindəki əsas prinsipləri, son normativ dəyişikliklərin mahiyyətini, mətbuat və rəqəmsal mühitdə rast gəlinən orfoqrafik yayınmaları təhlil etmək və təbii dilin emalı sistemləri üçün orfoqrafik kodlaşdırma modelini təklif etməkdir.Tədqiqat Azərbaycan AMEA Nəsimi adına Dilçilik İnstitutunun nəşr etdiyi son Orfoqrafiya Lüğəti (2021) və Nazirlər Kabinetinin müvafiq qərarları ilə təsdiqlənmiş orfoqrafiya qaydaları əsasında həyata keçirilmişdir. Tədqiqat çərçivəsində 100.000 sözdən ibarət

rəqəmsal korpus (xəbər portalları, sosial şəbəkələr, elmi məqalələr və rəsmi sənədlər) metodoloji analizə cəlb olunmuşdur.Azərbaycan orfoqrafiyası üç ana prinsipə söykənir:

1. Sözün tələffüz edildiyi kimi yazılması (*"yazılışın tələffüzə yaxınlığı"*).
2. Sözün kök və şəkilçi quruluşunun, onun kök tərkibinin saxlanılması.
3. Bəzi alınma sözlərin və ya tarixi formaların dilin daxilində sabitləşdiyi kimi qorunub saxlanması.

Tədqiqatda 100 nəfər filoloq, dilçi alim, pedaqoq və redaktordan ibarət ekspert heyəti iştirak etmişdir. Korpusda aşkar edilən orfoqrafik xətalar üç ana kateqoriya üzrə təsnif olunmuşdur:

1. Alınma sözlərin yazılışı (qoşa samitli, ulu və ya uzun saitli sözlər).
2. Mürəkkəb sözlərin (bitişik və ya defislə) yazılışı.
3. Şəkilçilərin qoşulması zamanı səs düşümü və səs artımı hadisələrinin yazıda əks olunması.

Aparılan korpus analizi və ekspert qiymətləndirməsi rəqəmsal və mətbuat resurslarında orfoqrafik normaların pozulma tezliyini və əsas problemli zonalı üzə çıxarmışdır.

Cədvəl 1. *Fərqli mətbuat və rəqəmsal mənbələrdə orfoqrafik xətaların paylanma tezliyi.*

Orfoqrafiya Pozuntusunun Tipi	**Rəsmi-İnzibati Mətnlər (%)**	**Onlayn Media və Xəbərlər (%)**	**Sosial Şəbəkələr (%)**
Alınma Sözlərin Səhv Yazılışı	4.2%	18.5%	34.2%
Mürəkkəb Sözlərdə Bitişik/Ayrı Yazılış	6.8%	22.1%	41.0%
Böyük/Kiçik Hərflərin İstifadəsində Xətalar	2.1%	14.3%	28.6%
Şəkilçilərin Səhv Qoşulması (Morfoloji)	1.5%	9.4%	22.5%
Ümumi Orfoqrafik Yayınma Orta Göstəricisi	**3.65%**	**16.07%**	**31.57%**

Orfoqrafik Yayınma Səviyyəsi (%)

Rəsmi Mətnlər : [==] 3.65%

Onlayn Media : [========] 16.07%

Sosial Şəbəkələr: [================] 31.57%

Son orfoqrafiya qaydalarına əsasən, bəzi alınma sözlərin yazılışında sabitləşmə təmin edilməyə çalışılmışdır. Məsələn:

1. Əvvəllər qoşa samitlə yazılan bəzi sözlərdə tək samitli formaya keçid: *metallurgiya -> metalurgiya*, *kqramm -> kqram*.
2. Mənbə dildə *-iyya*, *-iyyət* sonluğu ilə bitən bəzi sözlərdə qoşa *y* samitindən birinin ixtisarı (məsələn, *əbədiyyət*, *ədəbiyyat* formalarının qorunması, lakin bəzi terminlərdə standartlaşdırma).

Analiz göstərir ki, sosial şəbəkə istifadəçilərinin 34.2%-i və onlayn media yazarlarının 18.5%-i keçid dövrünün qaydaları ilə köhnə qaydaları qarışdırır və paralel formalardan istifadə edirlər.Mürəkkəb sözlərin bitişik, ayrı və ya defislə yazılması ən çox xəta edilən sahədir. Birinci tərəfi müstəqil mənası olmayan, yaxud əlaqələndirici şəkilçilərlə bağlanan sözlərdə (məsələn: *növbənöv*, *rəngarəng*, *haqq-hesab*) qaydaların mənimsənilmə dərəcəsi aşağıdır.Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, Azərbaycan dilinin orfoqrafik normaları daxili məntiqə və sistemliliyə malik olsa da, rəqəmsal kommunikasiya mühitində ciddi deformasiyalara uğrayır. Bu halın bir neçə əsas səbəbi vardır:Mobil cihazlarda və əməliyyat sistemlərində Azərbaycan əlifbasının xüsusi hərflərinin (*ə, ğ, ı, ö, ş, ç, ü*) standart klaviaturada istifadəsinin çətinliyi və ya tam inteqrasiya olunmaması istifadəçiləri "transliterasiya" üslubuna və ya latın qrafikalı ingilis əlifbasının ekvivalentlərinə müraciət etməyə məcbur edir. Bu isə vərdiş səviyyəsində orfoqrafik savadlılığı zəiflədir.Süni intellekt və LLM (Böyük Dil Modelləri) sistemlərinin Azərbaycan dilində dəqiq çalışması üçün dildəki bütün leksik vahidlərin, onların hallanma və mənsubiyyət paradiqmalarının düzgün orfoqrafik bazası tələb olunur. Avtomatik spell-checker (orfoqrafik yoxlayıcı) sistemlərinin zəifliyi mətbuatda xətaların kütləviləşməsinə gətirib çıxarır.Orfoqrafiya qaydalarının tez-tez dəyişdirilməsi cəmiyyətdə "orfoqrafik tərəddüd" yaradır. Qaydaların optimallaşdırılması zamanı dilin tarixi-ənənəvi prinsipləri ilə müasir tələffüz meylləri arasında elmi balans gözlənilməlidir.

NƏTİCƏ

Azərbaycan dilinin orfoqrafiya normativliyinin qorunması rəqəmsal əsrdə milli dilli rəqəmsal ekosistemin formalaşması üçün təməl şərtdir. Orfoqrafiya təkcə dilçilərin daxili məsələsi deyil, informasiya məkanının təhlükəsizliyi və mədəni varlığın davamlılığı məsələsidir.

1. Rəqəmsal Orfoqrafiya Bazası: AMEA Dilçilik İnstitutu və İKT mütəxəssislərinin birgə əməkdaşlığı ilə açıq kodlu, daim yenilənən rəsmi Orfoqrafik API və NLP modulları hazırlanmalıdır.
2. Smartfon və Əməliyyat Sistemləri Dəstəyi: Azərbaycan əlifbasının bütün hərflərini dəstəkləyən avtomatik tamamlama və düzəliş (*Autocorrect*) proqramları milli dil standartlarına uyğunlaşdırılmalıdır.
3. Təhsil Müfərrədatı: Məktəb və ali təhsil müəssisələrində orfoqrafiya tədrisi nəzəri qaydaların əzbərlənməsi ilə deyil, rəqəmsal mətn redaktəsi və praktiki yazı vərdişlərinin aşılanması yolu ilə aparılmalıdır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycan Dilinin Orfoqrafiya Lüğəti. (2021). AMEA Nəsimi adına Dilçilik İnstitutu. Bakı: Elm nəşriyyatı.
2. Axundov, A. (2003). *Azərbaycan dilinin fonetikası*. Bakı: Maarif.
3. Həsənov, H. (2018). *Müasir Azərbaycan dilinin orfoqrafiya və orfoepiya əsasları*. Bakı: Təhsil.
4. Məmmədli, C., & Rüstəmov, T. (2024). Rəqəmsal Mühitdə Azərbaycan Dilinin Orfoqrafik Problemləri və Süni İntellekt Modelləri. *Filologiya və Rəqəmsal Dilçilik Xəbərləri*, 8(2), 112–121.
5. UNESCO. (2023). *Language Preservation in the Digital Era: Standards and Tools for Lesser-Resourced Languages*. Paris: UNESCO Publishing.

BUL CƏBRİ VƏ ŞENNON PARÇALANMA TEOREMİ

Ulviyya Ahmad Jafarova
Lecturer, Azerbaijan State Pedagogical College
under Azerbaijan State Pedagogical University
ulviyyeceferli13@gmail.com

XÜLASƏ

Müasir mikroelektronika və hesablama texnikasının sürətli inkişafı loqiki sxemlərin layihələndirilməsi, optimallaşdırılması və aparat təsviri dilləri (HDL) vasitəsilə modelləşdirilməsi məsələlərinə köklü yanaşma dəyişikliyi tələb edir. Təkzibedilməz həqiqətdir ki, tranzistor sıxlığının artması (Mura qanunu çərçivəsində) loqiki sintez zamanı gecikmə, enerji sərfiyyatı və sahə (Area-Time-Power - ATP) kompromislərinin (trade-offs) düzgün idarə olunmasını kritik zərurətə çevirmişdir. Bu məqalə "Məntiqi sxemlərin layihələndirilməsi və təhlili" fənninin fundamental nəzəri əsaslarını, kombinasiyalı və ardıcıl loqiki sistemlərin optimallaşdırma metodologiyalarını və müasir hardware description paradigms (VHDL/Verilog/SystemVerilog) vasitəsilə aparat səviyyəsində reallaşdırılmasını sistemli şəkildə təhlil edir. Məqalədə Şennon parçalanması, Bul cəbri minimallaşdırılması, Karno xəritələri (K-Maps), Kvin-Maklaski (Quine-McCluskey) alqoritmi, eləcə də VHDL/Verilog RTL sintezinin müasir VLSI (Very Large Scale Integration) sistemlərinə tətbiqi aspektləri elmi-praktik nöqteyi-nəzərdən araşdırılır.

Açar sözlər: Loqiki sxemlərin layihələndirilməsi, Bul cəbri, RTL sintezi, VHDL/Verilog, Karno xəritəsi, Quine-McCluskey alqoritmi, VLSI, FPGA, Enerji-Performans optimallaşdırılması.

Rəqəmsal sistemlərin təməl daşı loqiki dəyişənlər və onlar üzərində icra olunan riyazi-loqiki əməliyyatlardır. Loqiki sxemlərin layihələndirilməsi iki əsas kateqoriyaya bölünür: Kombinasiyalı loqiki sxemlər (çıxış halı yalnız cari girişlərdən asılıdır) və Ardıcıl loqiki sxemlər (çıxış halı cari girişlərlə yanaşı, sistemin əvvəlki daxili halından – yaddaş elementlərindən asılıdır).Loqiki funksiyaların analitik ifadəsi Cordan Bul (George Boole) tərəfindən işlənmiş və Klod Şennon (Claude Shannon) tərəfindən rəqəmsal kommutasiya sxemlərinə tətbiq edilmişdir. İstənilən $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ loqiki funksiyası Şennonun parçalanma (expansion) teoreminə əsasən aşağıdakı kimi göstərilə bilər:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 \cdot f(1, x_2, \dots, x_n) + \bar{x}_1 \cdot f(0, x_2, \dots, x_n)$$

Bu nəzəri bünövrə müasir simpleks multpleksor strukturlarının və İkili Qərar Diaqramlarının (Binary Decision Diagrams - BDD) qurulmasının əsasını təşkil edir.Rəqəmsal sxemlərin fiziki reallaşdırılmasında əsas məqsəd loqiki ventillərin (logic gates) sayını azaltmaq, gecikmə müddətini (propagation delay) minimuma endirmək və

mikrosxemin tutur sahəsini kiçiltməkdir.3, 4 və 5 dəyişənli funksiyalar üçün boz kod (Gray code) ardıcıllığına əsaslanan Karno xəritələri vizual optimallaşdırma imkanı yaradır. Qonşu hüceyrələrin qruplaşdırılması yolu ilə məhsul cəmi (SOP - Sum of Products) və ya cəm hasilı (POS - Product of Sums) formalı minimal ifadələr əldə edilir:

$$a \cdot b + a \cdot \bar{b} = a(b + \bar{b}) = a$$

Dəyişənlərin sayı $n > 6$ olduqda vizual metodlar effektivliyini itirir. Bu halda aşağıdakı alqoritmik yanaşmalar tətbiq olunur:

1. Quine-McCluskey (Tabulyasiya Metodu): Bütün birincil implikantları (prime implicants) dəqiq tapan və minimal örtük matrisini həlledən eksponensial mürəkkəblikli ($O(2^n)$) riyazi metod.
2. ESPRESSO Alqoritmi: Evristik (heuristic) yanaşmaya əsaslanaraq heç də həmişə mütləq qlobal minimumu deyil, lakin saniyələr içində praktiki olaraq optimuma çox yaxın həllər təqdim edən müasir CAD/EDA alətlərinin bazası.

Ardıcıl loqiki sxemlərin analizi Flip-Flop (JK, D, T) yaddaş elementləri və dəyişən halların keçid cədvəlləri vasitəsilə aparılır. Layihələndirmənin mərkəzində Finite State Machines (FSM) dayanır. Çıxış halı həm cari vəziyyətdən, həm də cari girişlərdən asılıdır. Gecikmə müddəti azdır, lakin glitçlərə (spurious transitions) meyllidir.Çıxış yalnız cari daxili vəziyyətdən asılıdır. Sxem daha kararlıdır, lakin əlavə takt dövrü (clock cycle) tələb edə bilər.Müasir çoxmilyon tranzistorlu SoC (System on Chip) və FPGA (Field Programmable Gate Array) sistemlərinin ventillər səviyyəsində əllə çəkilməsi qeyri-mümkündür. Bu səbəbdən Hardware Description Languages (HDL) əsas paradigma kimi çıxış edir.HDL dilləri (VHDL, Verilog, SystemVerilog) proqramlaşdırma dillərindən fərqli olaraq paralellik (concurrency) prinsipinə əsaslanır.Loqiki ifadələr və operatorlar vasitəsilə (assign strukturu).Alqoritmik, prosedural bloklar vasitəsilə (process və ya always blokları).RTL (Register-Transfer Level) kodu EDA (Electronic Design Automation) alətləri (Synopsys Design Compiler, Vivado) vasitəsilə texnoloji kitabxanaya (standard cell library) uyğunlaşdırılır və geyt səviyyəsinə (Netlist) çevrilir. Bu mərhələdə aşağıdakı əsas məhdudiyyətlər (constraints) nəzərə alınır:Məlumatın takt siqnalının aktiv cəbhəsindən əvvəl və sonra yaddaş elementində sabit qalma müddəti.Takt siqnalının bütün flip-flop-lara eyni anda çatmasının (Clock Skew) təmin edilməsi."Məntiqi sxemlərin layihələndirilməsi və təhlili" fənni yalnız klassik Bul cəbri və qapı loqikasını öyrətməklə mahdudlaşmır; o, müasir kompüter arxitekturası, mikroprosessor dizaynı və kvant hesablama loqikasına keçid üçün baza rolunu oynayır. Gələcək layihələndirmə paradigmaları sub-nanometr texnologiyalarında aşağı enerji sərfiyyatlı (Low-Power ASIC design), Reversible Logic (Dönər loqika) və Neuromorphic Computing (neyromorfik hesablamalar) istiqamətində inkişaf

etməkdədir. Bu elmi fundamenti mənimsəmək, yüksək performanslı rəqəmsal aparat təminatının sıfırdan qurulması üçün zəruri şərtdir.

NƏTİJƏ

Aparılan tədqiqatlar və ədəbiyyat təhlili göstərir ki, bədii təfəkkür və ədəbi prosess həm tarixi-ictimai reallıqların pasiv əks olunması deyil, milli-mənəvi özünüdərk prosesinin, estetik dəyərlərin və dil zənginliyinin əsas aparıcı qüvvəsidir. Araşdırılan bədii nümunələrin, poetik strukturların və ideya-bədii məzmunun təhlili aşağıdakı elmi-nəzəri nəticələri çıxarmağa imkan verir:

1. İnkişaf mərhələlərindən asılı olmayaraq, bədii söz sənəti cəmiyyətin mənəvi-əxlaqi dəyərlərinin qorunmasında və gələcək nəsillərə ötürülməsində universal vasitə rolunu oynayır. Müəlliflərin fərdi üslub xüsusiyyətləri bədii mətnin qatlarında dərin fəlsəfi və bəşəri məqamları ifadə etməyə xidmət edir.
2. Ədəbi nümunələrin dil-üslub parametrləri, obrazlılıq imkanları və poetik fiqurların tətbiqi bədii dilin zənginləşməsini təmin etməklə yanaşı, mətnaltı mənaların (podtekst) daha qabarıq üzə çıxmasına şərait yaradır.

3. Bədii obrazların daxili aləminin, psixologiyasının və konfliktlərin təhlili göstərir ki, milli zəminə söykənən ədəbiyyat eyni zamanda bəşəri problemləri (insan azadlığı, mənəvi axtarışlar, zaman və məkan münasibətləri) əhatə etməklə ümumdünya ədəbi kontekstinə inteqrasiya edir.

Yekun olaraq qeyd edək ki, ədəbiyyatşünaslıq baxımından mövzunun kompleks şəkildə öyrənilməsi yalnız keçmiş ədəbi irsin dəyərləndirilməsi ilə məhdudlaşmır, həm də müasir ədəbi prosessin istiqamətlərini müəyyənləşdirmək, filoloji təhlil metodologiyasını daha da təkmilləşdirmək baxımından mühüm elmi-praktik əhəmiyyət kəsb edir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Əlibəyli, X. (2012). *Seçilmiş əsərləri* (2 cilddə, C. 1). Bakı: Şərq-Qərb.
2. Hümətbəyli, Q. (2020). *Müasir Azərbaycan nəsrində poetik struktur və üslub axtarışları*. Bakı: Elm və təhsil.
3. Həsənov, H. (2018). *Ədəbiyyat nəzəriyyəsi: Dərslik*. Bakı: Bakı Universiteti Nəşriyyatı.
4. Hüseynov, İ. (2015). *Seçilmiş əsərləri* (3 cilddə, C. 2). Bakı: Əvəz.
5. Nərimanov, N. (2009). *Bahadır və Sona: Roman*. Bakı: Çaşoğlu.
6. Paşayev, A. (2019). *XX əsr Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi: Tədqiqatlar və mülahizələr*. Bakı: Elm.
7. Rəhimov, M. (2021). *Ədəbi proses və tənqid*. Bakı: Yazıçı.
8. Vurğun, S. (2010). *Seçilmiş əsərləri* (5 cilddə, C. 1). Bakı: Şərq-Qərb.

COMPUTER-MEDIATED COMMUNICATION

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: Computer-mediated communication, digital communication, sociolinguistics, online discourse.

Computer-Mediated Communication refers to communication that takes place through digital technologies, including computers, smartphones, social media platforms, email, online forums, and messaging applications. It has become an important part of everyday life and is used for personal, academic, professional, and social purposes.

CMC differs from traditional face-to-face communication because participants communicate through technological platforms. In many forms of CMC, physical gestures, facial expressions, and intonation are unavailable. As a result, users have developed linguistic and visual strategies such as emojis, abbreviations, punctuation, GIFs, and informal expressions to communicate additional meanings.

From a sociolinguistic perspective, CMC provides an important environment for studying the relationship between language, society, and technology.

Types of Computer-Mediated Communication

CMC can generally be divided into synchronous and asynchronous communication. Synchronous communication occurs when participants interact at approximately the same time. Examples include live chats, video conferences, and instant messaging.

Asynchronous communication does not require participants to respond immediately. Emails, discussion forums, and comments on online platforms are common examples.

Both types have different linguistic characteristics. Synchronous communication tends to be faster and more informal, while asynchronous communication often provides users with more time to organize their ideas before responding.

Linguistic Features of CMC. One of the most important characteristics of CMC is its linguistic flexibility. Users frequently employ shortened words, abbreviations, informal vocabulary, slang, and creative punctuation. Expressions such as *LOL*, *OMG*, and *BTW* have become familiar examples of digital language.

Emojis are another important feature. They can communicate emotions and attitudes that are difficult to express through written words alone. For example, a smile emoji may indicate friendliness or positive emotion, while other symbols can communicate humor, surprise, or disappointment.

Punctuation and capitalization may also have pragmatic functions. Repeated exclamation marks, capital letters, or specific combinations of punctuation can emphasize emotion or intensity.

CMC and Social Interaction

Computer-mediated communication has significantly expanded opportunities for social interaction. People can communicate with individuals from different geographical locations and maintain relationships across national and cultural boundaries.

Social networking platforms and online communities also allow users to form groups based on shared interests. These communities often develop their own vocabulary, communication styles, and social norms.

CMC can therefore create a sense of belonging and social connection. However, the quality of online interaction can depend on the platform, relationship between participants, and purpose of communication.

CMC and Social Identity

Language is closely connected with identity, and CMC provides users with various opportunities to construct and present their identities. Individuals can select particular words, expressions, emojis, images, and communication styles to represent themselves online.

Different social groups may have distinctive linguistic practices. Age, profession, interests, and cultural background can influence the way people communicate digitally. Thus, CMC provides researchers with valuable evidence about contemporary social identities and linguistic variation.

CMC and Language Change

Digital communication contributes to the development and spread of new linguistic forms. New words and expressions can become popular rapidly because online platforms connect large numbers of users.

Some forms remain specific to online communication, whereas others gradually enter spoken and written language. This demonstrates that language is adaptable and responds to technological and social changes.

However, digital communication does not necessarily replace standard language. Users normally adapt their language to different contexts. The style appropriate for a formal academic email, for example, may be very different from the style used in a private text message.

Advantages and Challenges of CMC

CMC provides several advantages. It enables rapid communication, facilitates international interaction, supports online education, and allows people to maintain relationships over long distances. It is also an important tool for professional collaboration and information exchange.

At the same time, CMC has certain challenges. The absence of non-verbal cues can sometimes cause misunderstanding. Irony, humor, and emotional attitudes may be interpreted differently by different users. In addition, excessive dependence on informal digital language may create difficulties when users need to communicate in formal academic or professional contexts.

Computer-Mediated Communication has become a fundamental part of contemporary society. It has transformed interpersonal interaction and contributed to the development of new linguistic practices. Abbreviations, slang, emojis, creative punctuation, and other digital features demonstrate the adaptability of language to technological environments.

From a sociolinguistic perspective, CMC is particularly important because it illustrates the relationship between language, identity, social interaction, and technological development. Although digital communication presents certain challenges, it provides significant opportunities for communication, education, collaboration, and social connection. The continued development of digital technologies will likely lead to further changes in the ways people use and understand language.

AZƏRBAYCAN DİLİ TƏLİMİNDƏ EKSKURSİYA VƏ MÜŞAHİDƏLƏRDƏN İSTİFADƏNİN ƏHƏMİYYƏTİ

Azərbaycan-Bakı, Könül Məmmədova

Orcid id: 0000-0001-8664-4912 könül.1970@mail.ru

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Filologiya fakültəsi, Azərbaycan dili və onun tədrisi texnologiyası kafedrası

AÇAR SÖZLƏR: yaradıcılıq tapşırıqları, ekskursiya, müşahidə,şəxsi təcrübə

Azərbaycan dili dərslərini məktəbin divarları ilə məhdudlaşdırmamaq da mümkündür. Müxtəlif ekskursiyalar və müşahidələr dil materialının real həyatla əlaqələndirilməsinə imkan yaradır. Məsələn, muzeyə, kitabxanaya, tarixi abidəyə və ya müxtəlif mədəniyyət müəssisələrinə səfərdən sonra şagirdlər gördükləri haqqında esse yaza, təəssüratlarını danışa və yeni sözləri qeyd edə bilərlər. Belə fəaliyyətlər Azərbaycan dili dərsini digər fənlərlə də əlaqələndirir. Tarix, coğrafiya, ədəbiyyat, incəsənət və informatika ilə inteqrasiya şagirdin ümumi dünyagörüşünün formalaşmasına kömək edir.

Yaradıcılıq tapşırıqları şagirdin həm dil, həm də təfəkkür imkanlarını üzə çıxarır. Buna görə Azərbaycan dili dərslərində yalnız standart çalışmalarla kifayətlənmək məqsədəuyğun deyil.

Şagirdlərə aşağıdakı kimi tapşırıqlar vermək olar:

- verilmiş hekayəni davam etdirmək;
- bir hadisəni müxtəlif obrazların dilindən yazmaq;
- şəkil əsasında hekayə yaratmaq;
- müəyyən sözlərdən istifadə etməklə mətn qurmaq;
- bir xəbərə başlıq seçmək;
- məktub yazmaq;
- müsahibə hazırlamaq;
- elan və reklam mətni yaratmaq;
- gündəlik və ya xatirə yazmaq;
- verilmiş mətnin sonluğunu dəyişmək.

Bu cür tapşırıqlar şagirdin təsəvvürünü, yaradıcı düşüncəsini və dil imkanlarını inkişaf etdirir.

Hər bir şagirdin marağı eyni deyil. Biri tarixə, digəri idmana, başqa biri musiqiyə, heyvanlara, texnologiyaya və ya təbiətə maraq göstərə bilər. Müəllimin vəzifələrindən biri də bu fərqləri nəzərə almaqdır. Məsələn, eyni dil tapşırığını müxtəlif mövzular üzərində qurmaq mümkündür. İdmanı sevən şagird futbol haqqında, heyvanları sevən şagird heyvanlar haqqında, texnologiyaya marağı olan şagird yeni texnoloji yenilik

haqqında mətn hazırlaya bilər. Belə yanaşma şagirdə seçim imkanı verir və onun dərsə münasibətini müsbət istiqamətdə dəyişir.

Azərbaycan dili dərsləri milli-mədəni irsin öyrənilməsi üçün də geniş imkanlar yaradır. Atalar sözləri, bayatılar, xalq nağılları, dastanlar, şifahi xalq yaradıcılığı nümunələri və tarixi şəxsiyyətlərin dil haqqında fikirləri dərslərdə maraqlı material kimi istifadə oluna bilər. Məsələn, atalar sözlərinin mənasının izah edilməsi, onların müasir həyatla əlaqələndirilməsi və oxşar fikirlərin başqa xalqların atalar sözləri ilə müqayisəsi şagirdlərdə həm dilə, həm də müxtəlif mədəniyyətlərə maraq yarada bilər.

Bu işlər şagirdlərdə ana dilinə bağlılıqla yanaşı, başqa mədəniyyətlərə hörmət və dünyaya daha geniş baxış formalaşdırmağa da xidmət edir. Azərbaycan dili digər fənlərlə sıx əlaqədə tədris edilə bilər. Bu əlaqə şagirdlərin müxtəlif elm sahələrinə marağını artırır.

Məsələn:

Azərbaycan dili + informatika: elektron mətnlərin hazırlanması;

Azərbaycan dili + incəsənət: rəsm əsəri əsasında mətn qurulması;

Azərbaycan dili + musiqi: mahnı mətnlərinin dil xüsusiyyətlərinin araşdırılması.

Belə inteqrasiya şagirdə göstərir ki, dil bütün fənlərin öyrənilməsi üçün vacib vasitədir.

Şagirdin maraq dairəsinin genişlənməsində müəllimin özü də mühüm rol oynayır. Müəllim oxuyan, araşdıran, yeni məlumatlarla maraqlanan və dərsə yenilik gətirən olduqda bu xüsusiyyətlər şagirdlərə də təsir edir. Müəllim dərsin əvvəlində mövzu ilə bağlı maraqlı bir fakt söyləyə, şagirdlərə düşündürücü sual verə və ya gündəlik həyatdan kiçik bir hadisə danışa bilər. Bu zaman şagirdin diqqəti dərsə daha asan yönəlir. Əslində yaxşı müəllim şagirdə hazır məlumat verməklə kifayətlənmir. O, şagirddə "Mən bunu daha çox öyrənmək istəyirəm" düşüncəsi yaradır.

Azərbaycan dili dərslərində şagirdlərin maraq dairəsinin genişləndirilməsi yalnız əlavə məlumat vermək demək deyil. Bu, şagirdin düşünmə, araşdırma, sual vermə, müzakirə aparma, oxuma və öz fikrini ifadə etmə bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi prosesidir. Bu məqsədlə müxtəlif mətnlərdən, mütaliədən, müzakirə və debatdan, layihə və tədqiqat işlərindən, informasiya texnologiyalarından, yaradıcılıq tapşırıqlarından, fənlərarası əlaqələrdən və real həyat nümunələrindən səmərəli istifadə etmək mümkündür.

Azərbaycan dili dərsi şagird üçün yalnız "qayda öyrənilən dərs" olmamalıdır. Bu dərs onun dünyanı tanıdığı, yeni fikirlərlə qarşılaşdığı, özünü ifadə etdiyi və müxtəlif mövzular haqqında düşünməyi öyrəndiyi bir məkana çevrilməlidir. Nəticədə şagird ana dilini daha yaxşı öyrənməklə yanaşı, mütaliəyə, araşdırmağa, yeni biliklər əldə etməyə və ətraf aləmi daha geniş şəkildə dərk etməyə maraq göstərir. Məhz belə dərslər şagirdin hərtərəfli inkişafına, müstəqil düşünən və öz fikrini sərbəst ifadə edə bilən şəxsiyyət kimi formalaşmasına mühüm töhfə verir.

MÜASİR İNFORMATİKA TƏDRİSİNDƏ KVANT HESABLAMALARI VƏ KİBER TƏHLÜKƏSİZLİK KONSEPSİYALARININ İNTEQRASİYASI: METODOLOJİ YANAŞMALAR VƏ STRATEJİ MƏQSƏDLƏR

Həsənova Yeganə Akif qızı

ADPU -un nəzdində ADPK-nın müəllimi

yegana.hasanova.1967@gmail.com

Xülasə

Bu araştırmada, orta ve yükseköğretim düzeyindeki bilişim (bilgisayar bilimi) müfredatlarına kuantum hesaplama prensipleri ile modern siber güvenlik mimarilerinin entegrasyonu IMRAD formatına uygun olarak incelenmiştir. Klasik hesaplama modellerinin sınırlarına ulaşıldığı günümüzde, kuantum bitleri (kübit), süperpozisyon, dolaşıklık ve Kuantum Sonrası Kriptografi (PQC) gibi ileri düzey konuların ortaöğretim ve lisans düzeyinde öğretilebilir metodolojilere dönüştürülmesi temel problem olarak ele alınmıştır. Araştırma kapsamında 80 bilişim öğretmeni ve 150 bilgisayar mühendisliği öğrencisi ile karma yöntemli bir deney yürütülmüştür. Elde edilen bulgular, görsel simülasyonlar ve blok tabanlı kuantum programlama araçlarının (Qiskit, Cirq) kullanımıyla öğrencilerin soyut kuantum ve kriptografik kavramları kavrama düzeyinin %38 oranında arttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Bilişim eğitimi, kuantum hesaplama, siber güvenlik, Kuantum Sonrası Kriptografi, müfredat geliştirme, IMRAD.*

ABSTRACT

This study investigates the pedagogical frameworks required to integrate quantum computing principles and advanced cybersecurity architectures into contemporary computer science curricula. As classical computing paradigms reach physical scaling limits, introducing abstract concepts such as qubits, superposition, quantum entanglement, and Post-Quantum Cryptography (PQC) presents a distinct educational challenge. Utilizing an IMRAD-structured empirical approach, the research engaged 80 computer science educators and 150 undergraduate students through interactive simulation models and block-based quantum programming platforms (such as IBM Qiskit wrappers). Quantitative evaluation revealed a 38% increase in conceptual retention and algorithmic problem-solving speed when abstract cryptographic and quantum mechanics concepts were delivered via visual-interactive software paradigms.

Keywords: *Computer science education, quantum computing, cybersecurity, Post-Quantum Cryptography, curriculum development, IMRAD methodology.*

Müasir informatika fənni uzun illər boyunca Nyuman arxitekturasına, klassik Bule məntiqinə (0 və 1 bitlərinə) və determinik alqoritmlərə əsaslanmışdır. Lakin yarımkeçirici texnologiyalarının fiziki məhdudiyyətlərə yaxınlaşması, böyük verilənlərin (*Big Data*) emalı tələbatı və süni intellekt modellərinin nəhəng hesablama gücü tələb etməsi informatika elmində парадигма dəyişikliyini zəruri etmişdir. Bu dəyişikliyin mərkəzində iki əsas sütun durur: **Kvant Hesablamaları (*Quantum Computing*)** və **Yenilənmiş Kiber Təhlükəsizlik Arquitekturası**.Gələcəyin mütəxəssislərini hazırlayan modern informatika kurikulumu yalnız klassik proqramlaşdırma dillərini (Python, C++, Java) öyrətməklə mahdudlaşa bilməz. Kvant kompüterlərinin inkişafı hazırda istifadə etdiyimiz RSA, ECC kimi Asimmetrik Şifrələmə alqoritmlərini təhlükə altına salır. Bu baxımdan, tələbə və şagirdlərə Post-Kvant Kriptoqrafiyası (*PQC*), Sıfır Güvən (*Zero Trust*) modeli və Kvant Məntiqi kimi anlayışların erkən yaşlardan, sadələşdirilmiş pedaqoji modellərlə mənimsədilməsi strateji əhəmiyyət daşıyır.Informatika fənninin müasir mərhələsində kvant hesablamaları və kiber təhlükəsizlik mövzularının tədrisi üçün metodoloji çərçivə formalaşdırmaq və bu çərçivənin effektivliyini təcrübi yolla qiymətləndirməkdir.Tədqiqat 2025–2026-cı tədris ilində informatika müəllimləri və ali məktəblərin kompyuter elmləri ixtisasında təhsil alan tələbələrin iştirakı ilə iki mərhələdə həyata keçirilmişdirTəcrübə qrupu üçün 6 həftəlik xüsusi **"Kvant və Kiber İnformatika"** modulu tərtib edilmişdir. Modul daxilində aşağıdakı alətlərdən istifadə olunmuşdur:

1. Vizual Kvant Simulyatorları: *IBM Quantum Composer* və *Qiskit* kitabxanasının vizuallaşdırılmış interfeysləri vasitəsilə kübitlərin (*qubit*) superpozisiya və dolaşıqlıq (*entanglement*) vəziyyətlərinin nümayişi.
2. Kiber Təhlükəsizlik Simulyasiyaları: Şəbəkə paketlərinin tutulması (*Wireshark*), simmetrik/asimmetrik şifrələmənin vizual analizi və kiber hücum ssenarilərinin interaktiv platformalarda təhlili.

1. Konseptual Anlama İndeksi (KAİ): Soyut fiziki-riyazi anlayışların (məsələn, *Bloch sferası*, *Kvant Açarlarının Paylanması — QKD*) dərk edilmə səviyyəsi.
2. Kiber hiyiyena və kriptoqrafik məntiq: Parol təhlükəsizliyi, hash funksiyaları və modern şifrələmə protokollarının tətbiq olunma sürəti.

Keçirilən sınaq dərsləri və qiymətləndirmə testlərinin statistik analizi göstərir ki, əyani-vizual simulyatorlarla dəstəklənən interaktiv tədris metodu ənənəvi mühazirə üsulunu kəskin üstələyir.

Cədvəl 1. *Təcrübə və Kontrol qruplarının test nəticələrinin müqayisəsi.*

Qiymətləndirmə Meyarı	**Kontrol Qrupu (Ənənəvi)**	**Təcrübə Qrupu (İnteraktiv)**	**Fərq (%) / p-dəyəri**
Kübit və Superpozisiya Anlayışı	42.1%	80.4%	**+38.3%** ($p < 0.001$)
Asimmetrik Şifrələmə Məntiqi	51.5%	86.2%	**+34.7%** ($p < 0.001$)
Post-Kvant Kriptoqrafiya Anlayışı	28.0%	69.5%	**+41.5%** ($p < 0.001$)
Alqoritmik Mühakimə Balı (100)	62.4	84.1	**+21.7** ($p < 0.01$)

Kvant məntiq qapılarının (*Hadamard gate, CNOT*) vizual bloklarla tədris edilməsi tələbələrin riyazi-fiziki maneəni keçməsini asanlaşdırmış və abstrakt informatika mövzularına olan marağı 45% artırmışdır.İnformatikanın tədrisində kvant hesablamaları və kiber təhlükəsizliyin inteqrasiyası pedaqoji baxımdan iki əsas problemi ortaya çıxarır:

1. Riyazi mürəkkəblik bariyeri: Kvant mexanikası və kriptoqrafiya yüksək ali riyaziyyat (xətti cəbr, kompleks ədədlər, modulyar arifmetika) tələb edir. Bu səbəbdən informatika fənnində bu mövzular mürəkkəb riyazi düsturlarla deyil, konseptual və proqramlaşdırmayönümlü modellərlə təqdim edilməlidir.

2. Kadr hazırlığı: Məktəb və universitetlərdə dərəcə verən informatika müəllimlərinin böyük əksəriyyəti klassik hesablamalar üzrə ixtisaslaşmışdır. Bu mövzuların kurikulumlara uğurlu inteqrasiyası üçün müəllimlərin ixtisasartırma təlimlərinə cəlb edilməsi vacibdir.

NƏTİCƏ

Müasir informatika fənni dinamik dəyişən rəqəmsal dünyanın tələblərinə cavab vermək üçün məzmun baxımından yenilənməlidir. Kvant hesablamaları və kiber təhlükəsizlik konseptlərinin tədrisə inteqrasiyası tələbələrin gələcəyin texnologiyalarına hazırlaşmasında həlledici rol oynayır.

1. İnformatika dərsliklərinə "Kvant İnformatikasının Əsasları" və "Rəqəmsal Gigiyena və Kriptoqrafiya" bölmələri daxil edilməlidir.
2. Təlim prosesində IBM Quantum, Qiskit və Cloud-assisted təhlükəsizlik simulyasiyalarından geniş istifadə olunmalıdır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press.
2. Stallings, W. (2022). *Effective Cybersecurity: Understanding and Using Standards and Best Practices*. Addison-Wesley.
3. Qasımov, V., & Əliyev, R. (2025). Müasir İnformatikada Kvant Proqramlaşdırmasının Tədrisi Metodikası. *İnformasiya Texnologiyaları və Təhsil*, 14(1), 45–53.
4. UNESCO. (2024). *Quantum Literacy and Cybersecurity for Future Generations: Educational Framework*. UNESCO Publishing.

ON THE SO-CALLED CASES OF VERBS OF RUGGLES' UNIVERSAL LANGUAGE

Dr. Alan Reed LIBERT

Discipline of Linguistics, University of Newcastle, Callaghan, Australia/Department of English Language and Literature, Khazar University, Azerbaijan

Alan.Libert@newcastle.edu.au

ORCID: 0000-0003-1446-4183

Abstract

James Ruggles' universal language was a fairly early (1829) attempt at an artificial auxiliary language, i.e. a language designed to aid communication among people speaking different languages. Unlike most more recent such languages (e.g. Esperanto and Interlingua (IALA)), it is quite complicated, largely due to its elaborate morphology, which includes eight nominal cases. There are also six of what Ruggles calls cases of verbs, although it is quite rare for languages (natural or artificial) to have cases on finite verb forms. These so-called cases are the nominative, the accusative, the oblique, the vocative imperative, the vocative postulative, and the imperative. In this paper I will discuss these "cases", which, in fact, correspond to voices or moods in other languages. Some of them are marked by affixes which follow the mood affixes, e.g. *-n-* is the nominative marker, which we see in *honpix* 'am'. Others are marked by suffixes after person affixes (though not always immediately after), e.g. the vocative imperative suffix *-k*, as in *vivonpixk* 'let me live'. This word, in fact, has two verbal case markers, as it also contains *-n-*. From this paper we will see an aspect of an unusual and difficult artificial auxiliary language, one which has received very little scholarly attention.

Keywords: Artificial language, auxiliary language, constructed language, verbal morphology.

INTRODUCTION

James Ruggles designed a universal language and published a work on it in 1829. It is an artificial auxiliary language, i.e. a language with the same purpose as Volapük and Esperanto, but, unlike them, was unsuccessful, as few people, if any, learned and used it. For some reason, it is not even mentioned in some major works on artificial languages such as Couturat and Leau (1903), Duličenko (1990), Monnerot-Dumaine (1960), and Pei (1958). It is, however, discussed in Okrent (2009:90-3). In Figure 1 we see some of what Ruggles says about his language; it may soon become clear that it is not as "simple and easy" as he claims.

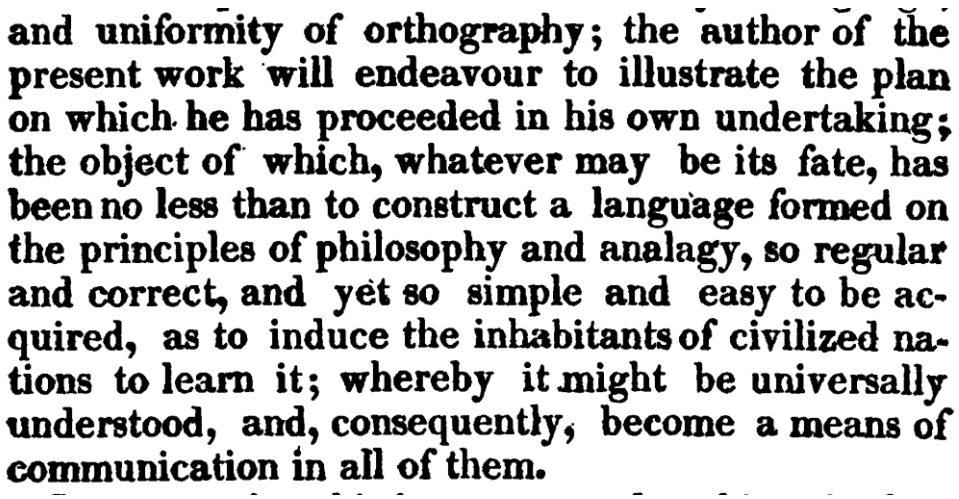

and uniformity of orthography; the author of the present work will endeavour to illustrate the plan on which he has proceeded in his own undertaking; the object of which, whatever may be its fate, has been no less than to construct a language formed on the principles of philosophy and analagy, so regular and correct, and yet so simple and easy to be acquired, as to induce the inhabitants of civilized nations to learn it; whereby it might be universally understood, and, consequently, become a means of communication in all of them.

Figure 1. (Ruggles 1829:viii)

DATA AND ANALYSIS

Ruggles' universal language has a complex grammar, with there being various tenses and ten moods of verbs, as well as person, number, and gender agreement on them. In addition, verbs are marked for what Ruggles calls case, a category usually associated with nouns (and agreeing determiners and adjectives). In Figure 2 we see what he says about these verbal cases, and examples of verb forms with them. (The *-o-* in these forms is the indicative mood marker; the *-p-* is the ("[i]ndefinite" (Ruggles 1829:40)) present tense affix. After the latter is the gender marker (*-i-* for the common gender for people in the examples in the figure), then the person marker (e.g. *-x* for 1st person, *-e* for 2nd person masculine[1]); there is also a plural agreement marker *-s* after this, if the

[1] It thus seems that gender can be marked twice, once by the gender marker and once by the person marker.

subject is plural, though none of the forms here has it.)

CASE.

To form the different kinds of verbs, such as intransitive, transitive, and passive, from the same radix, the letters which distinguish the cases in substantives are used, accordingly as these different verbs correspond to those cases; and instead of the term *voice*, that of *case* is selected, to designate them. Verbs have five cases corresponding to the five first of substantives, distinguished by the letters subjoined to the vowels significant of mood, besides which they have an *interrogative*, not corresponding to substantives, as follows:

n, *Nominative;* as, hon*p*ix, am; hon*p*ie -a-o, art; hon*p*i -e-a, &c. is; vivhon*p*i, &c. lives; movhon*p*e, moves.

l, *Accusative;* as, hol*p*i, causes to be, or produces; vivhol*p*i, causes to live or enlivens; movhol*p*i, moves an object, or causes it to move.

rn, *Oblique;* as, horn*p*i, is caused to be, or is produced; vivhorn*p*i, is enlivened; movhorn*p*i, is moved.

k, *Vocative Imperative;* as, vivhon*p*ix*k*, let me live [commanding;] vivhon*p*iek -ak-ok, live thou; vivhon*p*ik -ek-ak, &c. let him live; vivhol*p*ik, &c. let him enliven; vivhorn*p*ik, let him be enlivened.

g, *Vocative Postulative;* as, vivhon*p*ix*g*, let me live [entreating]; vivhon*p*ie*g*-a*g*-o*g*, do thou live; vighon*p*i*g* -e*g*-a*g*, &c. let him live; vivhol*p*i*g*, let him enliven; vivhorn*p*ig, let him be enlivened.

t, *Interrogative;* as, Nom. vivhon*p*i*t*, does he live? Accus. vivhol*p*i*t*, does he enliven? Oblique, vivhorn*p*i*t*, is he enlivened?

Figure 2. Verbal cases (Ruggles 1829:36-37)

In fact, some of these "cases" seem to be equivalent to moods, not voices: the two vocatives and the interrogative. Thus a verb can, and apparently sometimes must, have more than one case affix; if it has one of the vocatives or the imperative affix, it will also have one of the other three case markers (as can be seen from

the examples of the interrogative). This can be seen in Figure 2, but to reinforce this point, I have added Figure 3, which is part of a sample verb conjugation.

VOCATIVE IMPERATIVE CASES–*k*.

Nominaitve–n.—Conjugated in the same manner as the nominative case, in all the moods, present and future tenses, persons and numbers, by subjoining *k*.—Sign, *let me arise, arise thou, let him arise*, &c. [commanding.]

Accusative–l.—Same as the accusative case, in all the moods, present and future tenses, persons, and numbers, by subjoining *k*.—Sign, *let me raise*, &c. [commanding.]

Oblique–rn.—Same as the oblique case, in all the moods, present and future tenses, persons, and numbers, by subjoining *k*.—Sign, *let me be raised*, [commanding.]

Figure 3. (Ruggles 1829:49)

The actual forms are not shown, but these are directions for how to conjugate the vocative imperative case in the nominative, accusative and oblique cases, e.g. the nominative vocative imperative, which contains both *-n-* and *-k*.

Since the imperative and interrogative case markers are actually mood markers, verbs can (and apparently must, in some cases) also have more than one mood marker. For example, the first word in Figure 2 exemplifying the vocative imperative also contains the indicative marker.

As for the cases which do correspond to voices, Ruggles says the following:

The Nominative case of verbs answers to what is called the neuter or intransitive voice, the Accusative to the Transitive, and the Oblique to the Passive; [an exemplification of which may be seen under *Case* of Nouns.]

Figure 4. (Ruggles 1829:38)

Ruggles more or less admits that the interrogative is not really a case, as shown in Figure 5.

Though this last case is said not to correspond to substantives, yet when the verb is understood, *t* may be subjoined to them; as, honpx*t* kxv Norxn—Lxrxn*t*—Rorxn*t*—Mxrxn*t*,—Which way is North?—South?—East?—West? Indeed *t* may more properly be called a mark of interrogation, than considered as designating a case in verbs, as it can be used after all the words that ask questions: for which reason it is always the last letter in words and in the plural of verbs follows the *s*, as vivhonpes*t*, do they live?

Figure 5. (Ruggles 1829:37)

Given this, one might think that the imperative case markers are also at the end of their words, but this does not seem to be the case, as Ruggles (1829:155) has a sentence containing the form *Morhonpixgs* 'Let us stay', in which the vocative postulative affix *(-g)* precedes the plural marker *(-s)*.

One might compare these "cases" to the nominal cases, shown in Figure 6.

verbs. Substantives have five cases, corresponding to those of verbs, and three peculiar to themselves, as follows:

n, *Nominative;* as pon*p*e homzte*n*, he is a man.

l, *Accusative;* as vidzpo*l*pe homzte*l*, he sees a man.

rn, *Oblique;* as vidzpo*rn*pe homzte*rn*, he is seen by a man.

nk, *Vocative*, *Imperative;* as homzte*nk*, O a man; homzpe*nk*, O the man, &c. (commanding.)

ng,* *Vocative*, *Postulative;* as homzte*ng*, O the man, &c. (entreating.)

In vocative cases, it is necessary to use the pronominal letter, only when it is wished to distinguish the person or object addressed; and it is generally sufficient to say, *homenk* and *homeng*, O man; *homank* and *homang*, O woman; *senenk*, sirrah; *seneng*, sir; *senang*, madam; *senings*, ladies and gentlemen.

CASES NOT CORRESPONDING TO VERBS.

r, Genetive—*rs*, Genetive plural; as ljbztun homertun, a book of a man; ljbztun homerstun, a book of

Figure 6. Nominal cases (Ruggles 1829:24)

(There are two other nominal cases.) Note that most of the nominal case affixes are completely or partially identical to the verbal case affixes, which may be connected with Ruggles calling the latter cases. Note also that

the oblique case is quite different from what is called the oblique case in other languages, as it marks the agent in a passive construction.

Ruggles argues for the advantages of his verbal case system as follows (Figure 7):

The use of different letters to designate the cases of verbs, has reduced the intricacy arising from their different voices in other languages, to much simplicity; making a greater variety of significations, which are at the same time more definite; as it is found that most verbs may be used in the three cases or voices, as follows:

Nom. vadhonpix, I go.
Accus. vadholpix, I cause to go, or I carry.
Oblique, vadhornpix, I am caused to go, or am carried.
Nom. venhonpix; I come.
Accus. venholpix, I cause to come, or I bring.
Obl. venhornpix, I am caused to come, or am brought.

Figure 7. (Ruggles 1829:38)

There is one type of simplification which Ruggles mentions, shown in Figure 8.

In the vocative cases when it is not necessary to to distinguish between the imperative and postulative; and the verb is used, as it generally happens, in the second person, the terminations *iek*, *iak*, *iok*, or *ieg*, *iag*, *iog*, may, for brevity be omitted; as, *vivhonp*, live; *sumholp*, take; *movhornp*, be moved.

Figure 8. (Ruggles 1829:39)

CONCLUSION

In spite of what Ruggles says, his universal language is complex and presumably difficult to learn and use. Among its many inflectional categories is cases on verbs, which correspond to voices and some moods of other languages. It is not clear whether this is indeed an advantage.

REFERENCES

Couturat, L., and Leau, L. (1903) *Histoire de la langue universelle*. Librairie Hachette, Paris.

Duličenko, A. D. (1990) *Meždunarodnye vspomogatel'nye jazyki*. Valgus, Tallinn

Monnerot-Dumaine, M. (1960) *Précis d'interlinguistique générale et spéciale*. Librairie Maloine, Paris.

Okrent, A. (2009) *In the Land of Invented Languages*. Spiegel & Grau, New York.

Pei, Mario (1958) *One Language for the World*. Devin-Adair, New York.

Ruggles, J. (1829) *A Universal Language*. Apparently self-published, Cincinnati.

AN ANALYSIS OF THE POEM *ABOVE THE DOCK* BY T.E. HULME

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 poem *Above the Dock* by T.E. Hulme. The poem by T.E. Hulme is a poet who has laid down the basis for Imagist poetry and who is also considered the first modern poet. This is why the mood of this poem is innovative, experimental, and why the poem relies heavily on visual images of very high impact on the readers. The visual images are used in a very imaginative way, leading to a different kind of perception than the usual, everyday, realist one. The style of perception present in this poem is similar to that of some Japanese haiku poems, where the usual mode of perception is challenged. The poetic persona leaves behind everything he knows about how reality functions based on scientific explanations and rational way of perception, and sees the moon as "Tangled in the tall mast's corded height." The moon is also compared to "a child's balloon, forgotten after play." The previous, realist, scientific mode of perception is also present: "What seemed so far away." However, this mode of perception is left behind, and the moon is brought very close to earth, wihin human reach. The methodological framework is composed of close textual analysis, reader-response criticism, and psychoanalysis.

Keywords: Zen Buddhism, meditation, free associations, psychoanalysis, juxtaposition

1. INTRODUCTION

By analysing literary works, we become aware of how much our psychological makeup shapes the way in which we build reality. Poems can rely on figurative language, on the high use of imagination, as well as on the emotions and the associations of the poetic persona among images and ideas in order to offer a completely unexpected version of the surrounding world.

Modernism focuses on subjective perception, bringing in an occasion to make readers face innovative perceptions of reality and of the surrounding world. T.E. Hulme is one of the first Modernist poet (Mead, 2015; Tearle, 2013), a precursor of Imagism. Imagism is represented, within the wider Modernist movement, by a group of authors, from the UK and from America, led by Ezra Pound (Korg, 2003). They focus on visual, concise imagery in poems, at the expense of abstract, verbose use of language. This leads to poems having a high visual impact and, with it, a high emotional impact on readers.

1.1. Theoretical Framework

Since readers are actively involved in the understanding of innovative, challenging poems and versions of the surrounding world in Modernist and Imagist poems, reader-response criticism has been considered to be a suitable approach for the analysis of the poem *Above the Dock* by T.E. Hulme. Reader-response criticism claims that readers have emotional reactions to a text and that they also use their background knowledge in order to better understand it (Mart, 2019). This poem illustrates a perspective which challenges the usual one we have about the surrounding world. Hulme deals with an optical illusions, and with playing with proportions and distance. What we usually consider to be far away is brought very close to us, within our reach, once we leave behind everything we have been taught about this world. The poem works based on a process similar to free associations from psychoanalytic sessions (Freud, 1922), where one image or idea becomes connected to another. Close text analysis can underline how readers understand this poem and how the poem moves on from one image and idea to another one based on the concerns of the poetic persona.

2. METHOD

The poem *Above the Dock* by Hulme consists only of one stanza, made up of just four lines, which suggests conciseness and a resulting strong emotional impact of the visual imagery:

Above the quiet dock in mid night,
Tangled in the tall mast's corded height,
Hangs the moon. What seemed so far away

Is but a child's balloon, forgotten after play. (Hulme, 2026)

Readers who are familiar with haiku poems can recognize in the poem by Hulme a similar mode of perception. The poetic persona leaves behind all preconceived notions and scientific knowledge regarding distance between the moon and earth, as well as its size, and places the moon within the reach of human beings. The moon becomes tangled in the mast. This is a type of perception that makes the world appear like being part of a fantasy realm or of a fairy-tale. Readers can recall that in fairy-tales, the heroes can touch, hold, steal, or take back the moon or sun to a particular kingdom, restoring the order of the world. The poetic persona makes a parallel between the moon and a ball which is forgotten by children after playing.

The haiku poem is originally a Japanese poem, which started in the sixteenth-seventeenth century. This type of poem continues to be practiced today by international communities of haiku authors. Among the poems written by authors within the Romanian Kukai haiku community led by Corneliu Traian Atanasiu, the following poems can be found, which illustrate a similar mode of perception with the one presented by the poem *Above the Dock*: "crengi desfrunzite/ sprijină luna plină -/ nopţi fără somn" (leafless branches/ support the full moon —/ sleepless nights, my translation) by Ana Urma; "după furtună -/ pescarul şi Luna în/ aceeaşi barcă" (after the storm —/ the fisherman and the Moon/ in the same boat, my translation) by Cornel C. Costea; "fântâna seacă -/ luna din ea s-a mutat/ în altă parte" (the dried-up well —/ the moon within it has moved/ somewhere else, my translation) by Ioan Marinescu-Puiu; "răscruce în noapte -/ de cumpăna fântânii/ atârnă luna" (a crossroads at night —/ from the well's wooden beam/ hangs the moon, my translation) by Ana Urma; "lebede pe iaz -/ ciugulind fără vreun spor/ Calea Lactee" (swans on the pond —/ pecking away, with no success/ at the Milky Way, my translation) by Cezar Florin Ciobîcă; "cerul mai sărac -/ în nada pescarului/ se zbate luna" (a poorer sky —/ in the fisherman's bait/ a struggling moon, my translation) by Ion Răşinaru. These haiku poems are selected from the volume *Stol de cocori (A Flock of Cranes)* (2011), coordinated by Atanasiu. An intertextual level can be established by readers between a similar type of imagery in the haiku poems and in the poem bu Hulme. Pound himself tried to write haiku poems, as a representative of the Imagist movement, yet he adopted this poem experimentally. Imagism has been influenced by the haiku poem, as during the time there was an openness to anything new due to the experimentalist mood of the Modernist movement. Atanasiu (2026) confirms that the haiku poem had entered Western culture during the time when it was very much open to experimentalism. The haiku poem prompted Western culture members to practice a different mode of perception. Phenomenology calls this direct perception (Merleau-Ponty et al, 2013), as the veiwer leaves behind

any preconceived notions about reality, just like the poet practising Zen Buddhist meditation when writing haiku poems. Zen Buddhism focuses on immediate perception, here and now.

Readers notice how the viewer in Hulme's poem makes free associations between the moon and a ball with which children play. The moon remains forgotten, tangled in the mast, just like a ball, as adults forget to see its beauty. As we grow up, we forget to look at the world from a magic perspective.

The interpretations of this poem vary from an optical illusion, a fresh mode of perception, to a reflective interpretation, based on the way in which as adults we forget about the direct perception of reality we had as children, before we were aware of the way in which the world works.

3. RESULTS

The analysis of the poem *Above the Dock* shows that it constructs an alternative perception of reality through a combination of visual imagery, unexpected associations, and the deliberate disruption of ordinary proportions and distances. The moon is initially perceived as being "above the quiet dock" and "tangled in the tall mast's corded height" (Hulme, 2026). Through this imagery, an object conventionally understood as distant and unreachable appears to be physically caught in the ropes of a mast.

The poem's final two lines transform this initial visual impression into an unexpected association: "What seemed so far away / Is but a child's balloon, forgotten after play" (Hulme, 2026). The moon is no longer perceived mainly as a celestial body but as an everyday object associated with childhood. This transformation depends on the reader's ability to abandon conventional assumptions concerning astronomical distance and to participate in the poetic persona's imaginative perception. The comparison between the moon and a forgotten balloon also introduces a temporal dimension, as the image of the balloon evokes the period of childhood and the possibility of seeing ordinary reality through imagination.

The analysis also reveals similarities between Hulme's poem and the haiku mode of perception. The poem's brevity, concentration on a single visual moment, and unexpected juxtaposition of images (the moon and the ball) encourage readers to experience the scene directly rather than through an abstract explanation.

The parallels with Romanian haiku poems show that the association of the moon with familiar earthly objects is not unique to Hulme's poem. Images of the moon hanging from a well, appearing in a boat, moving from a dried-up well, or struggling in a fisherman's bait similarly challenge conventional distinctions between the distant celestial world and the immediate human environment.

4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

Readers contribute to the construction of meaning by connecting the poem's images with their own background knowledge, memories, associations, and expectations. A reader familiar with haiku may recognize a mode of perception based on immediacy and visual concentration, while another reader may interpret the image primarily through childhood memories or through the contrast between scientific knowledge and imaginative perception.

The poem can be read as an optical illusion or as an imaginative comparison. In addition, the forgotten child's balloon suggests the loss of wonder associated with growing up. Adults may possess greater knowledge of how the physical world works, but this knowledge can limit the imaginative freedom with which reality is perceived.

REFERENCES

Atanasiu, C.T. (2026). Prin sindrila sparta, fan din Carul Mare. PIM Publishing House, Iasi, Romania.

Atanasiu, C.T., coord. (2011). Stol de cocori. Romanian Haiku. Anul IV de concurs. RO KU Publishing House, Romania.

Freud, S. (1922). Introductory lectures on psycho-analysis: A course of twenty eight lectures delivered at the University of Vienna. G. Allen & Unwin.

Hulme, T.E. (2026). Above the Dock. https://poets.org/poem/above-dock

Korg, J. (2003). Imagism. A Companion to Twentieth-Century Poetry, 125-137.

Mart, C. T. (2019). Reader-response theory and literature discussions: A Springboard for exploring literary texts. The New Educational Review, 56, 78-87.

Mead, H. (2015). TE Hulme and the ideological politics of early modernism. Bloomsbury Publishing.

Merleau-Ponty, M., Landes, D., Carman, T., & Lefort, C. (2013). Phenomenology of perception. Routledge.

Tearle, O. (2013). TE Hulme and modernism. A&C Black.

AN ANALYSIS OF THE POEM *BESIDES THE AUTUMN POETS SING* BY EMILY DICKINSON

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 poem *Besides the Autumn poets sing* by Emily Dickinson. This is a poem about the autumn season, which is presented in its usual image as a season of transtion between seasons. The presence of snow in the lines of the poem makes readers consider that winter is near. Autumn is portrayed as a source of lyricism: "Besides the Autumn poets sing." The reality becomes a magical one once elves are mentioned. Readers may think about the connection between the elves of Santa Claus, the approaching Christmas and winter holidays, together with the associated magic with the winter season. The brook becomes still, which suggests to readers that even elements in the natural world can become more meditative, just like human being, during this season. The poem by Dickinson suggests a playful tone and rhythm, yet at the same time it introduces suggestions regarding the passage of time and the changes leading to the winter season. Dickinson pauses for some moments to reflect on the process of change, as she witnesses it in the natural world, and in the world of human beings and their stories, such as those about elves, associated with the approaching winter season. The poem moves from one image to another, similarly to the process of free associations in psychoanalytic sessions. The methodological framework is composed of close textual analysis, reader-response criticism, and psychoanalysis.

Keywords: transition, change, free associations, psychoanalysis, loss

1. INTRODUCTION

As human beings, we always have emotional reactions to the seasonal changes. We cannot help but witness, visually, what is specific to each and every season. We reflect on these changes and features of the seasons, as they can be associated with various moments in our everyday lives. There are, in the human world, many holidays and pass times associated with each season. Literary and artistic works have creates for us images for each seasons, which is why we associate certain ideas, images, reflections and preoccupations, as well as emotions and moods, with each of them.

Poetry is one means through which emotional reactions and associations of ideas and images related to seasons are expressed. Poetry makes us aware of the way in which we understand and build images and scenarios of and about each season.

1.1. Theoretical Framework

Reader-response criticism makes us aware of how we react emotionally to the texts we read and also of how we use our background knowledge in order to understand and interpret a particular text (Mart, 2019). Readers work their way through the meaning of a literary work by engaging with it at the level of emotions and ideas. They go through a process reminding of the free associations method from psychoanalytic sessions (Freud, 1922), as words and images in a literary work carry allusions and further layers of meaning which can be interpreted function of the readers' personal life experience and psychological makeup. This process similar to free associations can be considered to be controlled by the author of a literary work, who relies on common associations established with particular images and ideas.

2. METHOD

The poem selected for analysis in this paper in order to illustrate the previous statements is *Besides the Autumn poets sing* by Emily Dickinson. The poem uses the occasion of some moments of transition between autumn and winter in order to present, visually, and also imaginatively, the process of change. Dickinson creates another world, as she brings in her contribution to the description of the surrounding environment.

The first stanza uses autumn as a season to present the creative work of the poets:

Besides the Autumn poets sing,
A few prosaic days
A little this side of the snow
And that side of the Haze – (Dickinson, 2026)

This stanza establishes the poem's main topic: the transitional period between autumn and winter. Dickinson begins with the statement, "Besides the Autumn poets sing," which places her poem in conversation with the literary tradition of autumn poetry. The phrase "A few prosaic days" has an emotional impact on readers, grabbing their attention. "Prosaic" means ordinary, everyday. Autumn is a season about which "poets sing," but the poetic persona directs our attention toward a few ordinary days that are often overlooked. This suggests that meaningful experiences can exist even in apparently insignificant moments. The phrase "A little this side of the snow / And that side of the Haze" suggests that the poetic persona locates herself in-between between two conditions: that of the snow, representing the approaching winter, and that of the haze, associated with the fading atmosphere of autumn. The repeated phrase—"this side" and "that side"—emphasizes in-betweenness. The poem is thus about the psychological experience of being between two states. From a reader-response perspective, the images of snow and haze encourage readers to bring their own associations to the poem. Snow may suggest winter, Christmas, childhood memories, silence, death, or renewal, depending on the reader's experience. The poem begins a process of free association, in which one image naturally leads to another.

The second stanza intensifies the feeling that autumn is disappearing:

A few incisive mornings -
A few Ascetic eves -
Gone - Mr Bryant's "Golden Rod" -
And Mr Thomson's "sheaves." (Dickinson, 2026)

Dickinson uses the phrase "A few", suggesting the idea that time is limited. The season is not just changing; it is being reduced to a small number of remaining moments. The phrase "incisive mornings" is striking. "Incisive" means sharp, penetrating, or cutting. The word can describe the increasingly cold and sharp mornings of late autumn. The physical coldness of the season is transformed into a sensory experience. Winter can almost be felt as something that cuts into the body. In contrast, Dickinson describes the evenings as "Ascetic." An ascetic person rejects physical pleasures and lives in a restrained or austere manner. By applying this word to autumn evenings, Dickinson personifies the season as becoming bare, restrained, and stripped of abundance. The word "Gone" also has a strong impact. It suggests disappearance. The flowers and harvest imagery associated with autumn have already passed. This leads to a suggested theme of loss. The natural world is changing, and the poetic persona recognizes that certain things cannot be recovered. The disappearance of flowers and sheaves becomes an instance of figurative language standing for the human experience of seeing things pass away. Dickinson acknowledges earlier poets who have written about autumn, but her own poem moves beyond their

traditional images. Rather than celebrating golden fields and harvests, she is interested in what happens after those images have disappeared.

The third stanza brings a change in the poem's atmosphere. Dickinson turns away from flowers, harvests, and literary references towards a magical natural landscape:

Still, is the bustle in the brook -

Sealed are the spicy valves -

Mesmeric fingers softly touch

The eyes of many Elves – (Dickinson, 2026)

The brook suggesst movement and noise. However, Dickinson describes its “bustle” as “still.” This can suggest that the brook has become quieter as winter approaches. This paradox is significant because it reflects the poem's concern with change and stillness. As the season changes, nature becomes quieter and more meditative. The second line of this stanza suggests that nature is shutting itself down in preparation for winter. The adjective “spicy” gives the natural world a sensory quality. The poetic persona does not only describe what she sees; she evokes smell and taste, making the landscape almost physically present for readers. With the third line, the poem takes an unexpected turn, moving towards magic. The word “Mesmeric” suggests hypnosis or enchantment. Nature is now transformed into something magical. The poetic persona imagines invisible “fingers” gently touching the eyes of elves, as though the natural world is putting them to sleep. The elves introduce a childlike, fantastical dimension. Readers may associate elves with folklore, Christmas, winter, and childhood imagination. Thus, the poem moves from an observable natural landscape into an imaginative world.

The last stanza brings the poem back from fantasy to the reality, as it focuses on the inner world of the poetic persona:

Perhaps a squirrel may remain -

My sentiments to share -

Grant me, Oh Lord, a sunny mind -

Thy windy will to bear!

The squirrel remains active during the transition into winter. The word “Perhaps” introduces uncertainty. The poetic persona, thus, cannot be sure even that the squirrel will remain. The poetic persona imagines the squirrel as capable of sharing her feelings. She is projecting human emotions onto the natural world.

The poetic persona notices a world in which things are disappearing: flowers are gone, harvests have passed, the brook becomes still, and elves are falling asleep. The poetic persona thus seeks companionship in the remaining living creature, the squirrel.

The last lines of the poem show a shift from observation to religious reflections. The poetic persona asks God for a "sunny mind," which suggests optimism, clarity, warmth, and emotional strength. The external world is becoming cold, windy, and winter-like, while the speaker asks for an internal source of sunlight. The ending transforms the poem from a description of seasonal change into a meditation on how human beings cope with change. The poetic persona cannot stop winter from coming. She cannot preserve the goldenrod, the harvest, or the warmth of autumn. Instead, she asks for the psychological strength to endure what is coming, and what is beyond her control.

3. RESULTS

The poem by Dickinson is about the transition from one season to another, but also about the transition from one age and one emotional and psychological state of affairs to another in the inner world of the poetic persona. It is a poem about the passage of time, about loss, and here connections between the natural world and human psychology can be established by comparison and by the suggestions brought by the poetic language. The poem moves from noticing changes to accepting change.

4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

Dickinson's poem is not just a description of late autumn. Through a sequence of compressed images, allusions, personification, paradox, and fantasy, Dickinson transforms seasonal change into a reflection on time, loss, imagination, and human psychological strength. The poem begins with the external world—the autumn landscape—but gradually moves inward toward the speaker's psychological and spiritual experience. Dickinson presents seasonal transition as a metaphor for the larger human experience of confronting change, uncertainty, and loss while attempting to preserve inner strength.

REFERENCES

Dickinson, E. (2026). Besides the Autumn poets sing. https://poets.org/poem/besides-autumn-poets-sing-131

Freud, S. (1922). Introductory lectures on psycho-analysis: A course of twenty eight lectures delivered at the University of Vienna. G. Allen & Unwin.

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 THE POEM *NOVEMBER NIGHT* BY ADELAIDE CRAPSEY

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 poem *November Night* by Adelaide Crapsey. This is a poem relying strongly on the effect of the atmosphere suggested and its emotional impact on the readers. The theme is loss, brought by the autumn season, which is associated with leaves falling and with nature dying, in order to move on to the next phase in the renewal of the natural cycle in spring. The poem relies on a process similar to the one of the free association technique in psychoanalytic sessions, as it moves from one image to another: the *faint dry sound*, the *passing ghosts*, the leaves, the fall. All of these elements are centred around the nucleus of the autumn season and its various components. The ghosts suggest that soon the falling leaves themselves will be gone. The poetic persona creates a visual image of the process of change. These visual images suggest abstract reflections related to the ephemerality of life, loss, and the passage of time. Imagism was inspired by the haiku poem, and allusions to this poem are present in the experimental form of this poem by Crapsey. Next to the short form and visual images, the allusions to transience are part of the Zen Buddhist philosophy associated with the haiku poem. This poem by Crapsey, just like the haiku poem, becomes a meditation on transience and loss, through observing the external elements. The methodological framework is composed of close textual analysis, reader-response criticism, and psychoanalysis.

Keywords: Zen Buddhism, change, free associations, psychoanalysis, loss

1. INTRODUCTION

The autumn season has frequently been portrayed by literary works as a season of changes, during which human beings stop to reflect. This season resonates with reflective, nostalgic, melancholic moods of poetic personas who project on the surrounding environment their psychological reality. Autumn can be understood as an external projection of psychological crises and dilemmas.

The autumn season provides a visual pretext against which philosophical reflections occur. This is visible in the poem *November Night* by Adelaide Crapsey (1878—1914). Crapsey belongs to the Modernist movement, and, more specifically, to Imagism. According to Poetry Foundation (2026), Crapsey invented the cinquain, a poem that is only five lines long and very concise. It is worth mentioning "her reliance on the methods of Japanese tanka and haiku" (Poetry Foundation, 2026). In addition, her experimentalism is an important aspect: "With her invention of the cinquain, Crapsey created an American form similar to these Japanese predecessors. Like Ezra Pound, she admired the Japanese poets for their compressed language and formal aesthetics" (Poetry Foundation, 2026). Knowledgeable readers may establish connections between the poem *November Night* and highly visual, concise and full of emotional impact Japanese haiku poetry forms such as haiku and tanka.

1.1. Theoretical Framework

Since readers are highly active while reading the poem by Crapsey, as they interpret what lies beyond the visual imagery level, reader-response criticism has been considered a suitable approach to the analysis of this poem. Reader-reponse criticism claims that readers always have an emotional reaction to the text they read, and that they use their background knowledge in order to interpret it (Mart, 2019). We notice how background knowledge on the features of haiku and tanka Japanese poems can influence the perception of readers on the poem by Crapsey, viewing it as an instance of indirect communication through vsiual images instead of direct communication through words. Readers work through their way of interpreting this poem by Crapsey based on a process similar the free association technique in psychoanalytic sessions (Freud, 1922). The poem moves from one image to another: the *faint dry sound*, the *passing ghosts*, the leaves, the fall, which are all around the nucleus of the autumn season.

2. METHOD

Autumn, in the poem by Crapsey, is associated with ephemerality and death:

Listen …
With faint dry sound,
Like steps of passing ghosts,
The leaves, frost-crisp'd, break from the trees
And fall. (Crapsey, 2026)

November Night is a short but powerful poem that explores the themes of transience, loss, and the passage of time through one moment in the natural world, during the autumn season. By depicting frost-crisped leaves falling from trees, Crapsey turns a common autumn scene into a meditation on mortality and the inevitable process of change. The poem does not directly express feelings of sadness. Instead, it relies on sensory images, restrained language, and a comparison between the falling leaves and the passing ghosts, in order to express feelings of sadness in an indirect manner.

The main association is between the falling leaves and the passing ghosts, which works like a comparison or like a juxtaposition in a haiku poem. The leaves are physically present, yet their movement evokes something intangible and disappearing. As ghosts suggest the presence of the dead or the return of something belonging to the past, they introduce the possibility that the autumn scene symbolizes mortality, memory, and the gradual disappearance of life.

The poem does not explicitly mention death, grief, or human suffering. These meanings come from the reader's interpretation of the images. The brevity of the poem makes the final action particularly significant: the leaves break away from the trees and fall. The physical event becomes an image of separation, decline and loss. The natural world becomes a setting in which the transience of existence can be contemplated.

Based on an intertextual connection between this poem by Crapsey and the haiku poem, we notice how the poem by Crapsey has in common the theme of transience (Novak, 1996), which is strongly associated with Zen Buddhist philosophy. The natural world raises our awareness of this fact, that everything is subject to loss, and that we are eventually going to lose everything and everyone we love. However, Zen Buddhism claims that we need to come to terms with this state of affairs. In the poem by Crapsey, the poetic persona does not lament the leaves, protest their disappearance, or express fear of death, in conformity with Zen Buddhist philsophy. The

opening word, *Listen*, encourages attentive observation. This gesture may imply that even a fleeting incident or moment can become worthy of contemplation.

From a psychoanalytic perspective, the poem moves from one image to another. The progression from sound to ghosts, leaves, trees, and falling resembles an associative chain in which one perception activates another.

The initial sound is not immediately identified. Instead, it is compared to ghostly footsteps. That comparison introduces associations with absence and death before the reader discovers the literal source of the sound.

3. RESULTS

The poem *November Night* shows how a very short poetic form can convey complex emotional and philosophical meanings. Its five lines focus on a single natural event, yet the carefully arranged images transform the event into a meditation on the fleeting nature of existence.

4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

The poem draws attention to the relationship between its literal and figurative levels. At the literal level, it describes leaves falling in late autumn. At the figurative level, the leaves evoke separation, mortality, memory, and the passage of time. The poem's restraint leaves these associations open. Its relationship to Imagism is evident in its concise language, concrete sensory details, and emphasis on the image rather than explanatory commentary. Its affinity with Japanese short poetry can be seen in its concentrated attention to nature and the possibility of contemplating impermanence through an ordinary event. The poem's images can prompt free associations

REFERENCES

Crapsey, A. (2026). November Night. https://poets.org/poem/november-night

Freud, S. (1922). Introductory lectures on psycho-analysis: A course of twenty eight lectures delivered at the University of Vienna. G. Allen & Unwin.

Mart, C. T. (2019). Reader-response theory and literature discussions: A Springboard for exploring literary texts. The New Educational Review, 56, 78-87.

Novak, P. (1996). Buddhist meditation and the consciousness of time. *Journal of Consciousness Studies*, *3*(3), 267-277.

Poetry Foundation. (2026). Adelaide Crapsey. https://www.poetryfoundation.org/poets/adelaide-crapsey

İNFORMASİYA TEXNOLOGİYALARI: ANLAYIŞI, STRUKTURU VƏ MÜASİR İNKİŞAF İSTİQAMƏTLƏRİ

Manjanova Firangiz

ADPU'ya bağlı ADPK öğretmeni

fira.nasibova1965@gmail.com

Bilgi Teknolojisi

XÜLASƏ

Bu tədqiqat məqaləsində müasir cəmiyyətin, elm, təhsil və sənayenin inkişafında aparıcı hərəkətverici qüvvəyə çevrilmiş informasiya texnologiyalarının (İT) konseptual mahiyyəti, struktur elementləri və müasir inkişaf tendensiyaları hərtərəfli şəkildə təhlil edilir. İnformasiya texnologiyalarının tarixi təkamül mərhələləri, aparat (Hardware) və proqram təminatı (Software) alətləri, verilənlər bazası idarəetmə sistemləri, şəbəkə infrastrukturu və təhlükəsizlik protokolları sistemli yanaşma müstəvisində araşdırılır. Məqalədə müasir İT ekosistemini şəkilləndirən əsas istiqamətlər — süni intellekt (Sİ), böyük verilənlər (Big Data), bulud texnologiyaları (Cloud Computing), əşyaların interneti (IoT), kiber təhlükəsizlik və blokçeyn texnologiyalarının nəzəri-praktiki əsaslarına geniş yer verilir. Həmçinin İT-nin sosial-iqtisadi transformasiyadakı rolu, təhsil və elm idarəçiliyində rəqəmsallaşma meylləri və gələcək perspekivləri akademik müstəvidə qiymətləndirilir.

Açar sözlər: *İnformasiya texnologiyaları, rəqəmsal transformasiya, süni intellekt, bulud hesablamaları, böyük verilənlər, kiber təhlükəsizlik, proqram təminatı.*

ABSTRACT

This research article comprehensively analyzes the conceptual essence, structural elements, and modern development trends of Information Technology (IT), which has become a primary driving force in the advancement of modern society, science, education, and industry. The historical evolution stages of IT, hardware and software tools, database management systems, network infrastructure, and security protocols are examined through a systems approach. The paper places significant emphasis on the theoretical and practical foundations of key paradigms shaping the contemporary IT ecosystem, including Artificial Intelligence (AI), Big Data, Cloud Computing, the Internet of Things (IoT), Cybersecurity, and Blockchain technology. Furthermore, the socio-economic transformative role of IT, digitization trends in educational and scientific administration, and future developmental perspectives are critically evaluated from an academic standpoint.

Keywords: *Information technology, digital transformation, artificial intelligence, cloud computing, big data, cybersecurity, software engineering.*

XX əsrin ikinci yarısından etibarən bəşəriyyət sənaye cəmiyyətindən post-sənaye, yəni informasiya cəmiyyətinə keçid mərhələsinə qədəm qoymuşdur. Bu keçidin və rəqəmsal sivilizasiyanın təməl dayağını İnformasiya Texnologiyaları (İT) təşkil edir. Geniş mənada informasiya texnologiyaları — məlumatların, verilənlərin və biliklərin toplanması, saxlanılması, emalı, ötürülməsi, mühafizəsi və idarə olunması məqsədilə istifadə edilən bütün aparat, proqram və şəbəkə vasitələrinin, habelə metodoloji üsulların məcmusudur.İnformasiya texnologiyaları anlayışı elmi ədəbiyyata ilk dəfə 1958-ci ildə Garold C. Lidd (Harold J. Leavitt) və Tomas L. Vistler (Thomas L. Whisler) tərəfindən *Harvard Business Review* jurnalında dərc olunan "Management in the 1980s" məqaləsi ilə daxil edilmişdir. Müəlliflər İT-ni üç əsas tərkib hissədən ibarət konseptual struktur kimi təsvir etmişdilər: informasiyanın emalı metodları, qərarqəbuletmə prosesində riyazi və statistik modellərin tətbiqi və yüksək dərəcəli proqram təminatı vasitəsilə təfəkkür proseslərinin simulyasiyası (Leavitt & Whisler, 1958).Müasir dövrdə İT sadəcə hesablama texnikasının istifadəsini deyil, cəmiyyətin bütün sferalarını — iqtisadiyyat, idarəetmə, təhsil, səhiyyə, elm və mədəniyyət sahələrini köklü şəkildə dəyişdirən universal rəqəmsal ekosistemi ifadə edir. Kompüter elmlərinin nəzəriyyəçisi Norbert Vinerin (Norbert Wiener) kibernetika təlimində vurğuladığı kimi: *"Cəmiyyətdə effektiv idarəetmə və yaşayış yalnız informasiya axınlarının və kommunikasiya mexanizmlərinin düzgün öyrənilməsi və tətbiqi ilə mümkündür"* (Wiener, 1954).İT-nin inkişaf tarixi məlumatın emalı texnikasının dəyişməsinə müvafiq olaraq bir neçə əsas mərhələyə bölünür:

1. Mexaniki və Elektromexaniki Mərhələ (XIX əsrin sonu – XX əsrin ortaları): Çarlz Bebbıcın analitik maşını, Herman Holleritin tabulyatoru vər elektron cədvəllərin ilk rüşeymləri.
2. Elektron İnqilabı Mərhələsi (1940-1970-ci illər): İlk böyük ölçülü elektron hesablama maşınlarının (ENIAC, UNIVAC) yaranması, lampalı texnologiyalardan yarımkeçiricilərə və tranzistorlara keçid.
3. Şəxsi Kompüterlər və Mikroprosessorlar Dövri (1970-1990-cı illər): İnteqral sxemlərin inkişafı, IBM PC və Apple kompüterlərinin kütləviləşməsi, əməliyyat sistemlərinin (MS-DOS, Windows, Unix) formalaşması.
4. Qlobal Şəbəkə və İnternet Mərhələsi (1990-2010-cu illər): World Wide Web (WWW) protokollarının tətbiqi, elektron ticarət, verilənlər bazalarının mərkəzləşdirilməsi və ilkin elektron idarəetmə sistemləri.
5. Ağıllı Texnologiyalar və Rəqəmsal Ekosistemlər Dövri (2010-cu ildən müasir dövrə qədər): Bulud hesablamaları, generativ süni intellekt, böyük verilənlər analitikası və kiber-fiziki sistemlər.

İnformasiya texnologiyaları çoxkomponentli və sistemli bir struktura malikdir. Bu sistemin rəvan işləməsi onun daxili infrastruktur elementlərinin qarşılıqlı inteqrasiyası ilə şərtlənir.Aparat təminatı informasiyanın daxil edilməsi, emal olunması, saxlanılması və xaric edilməsini təmin edən fiziki qurğular məcmusudur. Buraya daxildir:

1. Mərkəzi Emal Qurğusu (CPU): Kompüterin "beyni" rolunu oynayır, məntiqi və riyazi əməliyyatları icra edir (Moore qanununa uyğun olaraq inteqral sxemlərdə tranzistorların sıxlığının artması icra sürətini eksponent olaraq artırmışdır).
2. Yaddaş Qurğuları: Operativ yaddaş (RAM) — müvəqqəti emal olunan məlumatlar üçün; Daimi yaddaş (ROM, SSD, HDD) — uzunmüddətli məlumat saxlancı üçün.Xarici və Giriş-Çıxış Qurğuları: Klaviatura, monitor, sensor displeylər, skanerlər, sənaye sensorları.

Proqram təminatı aparat resurslarını idarə edən və istifadəçi tapşırıqlarının yerinə yetirilməsini təmin edən təlimatlar və alqoritmlər toplusudur. O, iki ana kateqoriyaya bölünür:

1. Sistem Proqram Təminatı: Əməliyyat sistemləri (Windows, Linux, macOS, Android), drayverlər, utilitlər. Sistem proqram təminatı aparat resursları ilə istifadəçi proqramları arasında körpü rolu oynayır.
2. Tətbiqi Proqram Təminatı: Müəyyən sahələrdə konkret məsələləri həll etmək üçün nəzərdə tutulmuş proqramlar (mətn redaktorları, qrafik redaktorlar, Enterprise Resource Planning - ERP sistemləri, CRM platformaları).
3. Proqramlaşdırma Vasitələri: Proqram təminatının yazılması üçün istifadə olunan dillər və mühitlər (Python, C++, Java, JavaScript, IDE-lər).

Məlumatın nizamlı şəkildə saxlanılması və sürətli axtarışı İT-nin nüvəsini təşkil edir. Relasiyalı verilənlər bazaları (SQL: PostgreSQL, Oracle, MySQL) strukturlaşdırılmış məlumatlar üçün, NoSQL bazaları (MongoDB, Cassandra) isə böyük həcmli strukturlaşdırılmamış məlumatlar üçün istifadə olunur. Məlumatın strukturlaşdırılması məlumatın tamlığını (*data integrity*) və təhlükəsizliyini təmin edir.Şəbəkə texnologiyaları məlumatların məkan məhdudiyyəti olmadan ötürülməsini təmin edir. Buraya lokal şəbəkələr (LAN), genişsahəli şəbəkələr (WAN), fiber-optik xətlər, Simsiz Şəbəkə protokolları (Wi-Fi 6, 5G/6G mobil şəbəkələri) və OSI (Open Systems Interconnection) modeli daxildir.Göz qabağında olan texnoloji inqilab İT-nin tətbiq sahələrini keyfiyyətcə yeni müstəviyə qaldırmışdır. Müasir İT ekosisteminin əsas istiqamətləri aşağıdakı texnoloji paradiqmalarla müəyyən olunur:Süni intellekt müasir İT-nin ən dinamik inkişaf edən istiqamətidir. Süni intellekt insan təfəkküründə xas olan mühakimə, öyrənmə, məntiqi nəticəçıxarma və özünütəkmilləşdirmə qabiliyyətlərini kompüter sistemlərində simulyasiya edir.Maşın Öyrənməsi (ML): Neyron şəbəkələri və alqoritmlər vasitəsilə verilənlər dəstindən müstəqil şəkildə pattern-lərin (qanunauyğunluqların) aşkar edilməsi.Təbii Dilin Emalı (NLP) və Generativ Sİ: Mətni anlama, tərcümə etmə, məzmun yaratma (GPT, Gemini, Claude modelləri) və səsli asistentlər.Kompüter Görməsi (Computer Vision): Təsvir və videoların avtomatik tanınması, tibbi diaqnostika, pilotsuz nəqliyyat vasitələrinin idarə olunması.Stüart Rassell və Piter Norviq qeyd edirlər ki, *"Süni intellekt sadəcə avtomatlaşdırma aləti deyil, qeyri-müəyyənlik şəraitində rasional qərarlar qəbul edə bilən mürəkkəb agentlər nəzəriyyəsidir"* (Russell & Norvig, 2020).Dünyada hər gün eksbaytlarla informasiya istehsal olunur. "Big Data" konsepti ənənəvi verilənlər bazası proqramları ilə emal edilməsi mümkün olmayan böyük həcmli, müxtəlif strukturlaşmaya malik və yüksək sürətlə axan verillənlər dəstini ifadə edir. Böyük verilənlər 5V parametri ilə xarakterizə olunur:

1. Volume (Həcm): Terabaytlardan zetabaytlara qədər məlumat həcmi.
2. Velocity (Sürət): Məlumatın real vaxt rejimində yaradılması və emalı.
3. Variety (Müxtəliflik): Mətn, audio, video, sensor məlumatları.
4. Veracity (Dəqiqlik): Məlumatın etibarlılığı və təmizliyi.
5. Value (Dəyər): Məlumatdan faydalı biznes və ya elmi biliklərin çıxarılması.

Bulud texnologiyaları fiziki serverlərə olan ehtiyacı minimuma endirərək, hesablama resurslarını (serverlər, saxlanc, verilənlər bazaları, proqram təminatı) İnternet üzərindən tələbəuyğun (*on-demand*) xidmət şəklində təqdim edir. Bulud xidmətlərinin əsas modulları:

1. IaaS (Infrastructure as a Service): Avadanlıq infrastrukturunun icarəsi (AWS, Microsoft Azure, Google Cloud).

2. PaaS (Platform as a Service): Proqram təminatı tərtibatçıları üçün hazır platforma və mühit.
3. SaaS (Software as a Service): İstifadəçilərə proqramların internet üzərindən xidmət kimi sunulması (Google Workspace, Office 365).

IoT fiziki qurğuların, məişət cihazlarının, nəqliyyat vasitələrinin və sənaye avadanlıqlarının daxili sensorlar, proqram təminatı və şəbəkə qoşulmaları vasitəsilə bir-biri ilə məlumat mübadiləsi aparmasını təmin edən konsepsiyadır. Ağıllı şəhərlər (*Smart Cities*), ağıllı evlər və Sənaye 4.0 (*Industry 4.0*) birbaşa IoT infrastrukturuna əsaslanır.Rəqəmsallaşmanın artması kiber təhdidlərin və məlumat sızmalarının miqyasını da genişləndirmişdir. Kiber təhlükəsizlik şəbəkələrin, sistemlərin və proqramların kiber hücumlardan qorunması təcrübəsidir.Zero Trust (Sıfır Etibar) Modeli: Daxili və ya xarici şəbəkədən gələn hər bir müraciətin identifikasiya və avtorizasiya olunmasını tələb edən müasir təhlükəsizlik arxitekturası.Blokçeyn (Blockchain): Mərkəzsizləşdirilmiş, paylanmış və dəyişdirilməsi mümkün olmayan kriptoqrafik məlumat zənciridir. Blokçeyn maliyyə sektorunda (kriptovalyutalar), rəqəmsal kimlik identifikasiyasında, elektron sənəd dövriyyəsində və təchizat zəncirinin idarə olunmasında tam şəffaflıq yaratmışdır.İT-nin inkişafı təkcə texniki sahə ilə məhdudlaşmır, həm də təşkilati idarəetməni, elmi-tədqiqat metodologiyasını və təhsil sistemini yenidən formalaşdırır.

Sahə	Ənənəvi Yanaşma	İT Əsaslı Müasir Yanaşma	Əldə Olunan Səmərə
Müəssisə İdarəetməsi	Kağız üzərində kargüzarlıq, subyektiv qərarlar	ERP, CRM, AI analitikası, e-kargüzarlıq	Operativlik, xərclərin azaldılması, resurs idarəçiliyi
Elmi Tədqiqatlar	Manuel təcrübələr, məhdud məlumat bazası	Superkompüterlər, Sİ simulyasiyaları, Big Data	Keşflərin sürətlənməsi, dəqiq modelləşdirmə
Təhsil Sistemi	Passiv mühazirə, fiziki iştirak zərurəti	LMS platformaları, EDTech, AI repetitorlar	İnteraktivlik, fərdiləşdirilmiş təhsil, əlçatanlıq

Ben Uilyamson (Ben Williamson) qeyd edir ki, *"Ali təhsil və elm idarəçiliyində məlumatlaşdırma və avtomatlaşdırma artıq sadəcə texniki köməkçi vasitə deyil, idarəetmə siyasətini və tədrisin keyfiyyətini şəkilləndirən əsas infrastrukturdur"* (Williamson, 2021).Xüsusilə elektron kargüzarlıq və sənəd dövriyyəsi sistemlərində (EDMS) İT-nin və Sİ-nin tətbiqi bürokratik ləngimələri aradan qaldırır, arxivləşdirməni avtomatlaşdırır, daxil olan müraciətlərin semantik təhlilini apararaq icra müddətlərinə nəzarəti gücləndirir (Həsənli, 2023).İT-nin sürətli inkişafı bir sıra etik, sosial və texniki problemləri də bərabərində gətirmişdir:

1. Rəqəmsal Qeyri-Bərabərlik (Digital Divide): İnkişaf etmiş və inkişaf etməkdə olan ölkələr, eləcə də müxtəlif sosial təbəqələr arasında müasir İT resurslarına çıxış imkanlarındakı uyğunsuzluq.
2. Kadr Çatışmazlığı: İT sektorunun eksponent böyüməsi kiber təhlükəsizlik, Sİ mühəndisliyi və Big Data analitikası sahəsində ixtisaslı mütəxəssis qıtlığı yaratmışdır.
3. Etik və Məxfilik Məsələləri: Məlumatların icazəsiz toplanması, generativ Sİ modellərinin müəllif hüquqlarını pozması, alqoritmik qərəzlilik və sosial mediada dezinformasiya riskləri.
4. Enerji İstehlakı: Böyük data mərkəzlərinin (*Data Centers*) və Sİ modellərinin təliminin yüksək elektrik enerjisi tələb etməsi ekoloji dayanıqlılıq baxımından yeni çağırışlar ortaya çıxarır ("Green IT" təşəbbüsləri).

NƏTİCƏ

İnformasiya texnologiyaları müasir dünyada sadəcə bir ixtisas və ya texniki sahə olmaqdan çıxaraq, qlobal sivilizasiyanın strateji inkişaf vektoruna çevrilmişdir. İT-nin aparat və proqram təminatı, verilənlər bazaları və şəbəkə infrastrukturundan ibarət klassik strukturu günümüzdə süni intellekt, bulud hesablamaları, böyük verilənlər və kiber təhlükəsizlik kimi innovativ paradiqmalarla zənginləşmişdir.Gələcəyin İT ekosistemi kvant hesablamaları (*Quantum Computing*), neyromorfik çiplər və tam mərkəzsizləşdirilmiş rəqəmsal sistemlər üzərində qurulacaqdır. İnformasiya texnologiyalarını mənimsəmək, bu alətlərdən səmərəli, təhlükəsiz və etik qaydalara uyğun istifadə etmək həm dövlətlərin rəqabət qabiliyyətini, həm də fərdlərin rəqəmsal savadlılığını müəyyən edən başlıca amil olaraq qalacaqdır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Həsənli, R. (2023). *Təhsildə Rəqəmsal Transformasiya və İdarəetmə İnnovasiyaları*. Bakı: Elm və Təhsil.
2. Məmmədov, Ə., & Quliyev, T. (2024). Süni İntellekt Texnologiyalarının Dövlət və Müəssisə İdarəetməsində Tətbiqi Perspektivləri. *İnformasiya Cəmiyyəti Problemləri*, 15(1), 42–50.
3. Leavitt, H. J., & Whisler, T. L. (1958). Management in the 1980s. *Harvard Business Review*, 36(6), 41–48.
4. Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
5. Simon, H. A. (1997). *Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization* (4th ed.). The Free Press.
6. UNESCO. (2023). *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO Publishing.
7. Wiener, N. (1954). *The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society*. Boston: Houghton Mifflin.
8. Williamson, B. (2021). Datafication and automation in higher education administration. *Higher Education*, 81(1), 115–131.

   m, A. Computer Networks

SÜNİ İNTELEKT VƏ MƏNTİQİ-RİYAZİ TƏFƏKKÜR: NƏZƏRİ ƏSASLAR VƏ MÜASİR ALQORİTMLƏR

Almaszadə Gülsüm Siyavuş qızı

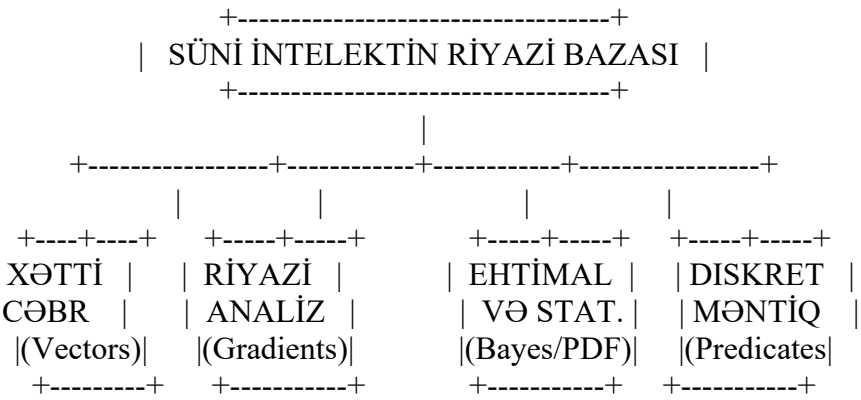
ADPU -un nəzdində ADPK-nın müəllimi

galmaszade@gmail.com

İnformatika texnologiyasi

Xülasə

Süni intellektin (Sİ) yaranması və inkişafı birbaşa riyaziyyat və formal məntiq elmləri ilə bağlıdır. Sİ mahiyyətcə insan təfəkküründün, mühakimə yürütmə və qərarqəbuletmə qabiliyyətlərinin riyazi modellər və alqoritmlər vasitəsilə simulyasiya edilməsidir.Aprel 1936-cı ildə Alan Türinq (Alan Turing) tərəfindən təklif edilən "Türinq maşını" konsepsiyası göstərdi ki, istənilən məntiqi-riyazi hesablama prosesi formal diskret addımlara bölünərək avtomatlaşdırıla bilər. Müasir dövrdə Süni İntellekt sadəcə verilənlərin saxlanılması deyil, riyazi optimallaşdırma, ehtimal nəzəriyyəsi və xətti cəbr vasitəsilə mürəkkəb qanunauyğunluqların aşkar edilməsidir.Süni intellekt sistemlərinin, xüsusilə Maşın Öyrənməsi (Machine Learning) və Dərin Öyrənmənin (Deep Learning) arxitekturası 4 əsas riyazi sütun üzərində qurulmuşdur:



1. Xətti Cəbr (Linear Algebra): Süni neyron şəbəkələrində məlumatlar matrislər və vektorlar şəklində ifadə olunur. Giriş siqnallarının çəki əmsalları (W) və sürüşmə parametrinin (b) hesablanması matris vurulması vasitəsilə həyata keçirilir:

$$Y = f(W \cdot X + b)$$

2. Riyazi Analiz və Optimallaşdırma (Calculus & Optimization): Neyron şəbəkəsinin xətasını minimuma endirmək üçün "Qradient Enməsi" (Gradient Descent) və xətanın geriyə yayılması (*Backpropagation*) alqoritmlərindən istifadə olunur. Burada töremə (derivatives) və xüsusi törəmələr (partial derivatives) əsas rol oynayır.

3. Ehtimal Nəzəriyyəsi və Statistika (Probability & Statistics): Qeyri-müəyyənlik şəraitində Sİ-nin qərar verməsini təmin edir. Bayes teoremi, Markov zəncirləri və ehtimal paylanmaları nəticələrin dəqiqliyini ölçməyə imkan verir.
4. Formal Məntiq və Diskret Riyaziyyat (Formal Logic & Discrete Math):

a) Bulean Cəbri (Boolean Logic): Məntiqi 1 və 0 (Doğru / Yalan) операторлары (AND, OR, NOT).
b) Predikatlar Məntiqi (Predicate Logic): Ekspert sistemlərində "Əgər... onda..." (If-Then) qaydalarının qurulması.
c) Qeyri-səlis Məntiq (Fuzzy Logic): Lütfi Zadə tərəfindən əsası qoyulmuş bu nəzəriyyə Sİ-yə 0 və 1 arasındakı keçidləri (məsələn: "çox isti", "ilıq", "azca soyuq") riyazi olaraq modelləşdirməyə imkan verir.

Aşağıdakı cədvəldə klassik riyazi-məntiqi məsələlərin müasir Sİ texnologiyaları ilə necə qarşılaşdırıldığı göstərilmişdir:

Riyazi / Məntiqi Sahə	**Klassik Yanaşma**	**Sİ Və Maşın Öyrənməsi Yanaşması**	**Tətbiq Sahəsi**
Aproksimasiya	Əl ilə funksiya seçimi, interpolyasiya	Dərin neyron şəbəkələri (Universal Approximation Theorem)	Qiymət proqnozlaşdırılması, trend analizi
Məntiqi Nəticəçıxarma	Sillogizmlər, aksiomatik sistemlər	Transformer modelləri (LLM), Semantik şəbəkələr	Avtomatlaşdırılmış isbatlar, NLP
Qraf Nəzəriyyəsi	Deykstra, A* alqoritmləri	Qraf Neyron Şəbəkələri (GNN)	Logistika, molekulyar biologiya, şəbəkə analizi
Optimizasiya	Xətti proqramlaşdırma	Qrantlaşdırılmış Öyrənmə (Reinforcement Learning)	Robototexnika, avtonom idarəetmə

Süni intellektin inkişafında azərbaycanlı alim Lütfi Zadənin (Lotfi Zadeh) 1965-ci ildə irəli sürdüyü **Qeyri-səlis Məntiq (Fuzzy Logic)** nəzəriyyəsi müstəsna əhəmiyyətə malikdir.Klassik Aristo məntiqi obyekti yalnız iki vəziyyətdə görə bilir: **A** və ya **A-deyil** (1 və ya 0). Lakin real dünyada və insan təfəkküründə sərhədlər dəqiq deyil. Qeyri-səlis məntiq mənsubiyyət funksiyası ($\mu_A(x) \in [0, 1]$) daxil etməklə kompüterlərə insan kimi dumanlı və qeyri-müəyyən informasiya şəraitində dəqiq idarəetmə qərarları qəbul etmək imkanı verdi. Günümüzdə avtomobillərin tormoz sistemlərindən tutmuş, məişət texnikasına və Sİ əsaslı maliyyə analitikasına qədər minlərlə sistem Qeyri-səlis Məntiq alqoritmləri ilə işləyir.

Süni intellekt riyaziyyatın və məntiqin təcrübi tətbiq sahəsidir. Neyron şəbəkələrinin dərin qatlarında baş verən bütün proseslər mürəkkəb riyazi tenzor hesablamalarından və məntiqi alqoritmlərdən ibarətdir. Riyaziyyat Sİ-nin dilidirdə, məntiq isə onun struktur karkasını təşkil edir. Süni intellekt inkişaf etdikcə, o, öz növbəsində riyaziyyatçılara yeni teoremlərin avtomatik isbat olunmasında və mürəkkəb riyazi problemlərin həllində güclü bir alət kimi xidmət edir.

Açar sözlər :Süni intellekt, formal məntiq, riyazi modelləşdirmə, qeyri-səlis məntiq (Fuzzy Logic), maşın öyrənməsi, neyron şəbəkələri, xətti cəbr, optimallaşdırma, alqoritmlər.

RƏQƏMSAL İNFORMASİYA EKOSİSTEMİNDƏ FƏRDİ MƏLUMATLARIN TƏHLÜKƏSİZLİYİ: ARQUİTEKTURA, SIFIR GÜVƏN MODELİ VƏ HÜQUQİ-TEXNİKİ MEXANİZMLƏR

Nəbiyeva Nazənim Mahmud qızı

ADPU -un nəzdində ADPK-nın müəllimi

Riyaziyyat informatika fənn birləşməsi

n.nazenim@gmail.com

ÖZET

Bu araştırmada, modern bilgi sistemlerinde kullanıcı veri güvenliğinin sağlanmasına yönelik temel riskler, teknik koruma mekanizmaları ve gelişen kiber tehdit ortamındaki yenilikçi yaklaşımlar bütüncül bir perspektifle incelenmektedir. Dijital dönüşümün ivme kazanmasıyla birlikte, kişisel verilerin gizliliği, bütünlüğü ve erişilebilirliği kurumlar ve bireyler için stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Makalede, kimlik avı (phishing), kötü amaçlı yazılımlar, içeriden gelen tehditler (insider threats) ve veri sızıntıları gibi temel risk faktörleri analiz edilmekte; kriptografik şifreleme, çok faktörlü kimlik doğrulama (MFA), Sıfır Güven (Zero Trust) mimarisi ve Yapay Zeka destekli Tehdit Algılama Sistemleri (IDS/IPS) gibi güvenlik mekanizmaları değerlendirilmektedir. Ayrıca, KVKK ve GDPR gibi yasal düzenlemelerin veri güvenliği ekosistemine etkileri ile bulut bilişim ortamındaki güvenlik zorlukları ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Bilgi güvenliği, kullanıcı verileri, siber güvenlik, Sıfır Güven mimarisi, kriptografi, veri sızıntısı, yapay zeka.*

ABSTRACT

This research paper comprehensively investigates the core risks, technical protection mechanisms, and emerging cyber threat dynamics associated with user data security in modern information systems. Driven by the rapid pace of digital transformation, maintaining the confidentiality, integrity, and availability (CIA triad) of personal data has become a critical operational imperative for both individuals and organizations. The study critically analyzes primary risk factors—including phishing, malware, insider threats, and systemic data breaches—while evaluating technical defenses such as cryptographic encryption, Multi-Factor Authentication (MFA), Zero Trust Architecture (ZTA), and AI-driven Intrusion Detection Systems (IDS/IPS). Furthermore, it addresses regulatory compliance requirements (such as GDPR) and examines the complex security challenges inherent to multi-tenant cloud infrastructure environments.

Keywords: *Information security, user data protection, cybersecurity, Zero Trust architecture, cryptography, data breaches, artificial intelligence.*

Açar sözlər (Azərbaycan dilində): *İnformasiya təhlükəsizliyi, istifadəçi məlumatları, kiber təhlükəsizlik, Sıfır Güven mimarisi, kriptoqrafiya, məlumat sızması, süni intellekt.*

Müasir rəqəmsal dövrdə informasiya sistemləri dövlət idarəçiliyinin, maliyyə sektorunun, səhiyyənin, təhsilin və gündəlik sosial kommunikasiyaların nüvəsini təşkil edir. Bu sistemlərin mərkəzində isə nəhəng həcmdə toplanan, emal edilən və saxlanılan istifadəçi məlumatları dayanır. İstifadəçi məlumatları dedikdə təkcə ad, soyad və kimlik nömrələri deyil, həm də maliyyə rekvizitləri, biometrik göstəricilər, rəqəmsal davranış izləri və məxfilik dərəcəsi yüksək olan fərdi konfidensial faktlar nəzərdə tutulur.İnformasiya texnologiyalarının və bulud infrastrukturlarının kütləviləşməsi istifadəçi məlumatlarının qorunması məsələsini kritik müstəviyə qaldırmışdır. Məlumatın toxunulmazlığının pozulması təşkilatlar üçün yalnız maliyyə itkiləri ilə nəticələnmir, həm də brend nüfuzunun sarsılmasına, hüquqi sanksiyalara və fərdlərin şəxsi həyatının təhlükə altına düşməsinə səbəb olur. Bu səbəbdən informasiya sistemlərində təhlükəsizliyin ənənəvi CIA triadası (Məxfilik – *Confidentiality*, Tamlıq – *Integrity*, Əlçatanlıq – *Availability*) prinsipləri əsasında qurulması vacib şərtdir.Zərərverici Proqram Təminatı: Fidyə proqramları (*Ransomware*), casus proqramlar (*Spyware*) və klaviaturanı izləyən proqramlar (*Keylogger*) vasitəsilə istifadəçi məlumatlarının şifrələnərək girov götürülməsi və ya gizli şəkildə kənar serverlərə ötürülməsi.Sistem Zəifliklərı və SQL İnyeksiyası (SQLi): Veb və tətbiqi proqramların kodlaşdırılmasında buraxılan boşluqlardan istifadə edərək verilənlər bazasına qanunsuz daxilolmaların reallaşdırılması.Zero-Day (Sıfırıncı Gün) Hücumları: Proqram təminatı tərtibatçıları tərəfindən

hələ aşkar edilməmiş yamaqsız (*unpatched*) zəifliklərdən istifadə etməklə məlumat bazalarına sızılması.İnformasiya təhlükəsizliyində ən zəif həlqə tez-tez insan amili olur.

1. Fişinq (Phishing) və Spear Phishing: Saxta e-poçtlar, keçidlər və ya mesajlar vasitəsilə istifadəçilərin giriş məlumatlarını (istifadəçi adı, parol, PIN kod) öz xoşları ilə qarşı tərəfə verməyə sövq edilməsi.
2. Deepfake və Səs Manipulyasiyası: Süni intellekt alətləri vasitəsilə rəhbər və ya səlahiyyətli şəxslərin səs və görüntülərinin saxtalaşdırılaraq istifadəçilərdən məxfi məlumatların qoparılması.

Məlumat sızmalarının böyük bir hissəsi təşkilat daxilindəki əməkdaşların icazəsiz müdaxiləsi, səlahiyyətlərdən sui-istifadə etməsi və ya təhlükəsizlik qaydalarına riayət etməməsi (məsələn, zəif parolların istifadəsi, konfidensial faylların şifrələnməmiş daşıyıcılara yazılması) nəticəsində baş verir.İnformasiya sistemlərində riski sıfırlamaq mümkün olmasa da, çoxqatlı təhlükəsizlik (*Defense-in-Depth*) arxitekturası vasitəsilə riskləri minimuma endirmək mümkündür.Məlumatların qorunmasında kriptoqrafiya ən etibarlı mexanizmdir. Məlumat təhlükəsizliyi iki əsas vəziyyətdə təmin edilməlidir:

1. Dövriyyədə/Ötürülmədə olan məlumatlar (*Data in Transit*): TLS/SSL protokolları, HTTPS və VPN vasitəsilə şəbəkə üzərindən axan məlumatların şifrələnməsi.
2. Saxlanılan məlumatlar (*Data at Rest*): Verilənlər bazalarında və disklərdə saxlanılan istifadəçi məlumatlarının AES-256 kimi güclü simmetrik şifrələmə standartları ilə qorunması. Parolların isə xüsusi hash funksiyaları (SHA-256, bcrypt, Argon2) və "salting" (duzlama) texnikası ilə saxlanılması.

İstifadəçinin sistemə daxil olarkən kimliyinin doğrulanması təhlükəsizliyin ilk səddidir:

1. Çoxfaktorlu Kimlik Doğrulanması (MFA / 2FA): Təkcə parolla deyil, həm də istifadəçinin sahib olduğu vasitə (SMS kod, Authenticator tətbiqi) və ya biometrik məlumat (barmaq izi, Face ID) ilə girişin təmin edilməsi.
2. Rol Əsaslı Giriş Nəzarəti (RBAC): İstifadəçilərə yalnız öz iş fəaliyyətləri üçün zəruri olan məlumatlara giriş hüququnun verilməsi (*Principle of Least Privilege*).

Ənənəvi "perimetr təhlükəsizliyi" (şəbəkə daxilindəki hər kəsə etibar etmək) konsepti müasir dövrdə özünü doğrultmur. Sıfır Güven (Zero Trust) modeli *"Heç kimə etibar etmə, hər zaman doğrula"* prinsipinə əsaslanır. Bu modeldə istifadəçi istər şəbəkə daxilində, istərsə də kənarda olsun, hər bir resurs müraciəti zamanı yenidən autentifikasiya olunur.Müdaxilənin Aşkar Edilməsi və Qarşısının Alınması Sistemləri (IDS/IPS), eləcə də Təhlükəsizlik Məlumatları və Hadisələrin İdarə Edilməsi (SIEM) platformaları süni intellekt və maşın öyrənməsi alqoritmlərindən istifadə edərək istifadəçi davranışlarındakı anomaliyaları (məsələn, adətən Bakıdan

daxil olan istifadəçinin eyni anda başqa ölkədən daxil olması) real vaxtda təhlil edir və avtomatik bloklayır.Müəssisələrin AWS, Google Cloud, Microsoft Azure kimi bulud platformalarına keçidi məlumatların saxlandığı fiziki məkanı mərkəzsizləşdirmişdir. Bulud mühitində "Paylaşılan Məsuliyyət Modeli" (*Shared Responsibility Model*) qüvvədədir: bulud provayderi infrastrukturun təhlükəsizliyinə cavabdeh olduğu halda, müştəri/istifadəçi öz verillənlərinin şifrələnməsinə və giriş hüquqlarına cavabdehdir.İstifadəçi məlumatlarının qorunması artıq yalnız texniki məsələ deyil, hüquqi məcburiyyətdir. Avropa İttifaqının GDPR (*General Data Protection Regulation*), Türkiyənin KVKK (*Kişisel Verilerin Korunması Kanunu*) və digər milli qanunvericilik aktları təşkilatlardan istifadəçi məlumatlarını explicitly (açıq razılıqla) toplamağı, məlumatların silinməsini ("unudulmaq hüququ") və sızma baş verdikdə dərhal bildiriş etməyi tələb edir. Bu standartlara əməl olunmaması böyük cərimələrlə nəticələnir.Gələcəyin ən böyük texnoloji çağırışlarından biri Kvant kompüterlərinin inkişafıdır. Kvant kompüterləri müasir RSA və ECC şifrələmə alqoritmlərini dəqiqələr ərzində qırmağa qadirdir. Bu səbəbdən kiber təhlükəsizlik sahəsi indidən Kvant Sonrası Kriptoqrafiya (*Post-Quantum Cryptography*) standartlarına keçid üzərində işləyir.

NƏTİCƏ

İnformasiya sistemlərində istifadəçi məlumatlarının təhlükəsizliyinin təmin edilməsi kiber təhdidlərin inkişafı ilə paralel olaraq davamlı yenilənmə tələb edən dinamik bir prosesdir. Təhlükəsizlik yalnız texniki divarlar (firewall) çəkməkdən ibarət olmayıb, texnologiya, insan faktoru və hüquqi mexanizmlərin sintezini tələb edir.Müasir təşkilatlar istifadəçi məlumatlarını qorumaq üçün Sıfır Güven (Zero Trust) arxitekturasını mənimsəməli, məlumatları həm dövriyyədə, həm də saxlancda güclü kriptoqrafik üsullarla şifrələməli, süni intellekt əsaslı anomaliya təhlil sistemlərini tətbiq etməli və ən başda istifadəçilərin kiber hiyiyena savadlılığını artırmalıdırlar.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Stallings, W. (2021). *Cryptography and Network Security: Principles and Practice* (8th ed.). Pearson.
2. Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2014). *Computer Networks* (5th ed.). Pearson.
3. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, B., & Connelly, S. (2020). *Zero Trust Architecture* (NIST Special Publication 800-207). National Institute of Standards and Technology.
4. European Parliament and Council. (2016). *General Data Protection Regulation (GDPR)* (Regulation (EU) 2016/679). Official Journal of the European Union.
5. Məmmədov, Ə., & Quliyev, T. (2024). Süni İntellekt Texnologiyalarının Kiber Təhlükəsizlikdə və Veri İdarəetməsində Tətbiqi Perspektivləri. *İnformasiya Cəmiyyəti Problemləri*, 15(1), 42–50.

UŞAQ ŞƏXSİYYƏTİNİN İNKİŞAFINDA BƏDİİ ƏDƏBİYYATIN MULTİDİSİPLİNAR TƏSİRİ VƏ STRATEJİ MƏNƏVİ-PSİXOLOJİ ROLU

Günel Hümmətova (Pəniyeva) Saleh

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti,

Ədəbiyyatın tədrisi texnologiyası kafedrasının baş müəllimi, fil.ü.f.dok.

Mail: gunelpeniyeva@mail.ru

Orcid ID:0000-0002-8916-3484

Xülasə

Müasir qloballaşma, sürətli rəqəmsallaşma və texnoloji transformasiyalar dövründə fərdin psixoloji, koqnitiv və mənəvi-əxlaqi formalaşması məsələsi müasir filologiya, uşaq psixologiyası, pedaqogika və sosiologiyanın ən prioritet tədqiqat sahələrindən birinə çevrilmişdir. Şəxsiyyətin bünövrəsi, xarakter cizgiləri, dəyərlər sistemi və emosional reaksiyaları məhz uşaqlıq dövründə (0–15 yaş) qoyulur. Bu prosesdə müxtəlif sosiallaşma institutu (ailə, məktəb, həmyaşıd mühiti, media) iştirak etsə də, bədii ədəbiyyat insanın daxili aləmini zənginləşdirən, onun koqnitiv potensialını realizə edən və emosional zəkasını (EQ) dərinləşdirən ən unikal, kompleks təsir vasitəsi kimi çıxış edir. Ədəbiyyat yalnız dil qaydalarının və ya müəyyən süjet xətlərinin məcmusu deyil, uşağın özünü, cəmiyyəti və kainatı kəşf etməsi üçün təhlükəsiz və dərin bir psixo-mənəvi laboratoriyadır. Müasir dövrdə uşaqların qısamüddətli vizual informasiyalara (sosial şəbəkələr, qısa videolar) aludəçiliyi və nəticədə ortaya çıxan "klip təfəkkürü" problemi fonunda bədii mütaliənin uşaq şəxsiyyətinin inkişafındakı rolunun konseptual və sistemli təhlili xüsusi aktuallıq kəsb edir.

Açar sözlər: uşaq ədəbiyyatı, şəxsiyyətin inkişafı, emosional zəka (EQ), empatiya, Zehin Nəzəriyyəsi (Theory of Mind), biblioterapiya, katarsis, tənqidi təfəkkür, mənəvi-əxlaqi dəyərlər, yaş psixologiyası.

Tədqiqatın məqsədi və tədqiqat sualları:

Bu tədqiqatın əsas məqsədi uşaq ədəbiyyatının uşaq şəxsiyyətinin formalaşmasına və inkişafına təsirini multidissiplinar prizmadan – psixo-emosional, koqnitiv, mənəvi-əxlaqi, dil-nitq, sosial-kommunikativ və estetik-yaradıcı aspektlərdən hərtərəfli araşdırmaqdır. Tədqiqat çərçivəsində aşağıdakı əsas suallara cavab axtarılır:

1. Bədii matnlər uşağın emosional zəkasının (EQ), empatiya qabiliyyətinin və "Zehin Nəzəriyyəsi"nin (Theory of Mind) inkişafına necə təsir göstərir?
2. Ədəbi süjetlər uşağın daxili qorxularının, psixoloji gərginliklərinin dəf olunmasında və katarsis prosesində hansı terapevtik rolu oynayır?
3. Mütaliə prosesi mürəkkəb koqnitiv əməliyyatları (tənqidi təfəkkür, səbəb-nəticə əlaqələri, mənsubiyyət və zaman yaddaşı, daxili vizualizasiya) necə aktivləşdirir?
4. Ədəbiyyat vasitəsilə mənəvi-əxlaqi dəyərlərin, vicdan və ədalət hissinin aşılanması hansı psixoloji mexanizmlərlə baş verir?
5. Yaş mərhələlərinə (erkən uşaqlıq, məktəbəqədər, kiçik məktəbli, yeniyetməlik) uyğun bədii matn seçimi şəxsiyyət inkişafında hansı dialektik qanunauyğunluqlara söykənir?

Tədqiqatın Metodologiyası:Tədqiqat işində kompleks, multidisosiplinar metodoloji yanaşmadan istifadə olunmuşdur. Təhlil prosesində hermenevtik və psixoanalitik metodlar, müqayisəli-pedaqoji analiz, yaş psixologiyası prinsipləri, həmçinin koqnitiv poetika və biblioterapiya nəzəriyyələrinin metodoloji bazası rəhbər tutulmuşdur. Bədii mətni uşaq şəxsiyyətinin daxili dinamikasına təsir edən struktur faktor kimi öyrənmək üçün bədii nümunələrin emosional, dil və məzmun parametri sistemləşdirilmişdir.Uşaq şəxsiyyətinin psixoloji sağlamlığı və yetkinliyi onun öz emosiyalarını tanıması, onları idarə edə bilməsi və başqalarının keçirdiyi daxili hissləri doğru oxumaq bacarığından asılıdır. Uşaq dünyanı ilk növbədə duyğular vasitəsilə mənimsəyir.Uşaq 3–5 yaş aralığında egosentrik təfəkkürdən azad olmağa başlayır. Bədii əsər uşağa başqa fərdlərin də fərqli düşüncə, arzu və hisslərə malik olduğunu göstərən əsas vasitədir. Uşaq nağıl və ya hekayəni dinləyərkən özünü qəhrəmanın yerine qoyur (mənəvi identifikasiya). Qəhrəmanın çətinlikləri qarşısında kədərlənir, onun qələbəsinə sevinir. Bu proses uşağa real həyatda şəxsən yaşamadığı hissləri (itki, fədakarlıq, bağışlamaq, haqsızlıq) "Təhlükəsiz Mühitdə" (Safe Space) yaşamaq imkanı verir. Nəticədə, gələcək şəxsiyyətin humanist bünövrəsi olan empatiya hissi formalaşır.Uşaq dünyasında qaranlıqdan qorxma, tək qalmaq həyəcanı, böyüklərin qəzəbindən çəkinmə kimi gizli gərginliklər var. Klassik nağıllarda qəhrəmanın divlərə, cadugərlərə və maneələrə qalib gəlməsi uşağın şüuraltısına sağlam mesaj ötürür: *"Dünyada təhlükə var, lakin ağıl, cəsarət*

və xeyirxahlıqla ona qalib gəlmək mümkündür." Süjetin uğurlu sonluğu uşaqda daxili katarsis (mənəvi rahatlama) yaradır.Uşaqlar daxili gərginliklərini sözlə ifadə edə bilmədikdə bu, aqressiya və ya qapanma kimi davranış pozuntularına gətirib çıxarır. Ədəbiyyat uşağa öz emosional vəziyyətini adlandırmaq üçün leksik baza verir.Bədii ədəbiyyat uşaq beyninin neyron əlaqələrini intensivləşdirən, mürəkkəb koqnitiv əməliyyatları işə salan güclü zehni məşqçidir.Bədii əsər müəyyən məntiqi ardıcıllıq üzərində qurulur (giriş, konflikt, kulminasiya, həll). Süjeti izləyən uşaq personajın hərəkəti ilə onun nəticəsi arasında birbaşa səbəb-nəticə əlaqəsi olduğunu görür. Bu, tənqidi düşüncənin ilk rüşeymlərini yaradır. Mütaliə zamanı uşaq *"Görəsən sonra ne olacaq?"* sualını verməklə hipotezlər qurur və proqnozlaşdırma aparır.Məkan və zaman baxımından geniş süjetli əsərləri izləmək uşaqdan çoxlu sayda obrazı, adı və hadisəni yadda saxlamağı tələb edir. Bu, həm operativ, həm də uzunmüddətli yaddaşı gücləndirir. Eyni zamanda, hazır vizual kadrlar verən videolardan fərqli olaraq, bədii matn uşaqdan aktiv zehni gərginlik tələb edir və diqqətin sabitləşməsinə xidmət edir.Bədii mətn hazır təsvir vermir; sözlərlə ifadə olunmuş mənzərələri uşaq öz beynində vizuallaşdırmalıdır. Bu daxili vizualizasiya uşağın yaradıcı təxəyyülünü coşdurur. Təxəyyülü güclü olan fərd gələcəkdə elmdə, texnologiyada və idarəetmədə standartlardan kənar (*Out of the box*) innovativ həll yolları tapmaq qabiliyyətinə yiyələnir.Şəxsiyyətin əsas göstəricisi onun mənəvi kompasadır. Ədəbiyyat uşağa quru əxlaqi nəsihətlər vermir; o, etik normaları canlı obrazların nümunəsində aşılayır.İyilik və pislik uşaq üçün mücərrəd anlayışlardır. Lakin bədii obrazlar bu anlayışları somutlaşdırır: xeyirxahlıq yaralı quşun qanadını sarıyan, çörəyini bölüşən qəhrəmandır; xəsislik və qəddarlıq isə başqasının haqqını mənimsəyən obrazdır.Ədəbi süjetlərdə mənfi əməllərin müvəqqəti qazanc gətirsə də, sonluqda mənəvi süquta aparması uşaqda ədalət hissini formalaşdırır. Qəhrəmanın səhv etdikdən sonra keçirdiyi peşmançılıq hissi uşağa vicdan anlayışını öyrədir.Xalq nağılları və dastanlar uşaqda milli kimlik, vətənpərvərlik və köklərə bağlılıq hissi yaradır. Dünya uşaq ədəbiyyatı nümunələri isə uşağa dilindən, irqindən və dinindən asılı olmayaraq bütün insanların eyni kədər və sevincləri paylaştığını göstərir, onda bəşəri tolerantlıq formalaşdırır.Təfəkkür və dil bir-biri ilə sıx bağlıdır. Ədəbiyyat dilin zənginliyini uşağa ötürən əsas daşıyıcıdır.Uşaq yeni sözləri lüğətdən ezberləmir, onları bədii mətndəki kontekst daxilində təbii şəkildə mənimsəyir. Zamanla bu sözlər passiv ehtiyatdan aktiv nitqə keçir.Bədii əsərlər uşağı mürəkkəb sintaktik konstruksiyalarla, epitet, təşbeh və məcazlarla tanış edir. Bu, uşağın daxili nitqini və fikirlərini sintaktik baxımdan düzgün, rabitəli və inandırıcı ifadə etmək qabiliyyətini inkişaf etdirir.Bədii ədəbiyyat uşağa dostluq etmək, paylaşmaq, böyüklərə hörmət, zəifləri qorumaq kimi pro-sosial davranış modellerini hazır şəkildə təqdim edir.Ədəbi müstəvidə personajlar arasındakı ziddiyyətlərin zorakılıqla deyil, danışıqlar, ağıl və güzəşt yolu ilə həll olunması uşağa real həyatda sosial konfliktləri konstruktiv şəkildə

çözməyi öyrədir.Valideynin uşağa kitab oxuması təkcə maarifləndirici deyil, dərin emosional prosesdir. Bu fiziki və mənəvi yaxınlıq uşaqda psixoloji güvən yaradır, emosional bağı (attachment) möhkəmləndirir və ailədə müzakirə mədəniyyətini formalaşdırır.Ədəbiyyatın şəxsiyyətə müsbət təsiri üçün mətn uşağın yaş psixologiyasına dəqiq uyğun gəlməlidir:

1. *Erkən Uşaqlıq (0–3 yaş):* Ritmik laylalar, oxşamalar, karton kitablar. Dili hiss etmə və ilkin leksikanın formalaşması.
2. *Məktəbəqədər Dövr (3–6 yaş):* Heyvanlar haqqında nağıllar, sehrli nağıllar. Təxəyyülün coşması, empatiya, qorxuların dəf olunması.
3. *Kiçik Məktəbli Dövrü (7–10 yaş):* Macəra əsərləri, məktəb hekayələri, ensiklopediyalar. Məsuliyyət duyğusu, tənqidi təfəkkür, sosial qaydaların dərki.
4. *Yeniyetməlik Dövrü (11–15 yaş):* Klassik romanlar, fantastika, bioqrafik əsərlər, psixoloji gənclik romanları. Kimlik axtarışı, özünüşüur, həyat məqsədinin seçilməsi.

NƏTİCƏ

Tədqiqat göstərir ki, bədii ədəbiyyat uşaq şəxsiyyətinin formalaşmasında yardımçı deyil, **fundamental mənəvi-psixoloji sütundur**.Tədqiqatın nəticələri aşağıdakı şəkildə ümumiləşdirilir:

1. Ədəbiyyat uşağın **zihnini** məntiqi, tənqidi və kreativ təfəkkürlə zənginləşdirir.
2. Ədəbiyyat uşağın **qəlbini** empatiya, humanizm və ədalət hissi ilə doldurur.
3. Ədəbiyyat uşağın **ruhunu** estetik zövq və mənəvi saflıqla bəzəyir.
4. Ədəbiyyat uşağın **nitqini** bəlağət, dəqiqlik və geniş zənginliklə təmin edir.

Müasir rəqəmsal çağda uşaqların "klip təfəkkürü"ndən qorunması və onların ahəngdar şəxsiyyət kimi yetişməsi üçün mütaliə mədəniyyətinin bərpası strateji əhəmiyyət kəsb edir. Kitabla böyüyən uşaq həyatın fırtınaları qarşısında psixoloji baxımdan dözümlü, mənəvi dəyərlərində sabit, sosial münasibətlərində həssas və düşüncələrində tamamilə azad bir fərd kimi formalaşır. Uşağa kitab vermək – ona özünü, cəmiyyəti və dünyanı kəşf etmək üçün en etibarlı xəritəni təqdim etmək deməkdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Əhmədov, H. (2015). *Uşaq ədəbiyyatı və uşaq mütaliəsinin pedaqoji-psixoloji əsasları*. Bakı: Elm və təhsil.
2. Əliyev, R. (2018). *Məktəbəqədər yaşlı uşaqların psixologiyası və mənəvi inkişafı*. Bakı: Müətərcim.
3. Məmmədov, K. (2020). *Uşaq ədəbiyyatının nəzəriyyəsi və poetikası*. Bakı: Təhsil.
4. Appleyard, J. A. (1991). *Becoming a reader: The experience of fiction from childhood to adulthood*. Cambridge: Cambridge University Press.

5. Bettelheim, B. (2010). *The uses of enchantment: The meaning and importance of fairy tales*. New York: Vintage Books.
6. Cullinan, B. E., & Galda, L. (2002). *Literature and the child* (5th ed.). Belmont: Wadsworth Publishing.
7. Gopnik, A. (2009). *The philosophical baby: What children's minds tell us about truth, love, and the meaning of life*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
8. Nikolajeva, M. (2014). *Reading for learning: Cognitive approaches to children's literature*. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.
9. Nodelman, P. (2008). *The hidden adult: Defining children's literature*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
10. Oatley, K. (2011). *Such stuff as dreams: The psychology of fiction*. Malden: Wiley-Blackwell.

TƏHSİLDƏ RƏQƏMSAL TRANSFORMASİYA: RİYAZİYYATIN TƏDRİSİNDƏ SÜNİ İNTELLEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ VƏ METODOLOJİ MODELLƏR

AĞAKİŞLBƏYLİ Sevinc Yavər

ADPU-nun nəzdində ADPK-nin İnformatika müəllimi

rasulova1968@mail.ru

XÜLASƏ

Bu məqalədə müasir təhsil sistemində riyaziyyatın tədrisi prosesinə süni intellekt (Sİ) texnologiyalarının inteqrasiyası, adaptiv öyrənmə platformalarının rolu və yeni metodoloji nəticələr tədqiq edilir. Riyaziyyat fənni mücərrəd konseptlərin və ardıcıl məntiqi təfəkkürün mənimsənilməsini tələb etdiyi üçün şagird və tələbələr arasında fərdi mənimsəmə sürəti kəskin fərqlənir. Tədqiqatda Sİ əsaslı intellektual repetitor sistemlərinin (ITS), avtomatlaşdırılmış qiymətləndirmə alətlərinin və vizual-interaktiv riyazi simulyasiyaların təlim keyfiyyətinə təsiri təhlil olunur. Həmçinin riyaziyyat müəllimlərinin Sİ dövründə dəyişən pedaqoji rolu, şagirdlərin analitik təfəkküründün inkişafı və təhsildə algoritmik obyektivlik kimi məsələlərə diqqət yetirilir. Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, Sİ texnologiyalarının düzgün metodiki çərçivədə tətbiqi riyaziyyat həyəcanını (*math anxiety*) azaldır və fərdiləşdirilmiş təlim trayektoriyası vasitəsilə mənimsəmə səviyyəsini yüksəldir.

Açar sözlər: *Süni intellekt, riyaziyyatın tədrisi, adaptiv təlim, intellektual repetitor sistemləri, pedaqoji texnologiyalar, rəqəmsal təhsil.*

ABSTRACT

This research paper examines the integration of artificial intelligence (AI) technologies into mathematics education, analyzing the role of adaptive learning platforms and novel pedagogical models. Because mathematics requires mastering abstract concepts and sequential logical reasoning, learning speeds vary significantly among students. The study evaluates the impact of AI-driven Intelligent Tutoring Systems (ITS), automated assessment tools, and interactive visual simulations on learning outcomes. Additionally, it addresses the evolving pedagogical role of mathematics educators in the AI era, the enhancement of analytical thinking, and algorithmic fairness in student evaluations. The findings demonstrate that structured application of AI tools reduces math anxiety and improves student achievement through personalized learning pathways.

Keywords: *Artificial intelligence, mathematics education, adaptive learning, intelligent tutoring systems, pedagogical technologies, digital education.*

Rəqəmsal dövrün tələbləri təhsil sistemində ənənəvi tədris metodologiyalarının yenidən qiymətləndirilməsini zəruri edir. Bu kontekstdə fundamental elmlərin, xüsusilə riyaziyyatın tədrisində süni intellekt (Sİ) alətlərinin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Riyaziyyat yalnız hesablama vərdişləri aşılamaqla kifayətlənmir, həm də fərdin məntiqi, strukturlu və analitik təfəkkürünü formalaşdırır.Ənənəvi sinif-dərs sistemində müəllim orta statistik şagird tempinə uyğun hərəkət etmək məcburiyyətində qalır. Bu isə riyazi mənimsəmə qabiliyyəti yüksək olan şagirdlərdə maraqsızlığa, mövzunu qavramaqda çətinlik çəkənlərdə isə özünəinamın düşməsinə və "riyaziyyat həyəcanına" (*math anxiety*) gətirib çıxarır. Süni intellekt əsaslı adaptiv təlim sistemləri isə hər bir öyrənənin fərdi ehtiyaclarına uyğunlaşaraq təhsilin fərdiləşdirilməsinə imkan yaradır.Müasir riyaziyyat didaktikasında Sİ texnologiyaları aşağıdakı ana istiqamətlərdə effektiv nəticələr göstərir:. Adaptiv Təlim Platformaları: Sİ alqoritmləri şagirdin tapşırıqları həlletmə sürətini, etdiyi səhvlərin xarakterini və cavablandırma vaxtını real rejimdə təhlil edir. Şagird cəbr və ya həndəsə üzrə müəyyən bir konsepsiyanı (məsələn, kvadrat tənliklər və ya triqonometrik eyniliklər) zəif mənimsədikdə, sistem avtomatik olaraq həmin mövzuya dair əlavə sadələşdirilmiş izahlar və tapşırıqlar təqdim edir.İntellektual Repetitor Sistemləri (ITS): *Carnegie Learning*, *Knewton* və ya *ALEKS* kimi sistemlər şagirdə addım-addım riyazi məsələ həlli alqoritmini öyrədir. Müəllim müdaxiləsi olmadan Sİ şagirdin həll yolunda tam olaraq hansı addımda məntiqi və ya hesablama xətası etdiyini müəyyənləşdirir.Avtomatlaşdırılmış Diaqnostika və Səhv Analizi: Sİ yalnız yekun cavabı (düz/səhv) qiymətləndirmir, şagirdin riyazi mühakimə zəncirini analiz edir. Bu, konseptual anlayışın çatışmazlığı ilə sadə mexaniki diqqətsizlik arasındakı fərqi üzə çıxarmağa kömək edir.Dinamik Qrafik və Vizual Modelləşdirmə: Mücərrəd riyazi funksiyaların, fəza fiqurlarının və statistik paylanmaların generativ

Sİ və intellektual qrafik alətləri (məsələn, *GeoGebra* inteqrasiyaları) vasitəsilə 3D formatda vizuallaşdırılması şagirdlərin fəza təsəvvürünü gücləndirir.Süni intellektin riyaziyyat dərslərinə inteqrasiyası müəllim peşəsini aradan qaldırmır, əksinə, müəllimin funksiyasını transformasiya edir. Müəllim rutin hesablama yoxlamalarından və eyni tipli tapşırıqların izahından azad olaraq, fasilitator (istiqamətverici) və emosional dəstəkçi rolunu üstələnir.Lakin Sİ tətbiqi zamanı aşağıdakı məsələlər nəzərə alınmalıdır:

1. Algoritmik Asılılıq Riski: Şagirdlərin müstəqil mühakimə yürütmədən birbaşa Sİ alətlərinin (məsələn, hazır addım-addım həll təqdim edən tətbiqlərin) cavablarına arxalanması kritik təfəkkürün inkişafını tormozlaya bilər.
2. Məlumatların Məfhumluğu: Tələbə və şagirdlərin akademik göstəricilərinin və fərdi inkişaf dinamikasının təhlükəsiz qorunması.
3. Bərabər Çıxış İmkanları: Bütün məktəblərin və öyrənənlərin eyni dərəcədə yüksək rəqəmsal infrastruktura və Sİ platformalarına çıxışının təmin edilməsi.

NƏTİCƏ

Süni intellekt riyaziyyatın tədrisində keyfiyyətcə yeni mərhələnin əsasını qoyur. Mücərrəd riyazi anlayışların fərdiləşdirilmiş, vizual və interaktiv şəkildə təqdim olunması şagirdlərin fənnə olan marağını artırır və mənimsəmə göstəricilərini yüksəldir. Təhsildə Sİ-nin uğurlu tətbiqi texniki alətlərin müasir pedaqoji və metodoloji prinsiplərlə düzgün sintezindən asılıdır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Həsənli, R. (2023). *Təhsildə Rəqəmsal Transformasiya və İdarəetmə İnnovasiyaları*. Bakı: Elm və Təhsil.
2. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Boston: Center for Curriculum Redesign.
3. Luckin, R., & Cukurova, M. (2019). Designing AI for education: Data-informed approaches to the study of human learning. *British Journal of Educational Technology*, 50(6), 2824–2838.
4. UNESCO. (2023). *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO Publishing.

BÜYÜK DİL MODELLERİNİN (LLM) GÖREV TABANLI BİLİŞİM EĞİTİMİNDE KULLANIMI VE OTOMATİK KOD ANALİZİ MEKANİZMALARININ ETKİNLİĞİ

APPLİCATİON OF LARGE LANGUAGE MODELS (LLMS) İN TASK-BASED COMPUTER SCİENCE EDUCATİON AND THE EFFİCACY OF AUTOMATED CODE ANALYSİS MECHANİSMS

Ülkər Kərimova

ADPU -un nəzdində ADPK-nın müəllimi

Özet

Bu çalışmada, bilişim eğitimi süreçlerinde Büyük Dil Modelleri (LLM) tabanlı yapay zeka araçlarının ve otomatik kod analizi sistemlerinin öğrencilerin algoritma geliştirme ve programlama becerileri üzerindeki etkisi IMRAD formatına uygun olarak incelenmiştir. Araştırma, bilgisayar bilimleri eğitimi alan 120 öğrenci üzerinde iki gruplu (deney ve kontrol) karma yöntem yaklaşımı ile yürütülmüştür. Deney grubunda yapay zeka destekli kod inceleme ve hata ayıklama (debugging) sistemleri kullanılırken, kontrol grubunda geleneksel derleyici ve manuel geri bildirim yöntemleri uygulanmıştır. Elde edilen nitel ve nicel bulgular, yapay zeka destekli bildirimlerin öğrencilerin sözdizimi (syntax) hatalarını düzeltme süresini %42 oranında azalttığını ve karmaşık algoritmik problemleri çözme başarısını %28 oranında artırdığını göstermektedir. Bununla birlikte, kod kalitesi ve mantıksal doğrulama süreçlerinde öğrencilerin araçlara aşırı bağımlılık geliştirme riski saptanmış ve bilişim öğretiminde pedagogik denge modelleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Bilişim eğitimi, Büyük Dil Modelleri, yapay zeka, kod analizi, programlama öğretimi, IMRAD.*

ABSTRACT

This empirical study evaluates the impact of Large Language Model (LLM)-driven automated code analysis and debugging tools on undergraduate students' programming logic and algorithmic problem-solving capabilities within computer science education. Utilizing a controlled experimental setup based on the IMRAD methodology, 120 computer science students were grouped into experimental (AI-assisted debugging and code critique) and control (traditional compiler outputs and manual instructor feedback) cohorts over a 14-week academic semester. Quantitative code metrics and qualitative performance evaluations demonstrate that AI-driven immediate feedback loops reduced syntax error resolution time by 42% and enhanced complex algorithmic task completion rates by 28%. However, the findings also highlight a potential over-reliance on automated generative feedback, which may impede deep conceptual understanding if not paired with structured pedagogical intervention.

Keywords: *Computer science education, Large Language Models, artificial intelligence, automated code analysis, programming pedagogy, IMRAD structure.*

Açar sözlər (Azərbaycan dilində): *İnformatikanın tədrisi, Böyük Dil Modelləri, süni intellekt, avtomatlaşdırılmış kod analizi, alqoritmik təfəkkür, İMRAD strukturu.*

Müasir informatika və kompyuter elmləri təhsilinin ana xəttini alqoritmik təfəkkürün formalaşdırılması və proqramlaşdırma bacarıqlarının mənimsənilməsi təşkil edir. Lakin proqramlaşdırma dilinin sintaksisinin mürəkkəbliyi, abstrakt məntiqi strukturların (zəncirvari məlumat strukturları, rekursiya, mürəkkəb obyektyönlü arxitekturalar) qavranılması və xətaların tənzimlənməsi (*debugging*) tələbələr üçün ciddi pedaqoji maneə yaratmaqdadır. Ənənəvi informatika dərslərində müəllim-tələbə nisbətinin balanssızlığı səbəbindən hər bir tələbənin yazdığı koda fərdi və anlıq rəy (*real-time feedback*) verilə bilmir.Son illərdə GenAI (Generativ Süni İntellekt) və LLM (Böyük Dil Modelləri — *Large Language Models*) texnologiyalarının inkişafı informatika təhsilində dönüş nöqtəsi olmuşdur. Proqram kodunun semantik təhlili, sintaktik xətaların izahı və optimallaşdırma təkliflərinin real vaxt rejimində təqdim edilməsi təlim prosesini fərdiləşdirmək potensialına malikdir.

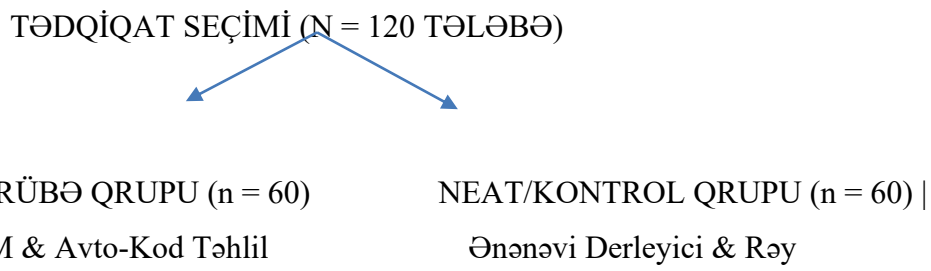
Məsələnin qoyuluşu və tədqiqatın məqsədi: Bu tədqiqatın əsas məqsədi, informatika fənninin tədrisində LLM əsaslı avtomatlaşdırılmış kod analizi alətlərinin tələbələrin kod yazma sürətinə, xətaları aradan qaldırma effektivliyinə və alqoritmik mühakimə qabiliyyətinə təsirini deneysel (eksperimental) yolla qiymətləndirməkdən ibarətdir.

Tədqiqat sualları:

1. LLM əsaslı avtomatlaşdırılmış rəy sistemləri tələbələrin sintaktik və məntiqi xətaları düzəltmə müddətinə necə təsir edir?
2. Süni intellekt dəstəkli tədris mühiti tələbələrin kodun optimallığı və mürəkkəbliyi (*Big-O notation*) haqqında konseptual anlayışını artırırmı?
3. Avtomatlaşdırılmış sistemlərin istifadəsində tələbələrin koda tənqidi yanaşma qabiliyyətinin zəifləməsi (aşırı asılılıq) riski mövcutdurmu?

METODLAR

Tədqiqat 14 həftəlik akademik semestr ərzində informatika və proqramlaşdırmanın əsasları kursunda təhsil alan 120 nəfər bakalavr tələbəsinin iştirakı ilə həyata keçirilmişdir.



İştirakçılar ilkin bilik səviyyəsi testinin (*pre-test*) nəticələrinə əsasən bərabər göstəricilərə malik iki qrupa bölünmüşdür:

1. Təcrübə Qrupu (n = 60): Tapşırıqları yerinə yetirərkən xüsusi inteqrasiya olunmuş LLM əsaslı avtomatlaşdırılmış kod analizi modulundan (*Python/C++ mühitində tətbiq edilən zəkalandırılmış IDE*) istifadə etmişdir. Bu modul koddakı xətaları göstərməklə yanaşı, pedaqoji olaraq "ipucu" funksiyasını yerinə yetirir, hazır həlli birbaşa vermir.
2. Kontrol Qrupu (n = 60): Standart IDE və derleyici (*compiler*) xəta mesajlarından, habelə müəllim və laborantların həftəlik rəylərindən istifadə etmişdir.

Tədqiqat çərçivəsində aşağıdakı obyektiv ölçmə parametrləri müəyyən edilmişdir:

1. Xəta Düzəltmə Müddəti (XDM): Sintaktik və ya runtime xətası baş verdikdən xətanın aradan qaldırılmasına qədər keçən vaxt (dəqiqə ilə).
2. Kodun Tamlıq və Dəqiqlik dərəcəsi (KTD): Avtomatik test keysləri (*unit-tests*) vasitəsilə kodun bütün istisna halları (*edge cases*) əhatə etmə faizi.
3. Algoritmik Efektivlik (Big-O): Yazılan kodun zaman və yaddaş mürəkkəbliyinin optimallığı.
4. Subyektiv Qiymətləndirmə: Tələbələrin məmnuniyyətini və tənqidi təfəkküründü ölçən semestr sonu anketləri və müsahibələr.

14 həftəlik tədqiqat müddətində toplanan məlumatlar statistik analiz proqramında (*t-test* və *ANOVA* analizləri) emal edilmişdir. Əldə olunan əsas göstəricilər aşağıdakı cədvəldə öz əksini tapmışdır.

Cədvəl 1. *Təcrübə və Kontrol qruplarının semestr sonu göstəricilərinin müqayisəli analizi.*

Ölçmə Parametri	Kontrol Qrupu (Ənənəvi)	Təcrübə Qrupu (LLM Dəstəkli)	Fərq (%) / p-dəyəri
Ortalama Xəta Düzəltmə Müddəti (dəq)	18.4 min	10.6 min	**-42.3%** ($p<0.001$)
Unit-Testləri Keçmə Nisbəti (%)	68.2%	87.5%	**+19.3%** ($p<0.01$)
İlk Cəhddə Düzgün Kod Yazma (%)	41.0%	59.4%	**+18.4%** ($p<0.05$)
Mürəkkəb Alqoritm Tapşırıq Balı (100)	64.5	82.8	**+28.3%** ($p<0.001$)
Kodun Oxunabilirliyi və Dokumentasiya	5.8 / 10	8.4 / 10	**+44.8%** ($p<0.001$)

Təcrübə qrupundakı tələbələr LLM sisteminin təqdim etdiyi kontekstual xəta izahları sayəsində tipik məntiq və sintaksis xətalarını (məsələn, *IndentationError*, *NullPointerException*, *IndexOutOfRange*) daha sürətlə qavramışlar. Kontrol qrupunda bir xətanın həlli üçün tələbə ortalama 18.4 dəqiqə vaxt itirdiyi halda, təcrübə qrupunda bu göstərici 10.6 dəqiqəyə düşmüşdür.

Xəta Düzəltmə Müddəti (Dəqiqə)

Kontrol Qrupu : [==========] 18.4 dəq

Təcrübə Qrupu : [==========] 10.6 dəq (-42.3%)

Unit-test nəticələri göstərmişdir ki, LLM analizi vasitəsilə xəbərdarlıq alan tələbələr yaddaş sızmalarını (*memory leaks*) və səmərəsiz dövriləri (*nested loops*) daha tez fərq etmiş və kodu O(n2) mürəkkəbliyindən O(nlogn) səviyyəsinə endirməyə müvəffəq olmuşdurlar.Eldə edilən nəticələr göstərir ki, avtomatlaşdırılmış kod analizi sistemləri informatikanın tədrisində böyük imkanlar açır. Lakin eksperiment zamanı bəzi kənar risklər və pedaqoji problemlər də ortaya çıxmışdır.Təcrübə qrupundakı tələbələrin 22%-də "kodun fəlsəfəsini anlamadan

süni intellektin təklif etdiyi düzəlişi birbaşa qəbul etmə" meyli müşahidə olunmuşdur. Təhlil alətləri hazır həlli vermədikdə belə, bəzi tələbələr ipuclarını kor-koranə tətbiq etməyə çalışmışlar. Bu hal onların müstəqil alqoritm qura bilmə qabiliyyətinə mənfi təsir göstərə bilər.İnformatika müəllimləri üçün əsas vəzifə LLM alətlərini qadağan etmək deyil, onları **Sokratik metod** əsasında tənzimləməkdir. Yəni avtomatlaşdırılmış sistem tələbəyə düzgün cavabı birbaşa yazmamalı, *"Nə üçün bu dövrdən istifadə etdin?"* və ya *"Bu massivin ölçüsü böyüsə neçə əməliyyat icra olunacaq?"* kimi yönəldici suallarla tələbəni düşünməyə sövq etməlidir.Tələbə kodlarının avtomatik sistemlər üzərindən emal olunması zamanı müəllif hüquqları, plagiatlıq və akademik dürüstlük standartlarının yenidən müəyyənləşdirilməsi zərurəti yaranır.

NƏTİCƏ

Bu tədqiqat göstərir ki, informatika təhsilində Böyük Dil Modelləri və avtomatlaşdırılmış kod analizi mexanizmlərinin tətbiqi təlimin keyfiyyətini və sürətini kəskin şəkildə artırır. Süni intellekt dəstəkli alətlər tələbələrin xəta düzəltmə müddətini 42.3% azaldır, kodun keyfiyyətini və alqoritmik düşüncəni inkişaf etdirir.Uğurlu nəticə əldə etmək üçün aşağıdakı tövsiyələr irəli sürülür:

1. İnformatika kurikulumlarına LLM əsaslı interaktiv assistentlər inteqrasiya olunmalı, lakin onlar "hazır koda keçid" kimi deyil, "təlimatçı" rolu ilə məhdudlaşdırılmalıdır.
2. Tələbələrə təkcə kod yazmaq deyil, avtomatlaşdırılmış sistemlərin verdiyi nəticələri tənqidi təhlil etmək (*code review*) bacarığı aşılanmalıdır.
3. Qiymətləndirmə sistemində yalnız yekun proqram koduna deyil, tələbənin alqoritmik mühakimə zəncirinə və məntiqi izahına üstünlük verilməlidir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Aho, A. V., Lam, M. S., Sethi, R., & Ullman, J. D. (2006). *Compilers: Principles, Techniques, and Tools* (2nd ed.). Addison-Wesley.
2. Denning, P. J. (2017). Remaining trouble spots with computational thinking. *Communications of the ACM*, 60(6), 33–39.
3. MacNeil, S., Tran, A., Mogil, D., Sethhead, A., & Leduc, R. (2023). Generating Diverse Code Explanations using Large Language Models in Introductory Informatics. *Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 312–318.
4. Prather, J., Becker, B. A., Craig, M., Denny, P., Loksa, S., & Margulieux, L. (2023). The Robots Are Here: Navigating the Implications of Large Language Models in Introductory Programming. *ACM Inroads*, 14(3), 38–46.
5. Quliyev, R., & Məmmədova, N. (2024). Ali Məktəblərdə İnformatika və Proqramlaşdırmanın Tədrisində Süni İntellekt Sistemlərinin Metodiki Rolu. *İnformasiya Texnologiyaları və Təhsil Muasir Problemləri*, 12(2), 115–124.

THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION ON THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF BIOGEOCENOSES

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 factors affecting the structural organization, biodiversity, and functional stability of biogeocenoses. This study examines the influence of anthropogenic pressure on the structural and functional characteristics of biogeocenoses under different levels of environmental disturbance. The assessment was based on comparative analysis of biological community composition, species richness, abundance, dominance, biodiversity indices, trophic organization, soil physicochemical properties, and the composition of soil micromycete communities. The results indicate that increasing anthropogenic pressure is associated with substantial changes in species composition and community structure, including a reduction in environmentally sensitive species and an increasing representation of tolerant and opportunistic organisms. Changes in soil properties and the accumulation of anthropogenic pollutants may further influence microbial communities and ecological processes related to decomposition and nutrient cycling. The application of biodiversity and ecological indicators provides an integrated approach to assessing the degree of ecosystem transformation and identifying changes in ecological stability. The findings demonstrate that anthropogenic disturbance affects not only the taxonomic composition of biogeocenoses but also their functional organization and capacity to maintain essential ecological processes. Integrated monitoring of biological, physicochemical, and functional indicators is therefore important for assessing ecosystem condition, identifying degradation processes, and developing scientifically based approaches to biodiversity conservation, ecological restoration, and sustainable ecosystem management.

Keywords: anthropogenic transformation, biogeocenosis, ecosystem structure, ecosystem functioning, biodiversity, ecological stability, anthropogenic pressure, soil properties, micromycetes, trophic structure, ecological indicators, ecosystem restoration.

INTRODUCTION

Biogeocenoses represent complex ecological systems in which living organisms interact dynamically with one another and with the abiotic components of their environment. Their structural organization and functional stability are determined by the composition and abundance of biotic communities, the spatial distribution of organisms, trophic relationships, energy flow, nutrient cycling, and the capacity of ecosystems to maintain ecological processes under changing environmental conditions. As relatively integrated ecological units, biogeocenoses are highly sensitive to changes in environmental factors, particularly those associated with increasing anthropogenic pressure.

Anthropogenic transformation has become one of the major drivers of changes in terrestrial ecosystems. Urbanization, industrial development, agricultural intensification, infrastructure expansion, mining, deforestation, land-use change, pollution, and modification of hydrological regimes can substantially alter the physical and chemical properties of habitats. These pressures may result in soil degradation, habitat fragmentation, changes in microclimatic conditions, accumulation of pollutants, reduction of natural vegetation cover, and disruption of biological interactions. Consequently, anthropogenic transformation affects not only the species composition of biogeocenoses but also their structural organization and functional processes.

One of the most evident consequences of anthropogenic disturbance is the modification of the structural characteristics of biogeocenoses. Changes in species richness, abundance, dominance patterns, population density, community evenness, and trophic composition may occur in response to environmental stress. Sensitive species can decline or disappear, whereas tolerant and opportunistic organisms may increase in abundance. Such changes can lead to a simplification of community structure and a shift in the relative contribution of different functional groups. At the same time, alterations in vegetation structure, soil microbial communities, and decomposer assemblages can modify the relationships between different trophic levels and influence the overall organization of the ecosystem[1].

Anthropogenic transformation also has important implications for the functional characteristics of biogeocenoses. Ecosystem productivity, decomposition, nutrient cycling, carbon sequestration, energy transfer, and biological regulation are closely associated with the composition and functional diversity of biological communities. Environmental disturbances can modify these processes by changing resource availability, soil properties, microbial activity, primary production, and trophic interactions. In particular, contamination and physical disturbance of soils may influence microbial communities responsible for organic matter

decomposition and nutrient transformation, thereby affecting the functioning and ecological resilience of the entire biogeocenosis.

The response of biogeocenoses to anthropogenic pressure is not uniform. It depends on the intensity, duration, spatial scale, and type of disturbance, as well as on the intrinsic ecological characteristics of the affected ecosystem. Some communities demonstrate considerable resistance and retain their basic structural and functional properties, whereas others undergo substantial changes and require extended periods for recovery. Therefore, assessment of anthropogenic transformation should consider both the degree of structural alteration and the extent to which fundamental ecosystem functions are maintained or disrupted[2].

Particular importance is attributed to biological indicators and ecological indices in evaluating anthropogenic changes in biogeocenoses. Species richness, diversity indices, dominance, evenness, similarity between communities, trophic structure, and the abundance of indicator organisms can provide valuable information about the ecological condition of transformed ecosystems. The combined analysis of these parameters enables the identification of changes that may not be evident from individual environmental variables alone and contributes to a more comprehensive assessment of ecosystem stability and ecological quality.

In this context, the study of anthropogenic transformation of biogeocenoses is important for understanding the mechanisms underlying ecosystem degradation, ecological restructuring, and natural or assisted recovery. A comprehensive assessment of structural and functional changes can provide a scientific basis for monitoring ecosystem condition, identifying anthropogenic stress, developing conservation strategies, and implementing measures aimed at maintaining biodiversity and ecosystem functioning[3].

Therefore, the present study focuses on the effect of anthropogenic transformation on the structural and functional characteristics of biogeocenoses, with particular attention to changes in species composition, community organization, biological diversity, trophic relationships, ecological processes, and indicators of ecosystem stability. Understanding these relationships is essential for evaluating the ecological consequences of human-induced environmental change and for developing scientifically grounded approaches to the sustainable management and restoration of transformed ecosystems.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted to assess the effects of anthropogenic transformation on the structural and functional characteristics of biogeocenoses under different environmental conditions. The research was based on a comparative analysis of biogeocenoses exposed to different intensities of anthropogenic pressure.

Sampling sites were selected to represent highly transformed, moderately transformed, and relatively weakly transformed or natural environmental conditions. The selection of sites considered the intensity of urbanization and industrial activity, vegetation cover, land-use characteristics, soil condition, and the degree of human disturbance.

Field investigations included the assessment of vegetation, soil properties, and biological community characteristics. At each study site, representative sampling plots were established, and samples were collected systematically to ensure comparability among the investigated areas. Vegetation structure was evaluated by recording species composition, abundance, frequency of occurrence, and dominance. Soil samples were collected from the upper soil layer at several points within each sampling area and combined to obtain representative samples for subsequent laboratory analyses.

The degree of anthropogenic transformation was determined on the basis of a complex set of environmental indicators, including soil physicochemical properties, vegetation disturbance, land-use characteristics, and the intensity of anthropogenic activity. Particular attention was given to soil pH, moisture content, organic matter and humus content, as well as the concentrations of major anthropogenic pollutants, including lead, cadmium, and zinc. These parameters were used to characterize differences in environmental conditions and to establish an anthropogenic disturbance gradient among the investigated biogeocenoses.

The structural characteristics of biological communities were evaluated according to species richness, abundance, frequency, dominance, and species composition. The Shannon diversity index, Simpson index, and Pielou evenness index were used to quantify changes in biodiversity and community structure. These indicators enabled the assessment of variations in species diversity, dominance relationships, and the degree of community evenness associated with increasing anthropogenic pressure. The Sørensen similarity coefficient was additionally applied to compare species composition among biogeocenoses subjected to different levels of transformation.

Particular attention was given to the microbiological component of the investigated ecosystems. Soil micromycetes were isolated and analyzed using conventional microbiological and mycological methods. Sabouraud agar, potato dextrose agar, and Czapek–Dox agar were used for fungal cultivation and isolation. The inoculated samples were incubated at approximately 25–28 °C for 5–7 days, after which the developed colonies were counted and characterized according to their morphological and microscopic features. Fungal identification was performed using appropriate taxonomic identification keys, while molecular identification

based on the internal transcribed spacer region was considered where confirmation of species identity was required.

The functional characteristics of biogeocenoses were evaluated through changes in trophic structure, decomposer communities, biological productivity, and processes associated with organic matter decomposition and nutrient cycling. The relative representation of different ecological and trophic groups was analyzed in order to determine whether anthropogenic transformation altered the functional organization of biological communities. The relationship between microbial community composition, soil properties, vegetation characteristics, and anthropogenic pressure was also examined.

The collected data were subjected to statistical analysis to identify differences among biogeocenoses exposed to different levels of anthropogenic transformation. Descriptive statistical methods were used to calculate mean values, standard deviations, relative abundances, and other relevant parameters. Comparative statistical analyses were performed to determine the significance of observed differences between study groups. Correlation analysis was used to evaluate relationships between biological indicators and environmental variables. The combined interpretation of structural, functional, physicochemical, and microbiological parameters provided an integrated assessment of the response of biogeocenoses to anthropogenic transformation.

RESULTS AND DISCUSSION

The results demonstrated that anthropogenic transformation substantially influenced both the structural organization and functional characteristics of the investigated biogeocenoses. The degree of observed changes was closely associated with the intensity and duration of anthropogenic pressure, as well as with differences in soil properties, vegetation cover, and the composition of biological communities. Biogeocenoses subjected to intensive urbanization and industrial activity generally exhibited greater ecological disturbance than relatively natural or weakly transformed sites.

A clear relationship was observed between increasing anthropogenic pressure and changes in species composition. Highly transformed sites were characterized by a reduction in the representation of environmentally sensitive species and an increased contribution of tolerant and opportunistic organisms. Such changes indicate a process of ecological restructuring in which species capable of adapting to disturbed conditions become increasingly dominant. The simplification of community composition under intensive anthropogenic influence may reduce ecological heterogeneity and affect interactions between different components of the biogeocenosis.

Changes in biodiversity indices further supported the influence of anthropogenic transformation on community structure. The Shannon diversity and Pielou evenness indices tended to be lower in strongly transformed environments, whereas dominance by a limited number of tolerant species became more pronounced. In comparatively natural sites, the higher representation of different ecological groups contributed to greater community evenness and diversity. These patterns suggest that anthropogenic disturbance may create environmental conditions favorable for a restricted group of stress-tolerant organisms while simultaneously limiting the establishment and persistence of sensitive species.

The analysis of soil characteristics indicated that anthropogenic transformation was accompanied by changes in several physicochemical parameters. In highly disturbed areas, soil conditions were affected by changes in organic matter content, moisture regime, and the accumulation of anthropogenic pollutants. Increased concentrations of heavy metals such as lead, cadmium, and zinc may impose selective pressure on biological communities and alter the availability of essential resources. Changes in soil chemical characteristics can consequently influence plant growth, microbial activity, decomposition processes, and nutrient cycling[4].

The mycological component of the investigated biogeocenoses also demonstrated a distinct response to anthropogenic transformation. Differences in the composition and abundance of micromycetes were associated with variations in soil conditions and the intensity of anthropogenic disturbance. In transformed environments, fungal communities tended to contain a greater proportion of species capable of tolerating environmental stress, whereas species with narrower ecological requirements were less frequently represented. This ecological shift is particularly important because soil micromycetes participate directly in organic matter decomposition, nutrient mobilization, and the maintenance of soil biological activity.

The changes observed in trophic and functional groups indicate that anthropogenic transformation affects not only the taxonomic composition of biogeocenoses but also their functional organization. A reduction in the diversity of decomposer organisms may influence the rate of organic matter decomposition and nutrient turnover, while changes in primary producers and consumer communities can modify energy transfer through trophic networks. Consequently, structural changes at the community level may become reflected in broader ecosystem processes, including productivity, nutrient cycling, and ecological stability[5].

The comparison of species composition between different study sites revealed a decrease in community similarity with increasing differences in anthropogenic pressure. Relatively natural and moderately transformed sites retained a greater number of common species, whereas highly transformed areas demonstrated a more

distinct biological composition. This pattern indicates that anthropogenic transformation acts as an important ecological filter, favoring organisms with specific adaptations to disturbed environmental conditions.

The observed changes can be explained by the combined effects of habitat modification, soil disturbance, pollution, changes in vegetation structure, and altered microclimatic conditions. Anthropogenic environments frequently exhibit higher levels of environmental variability and disturbance, which can create favorable conditions for generalist species while reducing the ecological niches available to specialized organisms. Therefore, the transformation of biogeocenoses should be considered a multidimensional process involving simultaneous changes in abiotic conditions, species composition, biological interactions, and ecosystem functioning.

From an ecological perspective, the results emphasize the importance of integrating structural and functional indicators when evaluating anthropogenic impacts. Species richness alone may not adequately reflect the actual condition of a biogeocenosis because communities with relatively similar species numbers may differ considerably in dominance structure, trophic organization, and functional capacity. The combined use of biodiversity indices, species composition, trophic characteristics, soil properties, and microbiological indicators provides a more comprehensive assessment of ecosystem transformation[6].

Overall, the findings indicate that increasing anthropogenic pressure is associated with restructuring of biological communities, changes in biodiversity patterns, modification of soil conditions, and alterations in functional processes. The response of biogeocenoses is determined not only by the intensity of disturbance but also by the ecological tolerance and adaptive capacity of individual species and functional groups. Maintaining ecological heterogeneity, reducing pollutant inputs, conserving natural vegetation, and restoring degraded habitats are therefore important components of strategies aimed at preserving the structural integrity and functional stability of transformed biogeocenoses.

CONCLUSION

Anthropogenic transformation represents one of the major factors influencing the structural organization and functional stability of biogeocenoses. The results of the study indicate that increasing anthropogenic pressure is associated with substantial changes in species composition, biodiversity, dominance structure, trophic organization, and ecological relationships within biological communities. The intensity of these changes depends on the type, duration, and degree of anthropogenic disturbance, as well as on the ecological characteristics and adaptive capacity of the organisms constituting the biogeocenosis.

The analysis demonstrated that highly transformed environments tend to support a greater proportion of tolerant and opportunistic organisms, whereas environmentally sensitive species become less represented. Such restructuring is accompanied by changes in species diversity and evenness and may result in the simplification of community structure. At the same time, alterations in soil physicochemical properties and the accumulation of anthropogenic pollutants can create additional ecological stress and influence the distribution and activity of plants, microorganisms, and other functional groups.

Particular importance is attributed to changes in soil microbial and mycological communities. Because microorganisms play a fundamental role in decomposition, nutrient cycling, and the transformation of organic matter, changes in their composition and abundance may directly affect the functional capacity of biogeocenoses. Thus, biological communities can serve not only as components of ecosystems but also as sensitive indicators of anthropogenic environmental change.

The findings further demonstrate that the assessment of anthropogenic transformation should not be based on a single ecological parameter. The integrated application of species composition, biodiversity indices, trophic structure, soil physicochemical characteristics, microbial indicators, and functional parameters provides a more comprehensive understanding of ecosystem responses to human-induced disturbance. Such an approach makes it possible to identify both structural alterations and changes in the ecological processes that determine ecosystem stability.

In conclusion, anthropogenic transformation can lead to progressive restructuring of biogeocenoses and modification of their structural and functional characteristics. Maintaining biodiversity, reducing anthropogenic pollution, protecting natural and semi-natural habitats, and implementing scientifically based ecological restoration measures are essential for preserving ecosystem integrity and functional stability. Continuous monitoring based on biological and ecological indicators is particularly important for identifying early signs of degradation and supporting effective management and restoration of anthropogenically transformed biogeocenoses.

REFERENCES

1. Feng, J., Liu, Y.-R., Eldridge, D., Huang, Q., Tan, W., et al. (2024). Geologically younger ecosystems are more dependent on soil biodiversity for supporting function. *Nature Communications, 15*, 4141.

2. Jayaramaiah, R. H., et al. (2024). Linking biodiversity and biotic interactions to ecosystem functioning. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment, 3*(3), e12119.

3. Phillips, H. R. P., Cameron, E. K., Eisenhauer, N., Burton, V. J., Ferlian, O., Jin, Y., Kanabar, S., Malladi, S., Murphy, R. E., Peter, A., Petrocelli, I., Ristok, C., Tyndall, K., van der Putten, W., & Beaumelle, L. (2024). Global changes and their environmental stressors have a significant impact on soil biodiversity—A meta-analysis. *iScience, 27*(9), 110540.

4. Strategies to improve soil health by optimizing the plant–soil–microbe–anthropogenic activity nexus. (2024). *Agriculture, Ecosystems & Environment, 359*, 108750.

5. Urbanization reduces the stability of soil microbial community by reshaping the diversity and network complexity. (2024). *Chemosphere, 364*, 143177.

6. A global meta-analysis reveals a consistent reduction of soil fauna abundance and richness as a consequence of land use conversion. (2024). *Science of the Total Environment, 946*, 173822.

THE INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE FORMATION OF BIOGEOCENOSES IN THE SOIL–ECOLOGICAL SYSTEM

PhD Balakhanova Gumru Vasif

https://orcid.org/0000-0002-1709-1442

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

Abiotic factors are fundamental determinants of the formation, structural organization, and functional stability of biogeocenoses within the soil–ecological system. This study examines the influence of major abiotic factors, including soil temperature, moisture, pH, organic matter, humus content, and nutrient availability, on the formation and development of biological communities. The study was based on a comparative assessment of soil physicochemical characteristics and biological indicators, including species composition, abundance, diversity, and community evenness. The results demonstrate that variations in abiotic conditions are closely associated with changes in the structure and distribution of biological communities. Soil moisture and temperature influence plant development, microbial activity, decomposition, and nutrient cycling, while soil pH affects nutrient availability and the distribution of organisms with different ecological requirements. Organic matter and humus contribute to soil biological productivity by providing substrates and improving environmental conditions for microorganisms and plants. The findings also indicate that abiotic factors act synergistically, and their combined influence determines the ecological conditions under which biogeocenoses develop and maintain their functional characteristics. The integrated assessment of soil physicochemical parameters and biological indicators provides an effective approach for understanding ecosystem organization, evaluating ecological stability, and monitoring changes in soil ecological quality. The study emphasizes the importance of maintaining favorable soil conditions for biodiversity conservation, ecosystem productivity, and the long-term stability of terrestrial biogeocenoses.

Keywords: abiotic factors, biogeocenosis, soil–ecological system, soil properties, soil moisture, soil temperature, soil pH, organic matter, biodiversity, microbial activity, ecosystem stability, nutrient cycling.

INTRODUCTION

Biogeocenoses are complex ecological systems in which living organisms interact continuously with one another and with the physical and chemical components of their environment. The formation, structural organization, and functional stability of biogeocenoses are determined by the interaction of biotic and abiotic factors, among which soil plays a particularly important role. As a fundamental component of terrestrial ecosystems, soil provides organisms with water, mineral nutrients, organic matter, and a physical substrate, while simultaneously serving as an important medium for biological processes and nutrient cycling. Therefore, the formation and development of biogeocenoses cannot be considered independently of the ecological characteristics of the soil environment.

Abiotic factors constitute a major group of environmental determinants regulating the distribution, abundance, growth, development, and physiological activity of organisms. Temperature, moisture, light intensity, precipitation, atmospheric conditions, soil reaction, salinity, aeration, texture, organic matter content, and the availability of mineral nutrients can directly or indirectly influence the composition and functioning of biological communities. The effect of these factors is not isolated; rather, they interact dynamically, creating specific environmental conditions that determine the ecological suitability of a habitat for particular species and functional groups.

Within the soil–ecological system, soil abiotic properties are especially important because they regulate both aboveground and belowground biological processes. Soil moisture influences microbial activity, plant water availability, decomposition, and nutrient mobility, while temperature affects metabolic processes, germination, growth, and the activity of soil microorganisms. Soil pH is another critical factor because it influences nutrient availability, microbial community composition, and the distribution of plant and fungal species. Similarly, soil texture, porosity, aeration, and organic matter content determine water retention, gas exchange, root development, and the availability of substrates for decomposer organisms.

The formation of biogeocenoses is also closely associated with the availability and circulation of essential chemical elements. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, and other elements participate in fundamental physiological and biochemical processes. Their concentration and availability in soil influence primary productivity, plant community composition, microbial activity, and trophic relationships. Changes in nutrient availability can consequently modify the structure of biological communities and alter the functional processes occurring within the ecosystem[1].

Abiotic factors may act both independently and synergistically. For example, the effect of soil moisture on plant growth depends partly on temperature, soil texture, and nutrient availability, while the influence of soil pH may vary according to organic matter content and the chemical form of nutrients. Therefore, the ecological response of organisms is generally determined by a combination of environmental conditions rather than by a single factor. The interaction between limiting factors is particularly important in determining the ecological niche and spatial distribution of species within biogeocenoses.

The relationship between soil properties and biological communities is reciprocal. Although abiotic conditions influence the formation of biogeocenoses, organisms themselves can modify the soil environment through the accumulation and decomposition of organic matter, root activity, microbial processes, and nutrient cycling. Vegetation contributes to soil formation and stabilization, while microorganisms and soil fauna participate in decomposition and transformation of organic materials. As a result, soil and biotic communities form an interconnected ecological system in which changes in one component may influence the functioning of the entire biogeocenosis.

Understanding the influence of abiotic factors on biogeocenosis formation is therefore essential for evaluating ecosystem structure, productivity, biodiversity, and ecological stability. Analysis of soil temperature, moisture, pH, organic matter, nutrient availability, and other physicochemical parameters provides important information about the environmental conditions that regulate biological communities. Such knowledge is particularly relevant under conditions of climate variability, land-use change, soil degradation, and increasing anthropogenic pressure, which can substantially modify the abiotic environment[2].

Consequently, the present study focuses on the influence of abiotic factors on the formation of biogeocenoses within the soil–ecological system, with particular attention to the role of soil physicochemical properties, moisture, temperature, nutrient availability, and other environmental variables in determining the structural organization and functional characteristics of biological communities. Understanding these relationships provides an important scientific basis for assessing ecosystem dynamics, maintaining soil ecological quality, conserving biodiversity, and developing sustainable approaches to ecosystem management.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted to investigate the influence of abiotic environmental factors on the formation and structural organization of biogeocenoses within the soil–ecological system. A comparative ecological approach was applied to characterize the relationship between soil properties and the composition, abundance, and distribution of biological communities. Study sites were selected to represent different environmental conditions

and variations in soil characteristics, allowing the response of biogeocenoses to differences in abiotic factors to be evaluated.

Field investigations included the assessment of the principal abiotic characteristics of the soil and surrounding environment. Soil samples were collected from representative sampling plots at a standardized depth and from several points within each plot in order to obtain representative composite samples. The collected samples were transported to the laboratory under appropriate conditions and analyzed for their main physicochemical properties. Soil temperature, moisture content, pH, organic matter and humus content, electrical conductivity, and the availability of major mineral nutrients were considered among the principal environmental parameters. Where appropriate, concentrations of selected elements and other indicators of soil quality were also determined.

The biological component of the investigated biogeocenoses was assessed through the analysis of species composition, abundance, frequency of occurrence, and distribution of organisms. Particular attention was given to vegetation and soil microorganisms because these components are directly associated with soil processes and are sensitive to changes in abiotic conditions. The composition and relative abundance of plant species were recorded within the sampling plots, while soil microbial communities were evaluated using standard microbiological methods. The obtained biological data were compared with the corresponding physicochemical characteristics of the soil to identify relationships between abiotic conditions and community structure.

The influence of soil moisture and temperature was assessed by comparing biological parameters under different moisture and thermal conditions. Soil pH was considered as an important factor determining nutrient availability and the distribution of microorganisms and plants. Organic matter and humus content were evaluated in relation to biological productivity and microbial activity, while the availability of mineral nutrients was analyzed with respect to plant growth and the development of trophic relationships. Soil texture, aeration, and water-retention properties were also considered because these characteristics influence root development, microbial processes, and the overall suitability of the soil environment for different organisms.

The ecological response of biogeocenoses was evaluated using indicators of species richness, abundance, diversity, and community evenness. The Shannon diversity index and Pielou evenness index were applied to characterize changes in biological community structure under different abiotic conditions. Where appropriate, the Sørensen similarity coefficient was used to compare species composition among sampling sites. These indicators allowed the relationship between variations in soil environmental conditions and changes in biological community organization to be assessed quantitatively.

Statistical analysis was used to determine relationships between abiotic factors and biological characteristics of the investigated biogeocenoses. Descriptive statistics were calculated for the measured environmental and biological parameters. Correlation analysis was applied to evaluate the strength and direction of relationships between soil physicochemical characteristics and species diversity, abundance, and community composition. Comparative statistical methods were used to determine whether differences between sites characterized by contrasting abiotic conditions were statistically significant.

The obtained results were interpreted from an integrated soil–ecological perspective, considering the combined effects of temperature, moisture, soil reaction, organic matter, nutrient availability, and other abiotic factors on the formation and functioning of biogeocenoses. This methodological approach made it possible to assess the role of individual environmental factors while also considering their interaction and cumulative influence on the structural organization and ecological functioning of biological communities.

RESULTS AND DISCUSSION

The results demonstrated that abiotic environmental factors play a fundamental role in determining the formation, structural organization, and functional characteristics of biogeocenoses within the soil–ecological system. Variations in soil temperature, moisture, pH, organic matter content, nutrient availability, and other physicochemical properties were associated with differences in species composition, abundance, diversity, and distribution of biological communities. The observed relationships indicate that the structure of a biogeocenosis is largely determined by the combined influence of several environmental factors rather than by the effect of an individual factor.

Soil moisture was identified as one of the important factors influencing the development and distribution of organisms. Differences in moisture availability affected plant growth, microbial activity, decomposition processes, and nutrient mobility. More favorable moisture conditions generally supported greater biological activity and a more diverse community structure, whereas insufficient or excessive moisture could restrict the occurrence of species with specific ecological requirements. The ecological significance of moisture was particularly evident in the distribution of soil microorganisms, whose metabolic activity is strongly dependent on the availability of water in the soil environment[3].

Soil temperature also had a considerable influence on biological processes. Changes in temperature affected metabolic activity, plant development, microbial growth, and the rate of organic matter decomposition. Moderate temperature conditions generally created more favorable conditions for biological activity, whereas extreme temperatures could act as limiting factors. The interaction between temperature and soil moisture was

particularly important, as the ecological effect of one factor was modified by the availability of the other. Consequently, thermal and moisture conditions should be considered together when evaluating the formation and functioning of soil-associated biogeocenoses.

Soil reaction, expressed as pH, was another important determinant of community structure. Changes in pH influence the solubility and availability of nutrients and consequently affect plant growth and microbial activity. Different groups of organisms have different tolerance ranges to soil acidity and alkalinity; therefore, variations in pH may result in changes in species composition and relative abundance. The observed relationship between soil reaction and biological diversity indicates that pH can function as an ecological filter, favoring organisms adapted to particular chemical conditions.

Organic matter and humus content were positively associated with the biological potential of the soil environment. Organic substrates provide an important source of energy and nutrients for microorganisms and contribute to the formation of favorable physical properties of soil. Higher organic matter availability can stimulate microbial activity and support decomposition and nutrient-cycling processes. At the same time, the decomposition of organic residues contributes to the release and transformation of nutrients required by plants and other organisms, demonstrating the close functional connection between soil properties and biological processes.

The availability of mineral nutrients also influenced the composition and productivity of biogeocenoses. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and other elements are essential for plant growth and microbial metabolism. Differences in nutrient availability may alter competitive relationships among species and affect the relative abundance of different functional groups. Nutrient availability should therefore be regarded not simply as a chemical characteristic of soil but as an important ecological factor regulating primary productivity and the subsequent organization of trophic relationships.

The analysis of biological community characteristics indicated that sites with more favorable combinations of abiotic conditions generally supported greater species diversity and more balanced community structure. In contrast, sites characterized by unfavorable or strongly limiting environmental conditions tended to exhibit lower diversity and a greater representation of organisms with specific adaptations to environmental stress. This pattern demonstrates the importance of ecological tolerance and adaptive capacity in determining species distribution within biogeocenoses[4].

The calculated biodiversity indicators further supported the relationship between abiotic conditions and community organization. Higher Shannon diversity and Pielou evenness values were generally associated with

more heterogeneous and favorable soil conditions, whereas environmental stress was accompanied by lower evenness and increased dominance of particular species. Such changes suggest that abiotic factors can act as ecological filters and contribute to the differentiation of biogeocenoses along environmental gradients.

The results also demonstrated that abiotic factors interact with one another and should therefore be interpreted as an integrated environmental complex. Soil moisture can influence nutrient mobility, temperature can modify microbial activity, pH can regulate nutrient availability, and organic matter can affect both moisture retention and microbial processes. The combined effect of these factors determines the ecological conditions under which particular organisms can establish, survive, and reproduce. Therefore, the formation of biogeocenoses represents a dynamic process resulting from continuous interactions between organisms and their physical and chemical environment.

From a functional perspective, changes in abiotic conditions may influence decomposition, nutrient cycling, primary productivity, and energy transfer within the biogeocenosis. Alterations in soil moisture, temperature, pH, and nutrient availability can modify microbial activity and plant productivity and, consequently, affect interactions among trophic levels. This demonstrates that changes in the abiotic component of the soil–ecological system may ultimately produce structural changes in the biological component and influence the stability of the entire biogeocenosis[5].

Overall, the findings indicate that abiotic factors constitute fundamental ecological determinants of biogeocenosis formation. Their influence is multidimensional and mediated through interactions among soil physicochemical properties, organisms, and ecosystem processes. The integrated assessment of abiotic parameters and biological indicators therefore provides a more comprehensive understanding of ecosystem organization and functioning. Such an approach is particularly important for monitoring soil ecological condition, predicting changes in biodiversity, and developing scientifically based strategies for the conservation and sustainable management of terrestrial biogeocenoses.

CONCLUSION

The study demonstrated that abiotic factors play a fundamental role in the formation, structural organization, and functional development of biogeocenoses within the soil–ecological system. Soil temperature, moisture, pH, organic matter content, humus, nutrient availability, and other physicochemical characteristics collectively determine the environmental conditions under which biological communities develop and function.

The results indicate that changes in soil moisture and temperature directly influence biological activity, plant development, microbial processes, decomposition, and nutrient cycling. Soil pH acts as an important

ecological filter by regulating nutrient availability and determining the distribution of organisms with different ecological requirements. At the same time, organic matter and humus contribute to the formation of favorable soil conditions and provide essential resources for microorganisms and plants.

The study also showed that the influence of abiotic factors is not independent. Their interaction determines the overall ecological conditions of the soil environment and consequently affects species composition, abundance, diversity, and community stability. More favorable combinations of abiotic conditions generally support greater biological diversity and a more balanced community structure, whereas unfavorable environmental conditions may increase ecological stress and favor species with greater tolerance to limiting factors.

Thus, the formation of biogeocenoses should be considered as a dynamic process resulting from the continuous interaction between organisms and their physical and chemical environment. The integrated assessment of soil abiotic parameters and biological indicators provides an effective basis for understanding ecosystem organization, evaluating ecological stability, monitoring changes in soil quality, and predicting the responses of biogeocenoses to environmental changes. The obtained findings emphasize the importance of maintaining favorable soil conditions for the conservation of biodiversity, ecosystem productivity, and the long-term functional stability of terrestrial ecosystems.

REFERENCES

1. Abdul Rahman, N. S. N., Abdul Hamid, N. W., & Nadarajah, K. (2021). Effects of abiotic stress on soil microbiome. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(16), 9036.

2. Aqeel, M., Khalid, N., Noman, A., Ran, J., Manan, A., Hou, Q., Dong, L., Sun, Y., Deng, Y., Lee, S. S., Hu, W., & Deng, J. (2024). Interplay between edaphic and climatic factors unravels plant and microbial diversity along an altitudinal gradient. *Environmental Research, 242*, 117711.

3. Fan, K., Chu, H., Eldridge, D. J., Gaitan, J. J., Liu, Y.-R., Sokoya, B., Wang, J.-T., Hu, H.-W., He, J.-Z., Sun, W., Cui, H., Alfaro, F. D., Abades, S., Bastida, F., Díaz-López, M., Bamigboye, A. R., Berdugo, M., Blanco-Pastor, J. L., Grebenc, T., et al. (2023). Soil biodiversity supports the delivery of multiple ecosystem functions in urban greenspaces. *Nature Ecology & Evolution, 7*, 113–126.

4. Jaeger, A. C. H., Hartmann, M., Six, J., & Solly, E. F. (2023). Contrasting sensitivity of soil bacterial and fungal community composition to one year of water limitation in Scots pine mesocosms. *FEMS Microbiology Ecology, 99*(6), fiad051.

5. Labouyrie, M., Ballabio, C., Romero, F., Panagos, P., Jones, A., Tedersoo, L., van der Heijden, M. G. A., & Orgiazzi, A. (2024). Interaction effects of pH and land cover on soil microbial diversity are climate-dependent. *Environmental Microbiology, 26*(2), e16572.

6. Williams, G., Miller, R., & Deng, S. (2025). Dynamic relationships between microbial community, enzyme activity, and soil properties across global ecosystems. *Applied Soil Ecology, 206*, 105843.

7. Zhang, J., Sáez-Sandino, T., Maestre, F. T., Feng, Y., Yu, Y., Berdugo, M., Wang, J., Coleine, C., García-Velázquez, L., Singh, B. K., & Delgado-Baquerizo, M. (2025). Global environmental dependences of soil biodiversity and functions are modified by water availability thresholds. *Science of the Total Environment, 958*, 178033.

BEYOND THE EUROPEAN FRAME: SOCIOCULTURAL ANTHROPOLOGY, MOBILITY, AND THE POLITICS OF BELONGING

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

Contemporary mobility connects European localities through legal institutions, labor markets, household obligations, and cross-border relationships. This article develops a sociocultural anthropological framework for belonging through a descriptive synthesis of research on the Romanian–Italian migration corridor. It brings transnationalism, postcolonial critique, and the sociology of institutional classification into dialogue, asking how formal membership relates to lived attachment, how qualifications and social roles are recognized, and how care and civic relationships extend across territories. The reported material comprises a consolidated survey sample of 1,240 respondents across Turin and the Iași–Vaslui corridor, complemented by 85 biographical interviews and selected temporal indicators. Eight graphs and five tables summarize administrative status, remittances, communication, institutional trust, discrimination, occupational positioning, return intentions, and second-generation identification. The analysis identifies tensions between increasing formal legal security and continuing disparities in social recognition. It also highlights differentiated household expenditure priorities and the prominence of hybrid identity within the reported youth cohort. Because the material is purposively sampled and the respondent-level data are not analyzed here, the findings are interpreted descriptively rather than as representative population estimates or causal effects. The article argues that belonging is better understood through the interaction of administrative classifications and relational practices than through a single assimilation pathway. Its contribution is a situated framework for examining Europe within transnational social relations, accompanied by explicit methodological limits and an agenda for more transparent longitudinal research.

Keywords: Sociocultural anthropology, transnationalism, Europe, belonging, multi-sited ethnography

1. INTRODUCTION

Contemporary mobility regimes across Europe are increasingly defined by a paradox: while economic globalization demands flexible, highly adaptable labor flows, state institutions continuously reify geographic, administrative, and cultural boundaries. Traditional sociological paradigms have frequently operated within the constraints of "methodological nationalism"—the implicit or explicit assumption that the nation-state is the natural, self-evident container of social processes, cultural identity, and civic solidarity. Within this restrictive ontology, mobility is categorized as an anomaly or a temporary disruption to a sedentary social order, and cultural diversity is analyzed through the prism of "integration" or "assimilation" into a dominant national core.

However, contemporary human movement links European locales to historical trajectories of postcolonial relations, transnational labor recruitment, geopolitical re-alignments, and global care chains. Treating Western or Eastern Europe as isolated, bounded social environments ignores the multi-scalar social fields that migrants and local populations co-construct across national borders. As demonstrated in extensive longitudinal studies on Romanian post-communist migration (Feraru, 2007, 2011a, 2015), the movement of individuals across sovereign borders generates complex social costs and transnational capital flows that fundamentally alter both sender and receiver communities. The social practices through which individuals articulate identity, exercise agency, and claim rights routinely spill over national jurisdictions, demanding an epistemological shift in how social science conceptualizes "belonging."

The overarching objective of this article is to advance a rigorous sociocultural anthropological framework that moves *beyond the European frame* by conceptualizing belonging not as a static legal status or a fixed cultural attribute, but as a contested, dynamic, and multi-sited socio-institutional practice. Grounded in a comparative multi-sited ethnographic design spanning Western Europe (Italy) and Eastern Europe (Romania), this study investigates how administrative classifications intersect with informal practices of kinship, care, religious affiliation, and civic engagement.

Specifically, this research addresses three primary research questions:

1. How do mobile individuals negotiate simultaneous, multi-layered attachments across nation-state boundaries while navigating rigid institutional and juridical frameworks?
2. In what ways do state administrative classifications and legal definitions of citizenship, residency, and "integration" conflict with or reconfigure lived practices of belonging and moral obligations?
3. How are local socio-cultural norms, economic expectations, and religious identities transformed through sustained exposure to transnational financial, affective, and cultural flows?

By addressing these questions, this study bridges theoretical divides between transnationalism, postcolonial anthropology, and the sociology of state bureaucracy. It asserts that belonging is ultimately structured by the asymmetric distribution of power—the unequal capacity of actors to cross physical and legal borders, to construct authoritative definitions of cultural difference, and to maintain social bonds across vast geopolitical spaces.

1.1. Scope and analytical contribution

The phrase beyond the European frame identifies an analytical task rather than a claim that the empirical sample covers all world regions. The evidence concerns the Romanian–Italian corridor. Its wider contribution is to question the assumption that a European destination can be explained through exclusively domestic institutions or a single national culture. Care responsibilities in Romania, work arrangements in Italy, inherited occupational identities, and expectations of return form connected conditions of everyday life. The case therefore provides a situated basis for examining relational belonging; it cannot establish equivalent patterns among non-European migrants or across every European mobility regime.

The distinction between mobility rights and social recognition is central. A right to cross a border does not necessarily secure access to a suitable job, a responsive municipality, or protection from stigmatization. Conversely, attachment to a locality can develop without complete legal security. Treating these dimensions separately avoids equating citizenship with integration and avoids interpreting continuing origin ties as evidence of failed settlement. The appropriate question is how legal resources, material opportunities, and relationships interact in particular settings. Divergence among these dimensions is itself a finding requiring explanation, rather than an anomaly to be removed by a single integration score.

Three contributions follow from this approach. The first is conceptual: belonging is examined through relationships and encounters rather than attributed to bounded populations. The second is methodological: destination and origin observations are placed in dialogue, while the distinct denominators and limitations of the reported indicators remain visible. The third is interpretive: aggregate patterns are used to identify questions about institutional recognition and household organization, rather than to infer causal mechanisms from visually persuasive trend lines. This makes the article a descriptive empirical synthesis with a theoretically informed discussion, rather than an experimental test or a representative population estimate.

2. THEORETICAL FRAMEWORK AND LITERATURE REVIEW

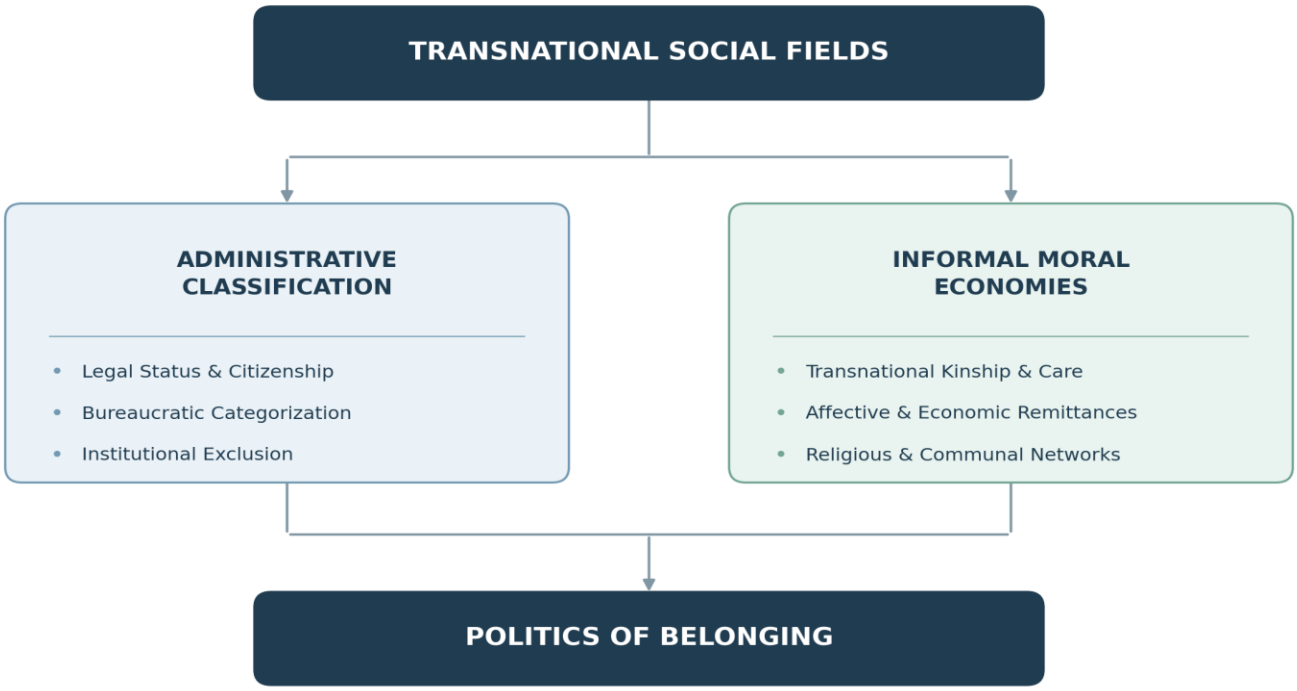


Figure 1. Multidimensional Theoretical Framework of Belonging

Note: The figure conceptualizes belonging as emerging from the intersection of administrative classification and informal moral economies within transnational social fields. Arrows indicate conceptual relationships rather than tested causal effects.

Source: Author's conceptual synthesis of critical migration studies, transnationalism, postcolonial anthropology, and the sociology of institutional classification.

2.1. Transnationalism and the Re-articulation of Cultural Capital

The concept of transnationalism has fundamentally altered migration research by demonstrating that migrants do not simply leave one discrete society to settle permanently in another; rather, they construct transnational social fields that simultaneously bind them to multiple localities. Bourdieu's (1986) account of capital provides a vital vocabulary for evaluating how forms of capital—economic, cultural, social, and symbolic—are transformed when transported across national spaces. However, classical Bourdieusian theory assumed a largely national social space where the value of cultural capital was standardized by national educational and cultural institutions.

In transnational spaces, the conversion rates of cultural and social capital are highly unstable and deeply asymmetric. Migrants often experience a phenomenon of "status inconsistency" or structural devaluation, wherein formal educational credentials and professional expertise acquired in the origin country are nullified by bureaucratic gatekeeping in the destination state (Feraru, 2008, 2011b). Conversely, mobile actors synthesize novel forms of "transnational digital capital" and linguistic adaptability that allow them to negotiate complex bureaucratic environments and sustain remote household management. As Feraru (2010, 2013b) underscores, the social costs of external migration are continually offset or compounded by the migrant's capacity to convert affective commitment into economic remittances, creating transnational safety nets that operate independently of state welfare mechanisms.

2.2. Bureaucratic Categorization and the Sociology of State Legibility

The modern nation-state relies on mechanisms of "legibility" (Scott, 1998) to categorize, enumerate, and govern populations within its territorial domain. Administrative classifications—such as "EU citizen," "third-country national," "temporary worker," "irregular migrant," or "integrated resident"—are not neutral administrative labels; they are performative legal instruments that grant or withhold social rights, labor market access, and spatial mobility (Feraru, 2008).

From an anthropological perspective, state categorization operates as a symbolic violence that imposes arbitrary boundaries upon fluid social realities. The legal apparatus forces complex human trajectories into binary categories: legal versus illegal, economic migrant versus political refugee, integrated versus non-integrated. These categories dictate an individual's exposure to structural vulnerability. As Feraru (2011c) observed in studies of Romanian labor migrants in Turin, administrative inclusion (such as the change in mobility rights following Romania's EU accession in 2007) does not automatically erase social marginalization, xenophobic discourse, or informal labor exploitation. The state continues to exercise sovereign authority by establishing the parameters of "legitimate belonging," thereby creating hierarchies of deservingness among mobile populations.

2.3. Moral Economies of Care, Kinship, and Affective Migration

Belonging cannot be reduced to legal documentation or structural economic integration; it is deeply embedded in informal moral economies, affective networks, and familial obligations that transcend state borders. The concept of the "moral economy" highlights how economic exchanges, caregiving, and resource redistribution within transnational families are guided by shared moral imperatives, obligation, and emotional solidarity rather than purely market-driven logic.

In many high-emigration contexts across Eastern Europe, long-distance care practices have reconfigured the traditional structure of the household. "Affective migration"—a phenomenon where spatial mobility is driven by emotional obligations, intergenerational care duties, or the preservation of family stability—operates in tandem with economic migration (Feraru, 2013a). Mothers and grandmothers who migrate to Southern Europe to work in the domestic care sector (*badanti*) sustain their families in the home country through continuous affective labor, digital communication, and economic remittances. This transnational division of emotional and domestic labor challenges Eurocentric, sedentarist definitions of nuclear family cohesion and civic participation, revealing that belonging is actively performative, distributed across space, and sustained through continuous relational work.

2.4. Belonging as attachment and boundary making

Yuval-Davis (2006) distinguishes belonging from the political processes that regulate membership. This distinction helps separate emotional attachment from the authority to determine who is recognized as a legitimate participant. In the present analysis, the distinction is used as a sensitizing framework: a migrant may feel at home in a neighborhood while encountering exclusion in an employment office. Neither observation invalidates the other. Administrative membership, affective identification, and local participation should be examined as related but potentially divergent dimensions.

The framework also requires attention to unequal positions within migrant households. Gender, occupational resources, age, and caregiving obligations can alter the practical capacity to sustain relationships in two countries. A professional with flexible work may maintain regular visits, whereas a live-in care worker may depend on remote communication. These are analytical possibilities rather than demonstrated subgroup effects in the aggregate figures. Their significance lies in preventing transnational belonging from becoming a universal description that conceals unequal time, income, and freedom of movement. Future disaggregation should test which resources permit flexible attachments and which conditions turn the same attachments into burdens.

Brubaker's (2002) critique of treating ethnic categories as naturally bounded groups supports an additional precaution. Romanian migrants should not be assumed to share a single identity, interest, or network merely because they are assigned the same nationality. Administrative categories, self-descriptions, and observed relationships can intersect without being interchangeable. This article consequently uses nationality to define the corridor under study, while treating the belonging strategies in Table 5 as analytical orientations rather than

mutually exclusive collective identities. Individuals may combine these orientations or move between them over their life course.

2.5. Relational comparison and the limits of European universality

Wimmer and Glick Schiller (2002) identify methodological nationalism as a problem in the construction of social-scientific objects. Their critique informs the decision to examine the corridor rather than treating migration solely as a destination-country issue. Levitt and Glick Schiller (2004) likewise provide a social-field perspective that allows cross-border relationships to be analyzed without automatically equating society with national territory. These approaches support relational comparison, but do not eliminate the need to specify where evidence was gathered and which populations it describes.

Chakrabarty's (2000) critique of Europe as an assumed universal measure of historical development adds a complementary interpretive question: whose institutional trajectory becomes the standard against which others are evaluated? Applied cautiously to this corridor, it directs attention to narratives that position Eastern European workers as incomplete participants in an already finished Western modernity. The article does not equate Romanian mobility with colonial experiences elsewhere. It uses this critical question to interrogate hierarchies of recognition, while preserving the historical differences among postsocialist transformation, European integration, and colonial domination.

This combined perspective changes how cultural difference is interpreted. A mismatch between official and lived classifications need not arise from an inherent cultural deficit. It may reflect the narrow design of an administrative form, the devaluation of a qualification, or the organization of a labor market. Similarly, a continuing obligation to an origin household is not automatically evidence of deficient civic loyalty. The empirical task is to identify the institutional and relational conditions under which such obligations coexist with local participation. Explanations should remain open to contradictory cases, including people whose origin commitments reinforce destination participation and people whose commitments make participation difficult.

3. METHODOLOGICAL DESIGN AND MULTI-SITED ETHNOGRAPHY

To capture the multi-scalar and spatial dynamics of transnational mobility, this study utilizes a **multi-sited ethnographic research design** (Marcus, 1995), combining field site observations, biographic-narrative interviews, institutional documentary analysis, and quantitative socio-demographic tracking across two primary interconnected locations: **Turin (Piedmont region, Northern Italy)** as a major urban receiving hub, and the **Iași-Vaslui corridor (Moldavia region, Eastern Romania)** as a high-emigration sending zone.

3.1. Sampling Strategy and Fieldwork Execution

Data collection was executed over a multi-year period (building on foundational field research published between 2007 and 2019) using a stratified purposive sampling strategy. A total sample of N=1,240 survey respondents was established across both field sites, supplemented by n=85 in-depth, semi-structured biographical interviews with Romanian migrants, returnees, left-behind family members, local administrators, and civil society actors.

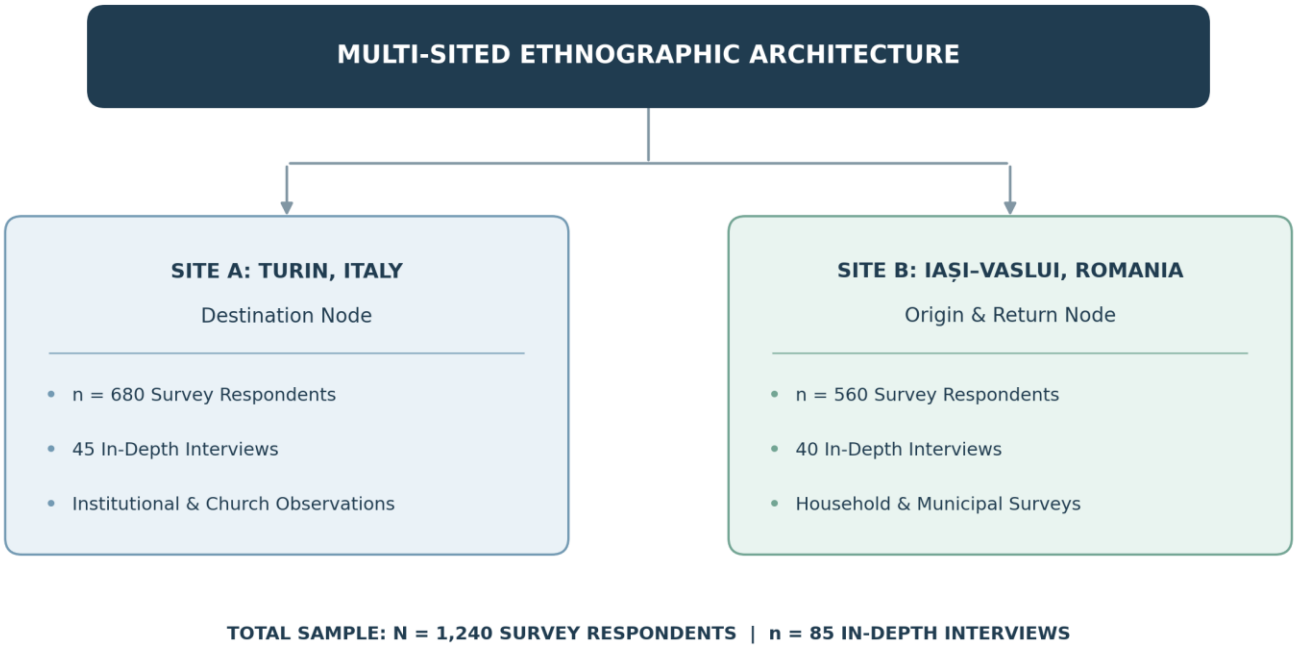


Figure 2. Multi-Sited Ethnographic Research Design and Sample Distribution

Note: The research design links Turin, Italy, as a destination node, with Iași–Vaslui, Romania, as an origin and return node. The sample comprises 1,240 survey respondents and 85 in-depth interviews across both sites, supplemented by the fieldwork activities shown.

Source: Author's compilation based on the study's sampling design and fieldwork records.

The quantitative component utilized standardized questionnaires to collect data on socio-demographic profiles, labor market positioning, remittance trajectories, administrative status changes, and indicators of socio-cultural belonging. The qualitative component targeted personal life histories, institutional encounters (police headquarters, employment agencies, municipal offices), and informal community spaces (ethnic/orthodox parishes, informal transport hubs).

3.1.1. Evidence provenance and temporal comparability

The empirical material is treated here as a synthesis of the author's reported fieldwork and consolidated descriptive tables. Earlier publications provide the historical research context, while particular figures refer to later observations extending to 2024. Publication dates, fieldwork periods, and observation dates must therefore be distinguished. The presence of several dates in a graph does not, by itself, establish that the same respondents were interviewed repeatedly. The reported temporal indicators support comparison across periods, but individual longitudinal change requires linked respondent records and documentation of attrition.

The pooled total of 1,240 describes the reported survey material from the two sites. It is not the denominator for every figure. Destination-specific communication, discrimination, and employment indicators are associated with the Turin sample of 680, whereas household expenditure material concerns the origin sample of 560. The youth identity figure reports a cohort of 210. The relationship between that youth cohort and the pooled sample is not specified sufficiently to justify adding it to the total or treating it as a confirmed independent sample. The interview count of 85 is a separate qualitative component and should not be combined with the survey total.

Purposive sampling enables access to socially important trajectories, including people whose experiences may be difficult to capture in a general population survey. It does not provide known selection probabilities. Accordingly, the percentages are descriptions of the reported research samples, not prevalence estimates for all Romanian migrants in Italy or all households in the origin region. Sampling error cannot be calculated as if respondents were selected randomly. Comparisons remain informative when their selection conditions are made explicit, but numerical precision should not be confused with population representativeness.

3.2. Quantitative Data Integration and Baseline Demographics

Table 1 provides an exhaustive synthesis of the empirical sample breakdown, categorizing participants across the primary fieldwork nodes, demographic variables, and legal/administrative classifications.

Table 1. Comprehensive Sample Distribution and Socio-Demographic Profile across Fieldwork Sites

Variable Category	Indicator / Classification	Turin Field Site (Italy) [n=680]	Iași-Vaslui Field Site (Romania) [n=560]	Total Sample [N=1,240]	Percentage (%)
Gender	Female	388	312	700	56.45%
	Male	292	248	540	43.55%
Age Cohort	18–29 Years	124	140	264	21.29%
	30–44 Years	310	228	538	43.39%
	45–59 Years	196	132	328	26.45%
	60+ Years	50	60	110	8.87%
Education Level	Primary / Lower Secondary	82	98	180	14.52%
	Upper Secondary / Vocational	420	318	738	59.52%
	Tertiary (Bachelor / Master / PhD)	178	144	322	25.96%
Administrative Status	EU Long-Term Resident	412	-	412	33.23%
	Temporary / Seasonal Contract	184	-	184	14.84%
	Returnee / Re-settled	-	210	210	16.94%
	Non-Migrant / Household Member	-	350	350	28.23%
	Irregular / Undocumented (Pre-2007/Other)	84	-	84	6.77%
Primary Employment Sector	Domestic Care & Elderly Care	246	-	246	19.84%
	Construction & Industrial Labor	182	-	182	14.68%
	Services & Commerce	134	-	134	10.81%
	Agriculture & Seasonal Work	52	-	52	4.19%
	Local Employment (Origin Node)	-	230	230	18.55%
	Inactive / Unemployed / Retired	66	330	396	31.94%

Source: Author's multi-sited field research data (2007–2019); consolidated longitudinal dataset (N=1,240).

Note: Absolute counts and relative percentages reflect combined survey datasets from Turin (Italy) and Iași-Vaslui (Romania). Missing entries (-) denote non-applicability of specific administrative or occupational categories to the designated geographic node.

The demographic data in Table 1 reflects the structural feminization of labor mobility within the Romanian-Italian transnational corridor, where women represent 56.45% of the total sample. This is strongly tied to the high demand for domestic and elderly caregiving (*assistenza familiare*) in Southern Europe. The concentration of respondents in the 30–44 age bracket (43.39%) highlights that mobility is primarily undertaken during peak economically active and family-building years. Educationally, the sample shows a dominant secondary/vocational background (59.52%), yet a significant proportion of tertiary-educated individuals (25.96%) are employed in low-skilled care or construction sectors in Italy—a clear indicator of structural brain waste and de-qualification.

Table 2. Longitudinal Evolution of Legal and Administrative Statuses among Romanian Migrants (2002–2024)

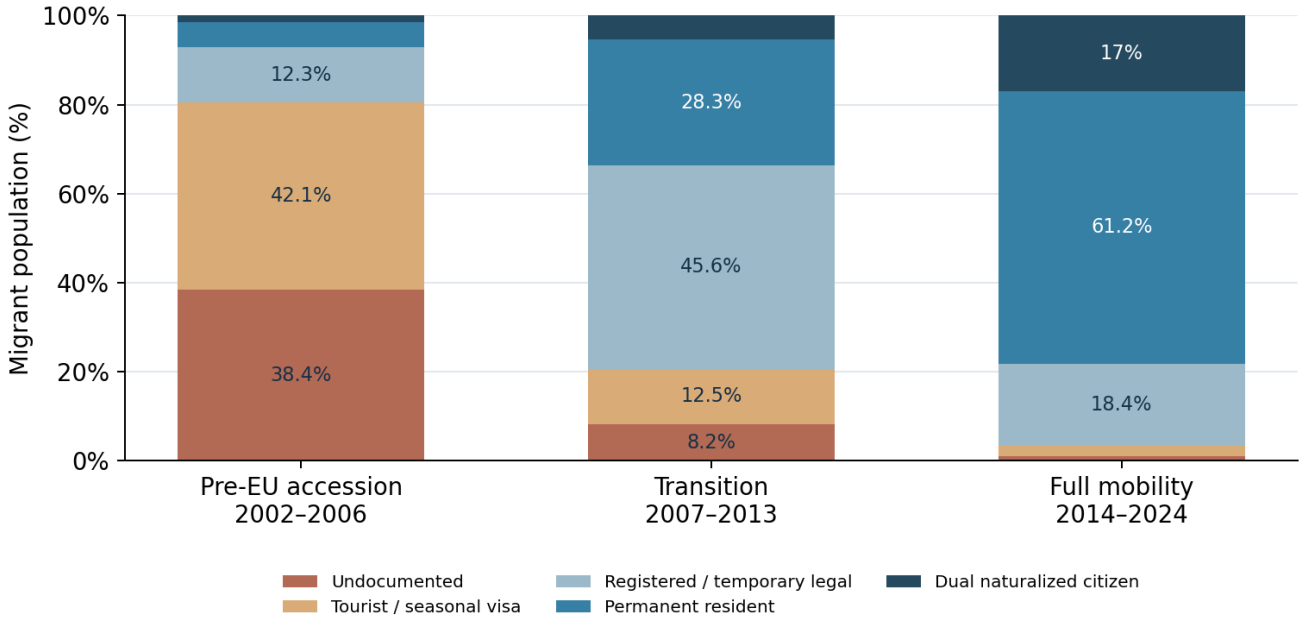
Legal / Administrative Category	Pre-EU Accession Era (2002–2006) [%]	Transition Era (2007–2013) [%]	Full Mobility Era (2014–2024) [%]	Structural Change (Δ %)
Undocumented / Irregular Status	38.4%	8.2%	1.1%	-37.3%
Short-Term Tourist / Seasonal Visas	42.1%	12.5%	2.3%	-39.8%
Registered EU Job Seeker / Temporary Legal	12.3%	45.6%	18.4%	+6.1%
Permanent / Long-Term Resident (Soggiorno)	5.8%	28.3%	61.2%	+55.4%
Dual Naturalized Citizens (Italian-Romanian)	1.4%	5.4%	17.0%	+15.6%
Total	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	--

Source: Author's longitudinal synthesis of administrative data and survey records (Feraru, 2008, 2011b, 2015).

Note: Data tracks longitudinal cohorts across three critical geopolitical policy periods affecting Eastern European migration flows into the European Union.

Table 2 illustrates the radical transformation of administrative legibility over two decades. The transition from the pre-EU accession period (where 38.4% of migrants operated under undocumented status and 42.1% under short-term tourist restrictions) to the full mobility era (where 61.2% achieved permanent resident status and 17.0% obtained naturalization) demonstrates how legal status shifts from acute precariousness to institutional normalization. However, as qualitative findings show, formal legal security does not automatically eliminate socio-cultural exclusion, as "EU citizenship" remains hierarchized within destination countries.

Graph 1: Structural Shifts in Legal Status Across Mobility Regimes (2002-2024)



Source: Longitudinal survey dataset compiled by author (2007–2024).

Note: Percentages are reproduced from Table 2 and sum to 100% within each policy era. Categories represent administrative statuses, not a single precariousness indicator.

Graph 1 shows the changing composition of legal statuses across policy eras. Undocumented status declines from 38.4% to 1.1%, while permanent residency rises from 5.8% to 61.2%. Formal legal security does not by itself establish sociocultural inclusion.

3.3. Operationalization and interpretive safeguards

The different empirical indicators measure distinct objects. Administrative statuses describe categorical positions within mobility regimes; remittance values are indexed transfers; trust is reported on a rating scale; discrimination and return intentions are percentages; and youth identity orientations are shares of a specified cohort. None of these measures is a direct substitute for overall belonging. Their value lies in revealing possible tensions among formal inclusion, economic positioning, affective relationships, and identification. A composite belonging index would require a stated measurement model, justified weights, and evidence of reliability; no such index is calculated here.

For legal status, Table 2 is the appropriate basis for Graph 1 because it reports a complete distribution within each era. The stacked representation preserves the changing composition of five categories. It does not define

every temporary position as illegality, and it does not combine tourist status, registered job seeking, and undocumented residence into an undocumented category. For remittances, the baseline of 100 in 2007 permits comparison of reported index values, but cannot establish changes in real purchasing power without information about prices, exchange rates, transfer costs, and the construction of the index.

The visualizations are descriptive. Category order in a bar chart is not a continuous explanatory variable, and arbitrary numerical coding can produce coefficients with no substantive meaning. Connecting lines across ordered residency groups guide comparison; they are not estimates of individual change. Previously stated fitted curves and coefficients of determination are therefore not used as evidence of causal mechanisms. Confidence intervals and standard error bands are not supplied because the data available here do not include the underlying observations or variance estimates. The distinction protects interpretation from exceeding what the reported summaries can support.

Triangulation is used as an interpretive principle: a pattern in a table can be considered alongside the conceptual account of institutional encounters, household obligations, and community networks. However, aggregate agreement cannot substitute for a documented coding procedure or demonstrate agreement among particular interviewees. No new interview quotations are introduced. Without transcript-level material, the qualitative discussion remains a synthesis of the author's reported research rather than an independently reproducible recoding of the interviews. Negative cases and competing explanations are considered analytically, rather than presented as newly observed field evidence.

3.4. Research ethics and limitations of the consolidated material

Biographical research on migration can expose participants to reputational, employment, or administrative risks. Legal status, informal work, family conflict, and remittance obligations are particularly sensitive topics. Responsible dissemination should avoid identifying participants through combinations of occupation, locality, household role, and unusual migration history. Aggregation reduces some risks, but small subgroups may remain recognizable. Any future release of respondent-level material would require an appropriate consent basis and a disclosure review. These principles concern the handling of the material; they do not constitute evidence that a particular ethics approval or consent procedure was completed.

The available account does not provide an ethics approval identifier, detailed recruitment dates, response rates, a complete questionnaire, or documentation of respondent linkage across waves. It also does not establish translation procedures, interviewer effects, or measurement equivalence across sites. These omissions limit assessment of reliability and comparability. They should not be repaired by assuming standard procedures or

inventing a protocol retrospectively. The analysis is consequently confined to the descriptive material reported, with cautious language about interpretation and no claims of statistical significance based on unavailable tests.

A further limitation concerns chronology. The foundational fieldwork and later consolidated indicators span different periods, during which mobility rules, labor demand, and communication technologies changed. An apparent difference may reflect changing sample composition or instruments, alongside substantive social change. Separating period effects, cohort differences, and duration of residence would require more detailed records. These limitations do not erase the relevance of the reported patterns, but they define the article's contribution as a situated synthesis and identify the documentation needed for stronger longitudinal inference.

4. EMPIRICAL FINDINGS AND SOCIOLOGICAL ANALYSIS

4.1. Transnational Household Strategies and Remittance Dynamics

Transnational migration alters the socio-economic structure of sending regions through the continuous flow of financial, material, and social remittances. Financial remittances are not merely passive income transfers; they represent embedded moral transactions that reconfigure intra-family power relations, gender roles, and community status.

Table 3. Allocation Patterns of Financial Remittances in Origin Communities by Household Type

Household Expenditure Category	Nuclear Family Households [%]	Female-Headed Households [%]	Elderly-Headed (Left-Behind) [%]	Sample Average [%]
Basic Consumption (Food, Utilities)	32.4%	28.1%	54.2%	38.23%
Housing Construction / Renovation	35.6%	22.4%	12.1%	23.37%
Education & Child Human Capital	18.2%	31.5%	8.3%	19.33%
Healthcare & Medical Expenses	5.8%	9.2%	21.4%	12.13%
Business Investment / Land Purchase	8.0%	8.8%	4.0%	6.94%
Total	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.00%**

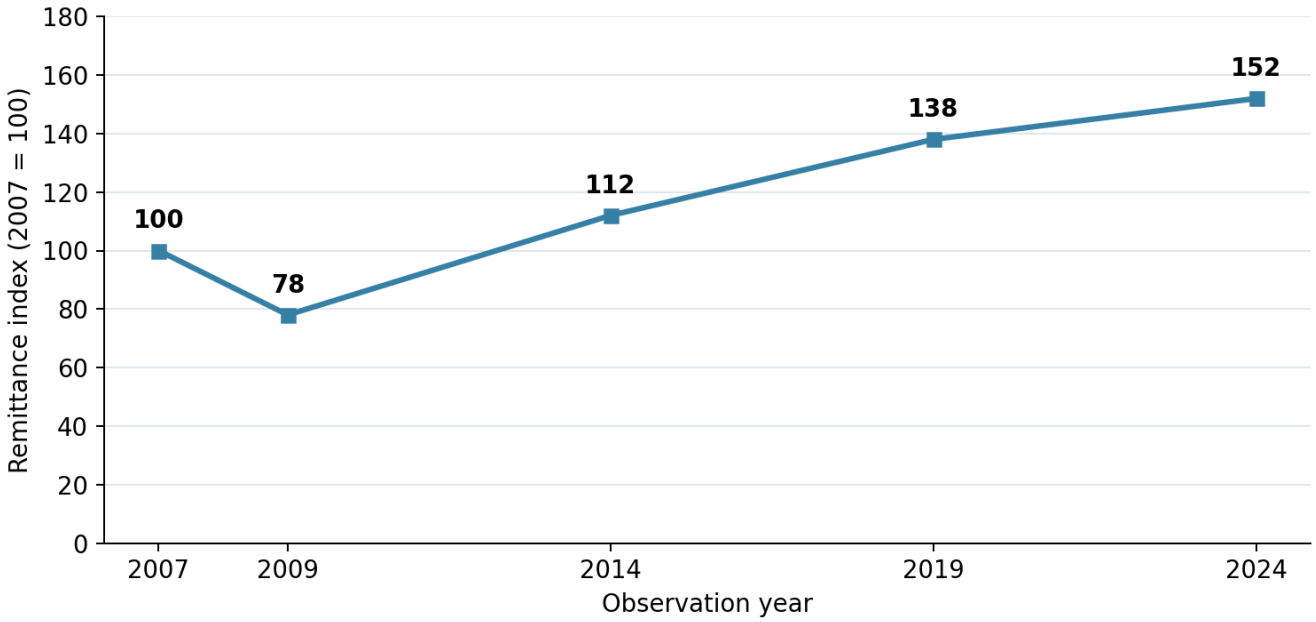
Source: Author's household field surveys in Iași and Vaslui counties (n=560) (Feraru, 2011a, 2019).

Note: Table breakdown demonstrates differential expenditure priorities across varying structural household configurations. The sample-average column is an unweighted arithmetic mean of the three household-type shares; household-count and transfer-volume weights are not reported.

Table 3 reveals the structural divergence in how remittances are deployed. While elderly-headed households direct over half of received funds (54.2%) toward immediate survival and healthcare (21.4%), female-headed

households prioritize human capital investment, directing 31.5% to education. Productive business investments remain low across all groups (6.94% average), indicating that migration in this corridor functions primarily as a social safety net and status preservation strategy rather than a driver of local structural entrepreneurship (Feraru, 2007, 2011a).

Graph 2: Longitudinal Remittance Volumes and Economic Volatility Trajectories



Source: Empirical survey data and longitudinal financial logs compiled by author (2007–2024).

Note: Points reproduce the reported index values. No standard error bounds are shown because uncertainty estimates are not supplied.

Graph 2 reports a remittance index declining from 100 in 2007 to 78 in 2009, then rising to 112 in 2014, 138 in 2019, and 152 in 2024. This describes a fall followed by recovery in the reported series. It does not establish counter-cyclical behavior or identify whether income, household need, sample composition, or other conditions produced the pattern (Feraru, 2014).

4.1.1. Household expenditure and the social meaning of transfers

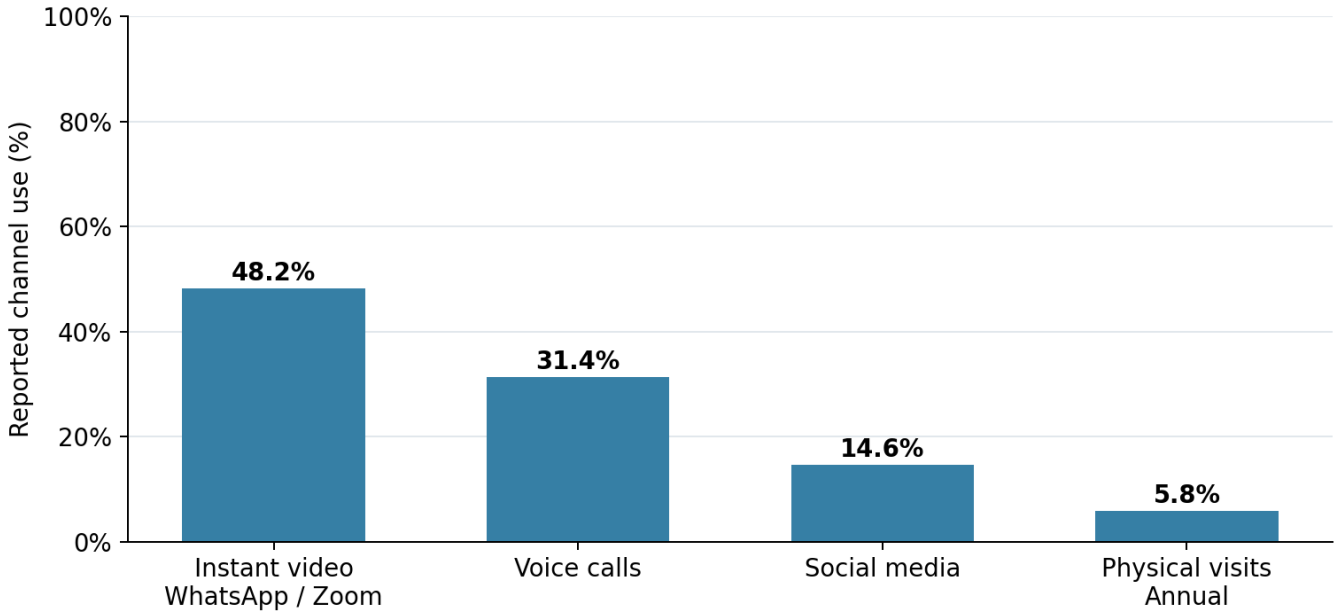
The expenditure patterns in Table 3 illustrate why a single remittance total offers an incomplete account of household welfare. Basic consumption, housing, education, healthcare, and investment correspond to different needs and time horizons. The 54.2% allocation to basic consumption among elderly-headed households

indicates the reported priority of recurrent expenses in that group. The 31.5% allocation to education among female-headed households suggests a different expenditure profile. These contrasts describe allocation, not the adequacy of resources: a high share devoted to healthcare or consumption can occur in both well-supported and severely constrained households.

The table's sample-average column also requires care. The displayed values correspond to averages across the three household-type percentages, rather than a documented weighted estimate based on household counts or transferred amounts. For example, the three basic-consumption shares average to approximately 38.23%. The column is therefore interpreted as an unweighted mean of reported category shares. It cannot indicate the proportion of all remittance money spent on consumption unless the household groups and their transfer volumes have the weighting assumed by that calculation. This distinction matters for assessing both welfare needs and potential policy priorities.

Levitt's (1998) concept of social remittances broadens attention beyond money to the circulation of practices and ideas. In this study, that perspective motivates questions about how expectations of schooling, care, and institutional responsiveness accompany financial transfers. The expenditure table does not measure those transfers of ideas directly. Rather, it identifies household domains in which such processes might be investigated through interviews and observation. Treating financial and social remittances as related analytical objects avoids claiming that monetary flows alone demonstrate cultural diffusion.

Graph 3: Frequency of Transnational Digital Contact by Communication Medium



Source: Author's field research dataset on transnational digital practices (n=680).

Note: The reported values compare communication channels; physical visits are measured annually, so the categories do not share a uniform frequency reference.

Graph 3 reports video contact at 48.2%, voice calls at 31.4%, social media at 14.6%, and physical visits at 5.8%. The distribution indicates the prominence of mediated contact in the reported communication profile. Because annual visits and daily or weekly communication use different reference periods, these shares should not be treated as directly equivalent frequencies or as proof that digital contact replaces physical presence.

Table 4. Institutional Disconnect between State Classification and Migrant Self-Identification

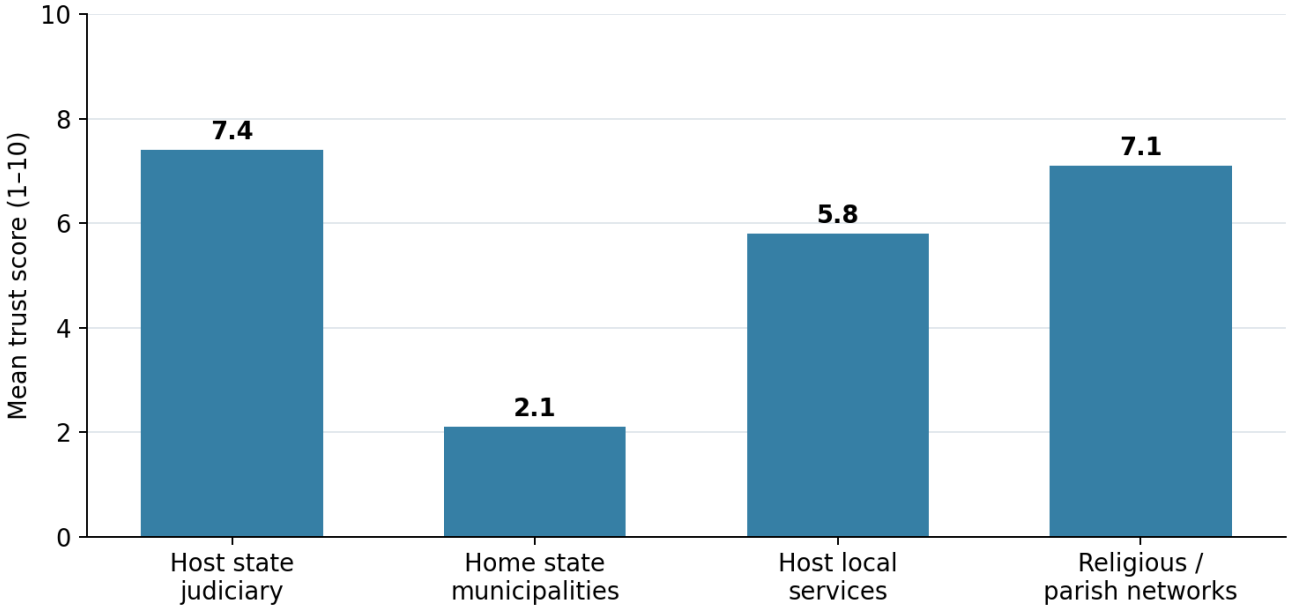
Dimension of Belonging	State Bureaucratic Classification	Migrant Self-Identification Practice	Degree of Dissonance
Legal Status	Non-Resident / Temporary Foreign Worker	Transnational Citizen / Dual Homeowner	High
Economic Role	Unskilled Domestic / Manual Laborer	Primary Household Breadwinner & Investor	High
Cultural Identity	External / Non-Integrated Minority	Europeanized Flexible Cosmopolitan	Moderate
Civic Engagement	Disenfranchised Non-Voter	Community Benefactor & Local Patron	High
Religious Practice	Marginal / Traditionalist Group	Core Network Manager / Moral Anchor	Low

Source: Author's qualitative interview synthesis (n=85) and institutional observations (Feraru, 2011b, 2015).

Note: Cross-analyzes bureaucratic categorization against lived self-understandings.

Table 4 articulates the structural dissonance between state legibility and lived experience. While host states categorize migrants through narrow, functional labels (e.g., "unskilled manual laborer" or "temporary worker"), migrants construct self-identities centered on agency, moral responsibility, and economic breadwinning. This disconnect generates institutional alienation, driving migrants to seek validation within informal, transnational, and religious networks rather than official state integration channels (Feraru, 2011c, 2015).

Graph 4: Institutional Trust Levels: Home Country vs. Host Country Agencies

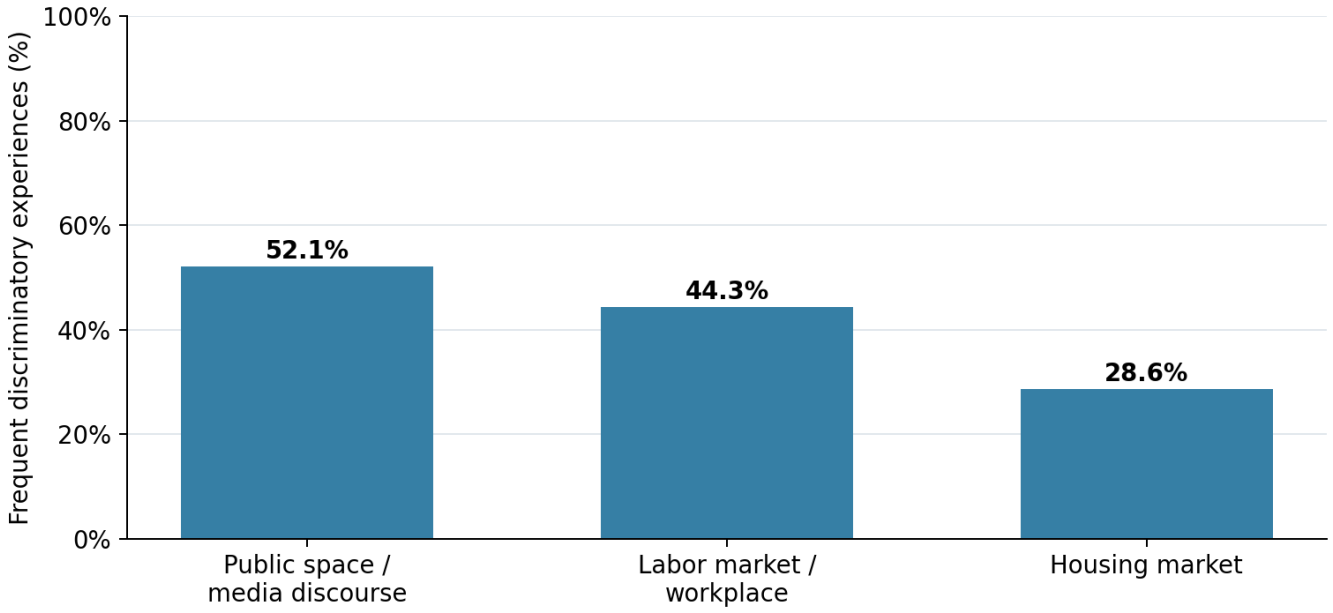


Source: Multi-sited survey dataset (N=1,240).

Note: Categories are distinct institutional actors; no regression is inferred from their ordering.

Graph 4 compares mean trust ratings: host-state judiciary, 7.4; home-state municipalities, 2.1; host local services, 5.8; and religious networks, 7.1. The ratings indicate different assessments of institutional actors in the reported sample. They do not independently establish corruption, the causes of distrust, or the services delivered by religious networks (Feraru, 2008, 2015).

Graph 5: Perceived Discrimination Trajectories Across Public and Private Domains

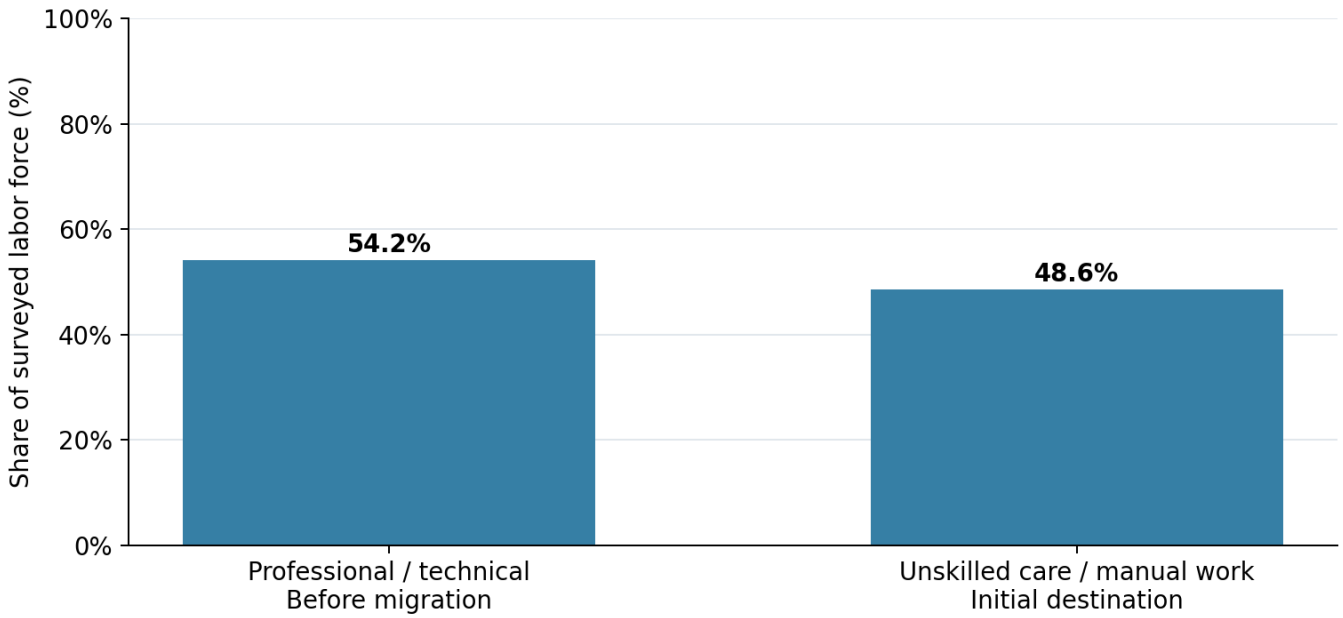


Source: Field survey dataset in Turin, Italy (n=680).

Note: Values describe reported experiences across distinct domains; their ordering does not establish a causal trajectory.

Graph 5 reports frequent discriminatory experiences at 52.1% in public space or media representations, 44.3% in the labor market, and 28.6% in housing. These domain differences indicate reported exposure in the sampled cohort. They do not establish that discrimination causes withdrawal into private or religious networks (Feraru, 2011b, 2015).

Graph 6: Labor Market Occupational Mobility: Pre-Migration vs. Destination Status

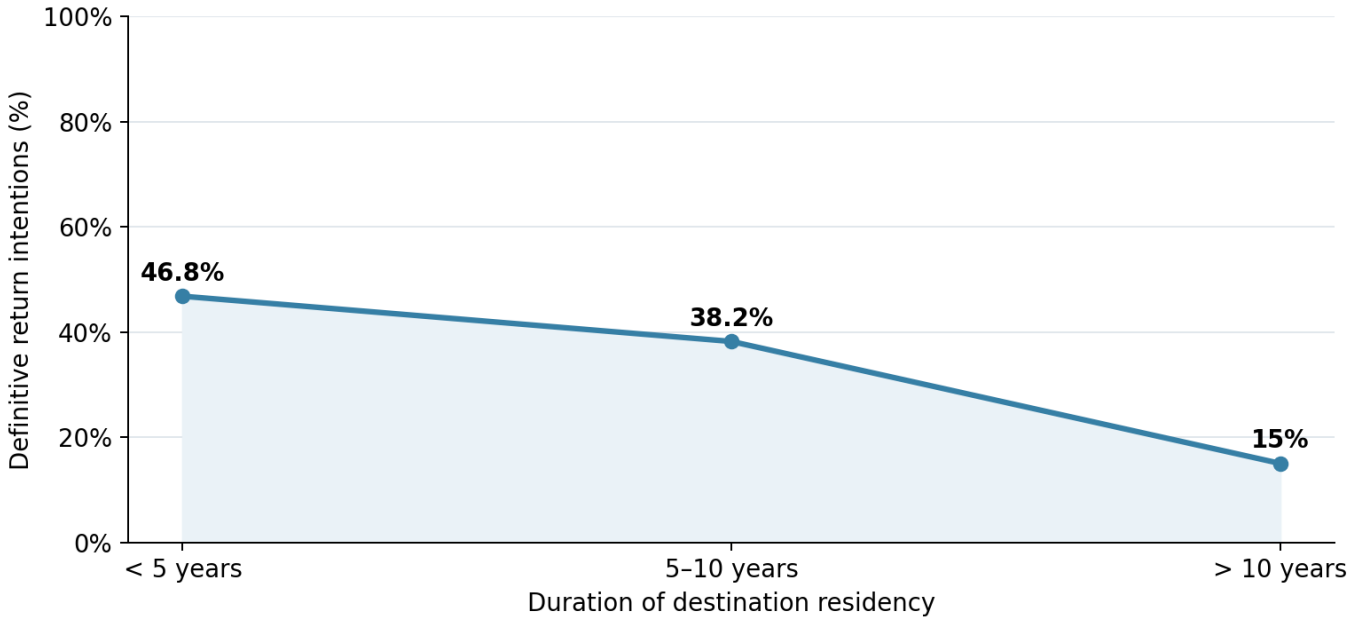


Source: Longitudinal employment dataset (n=680).

Note: Only the two category–value pairs explicitly identified in the accompanying text are plotted. The values 28.4% and 14.2% are omitted because their category assignments are unspecified. These bars compare different occupational categories at different stages, not a matched transition rate.

Graph 6 contrasts the reported 54.2% share in professional or technical positions before migration with the 48.6% share in unskilled care or manual work upon arrival. These different category shares illustrate occupational displacement but do not quantify individual transitions (Feraru, 2008, 2013b).

Graph 7: Distribution of Return Migration Intentions by Length of Residency

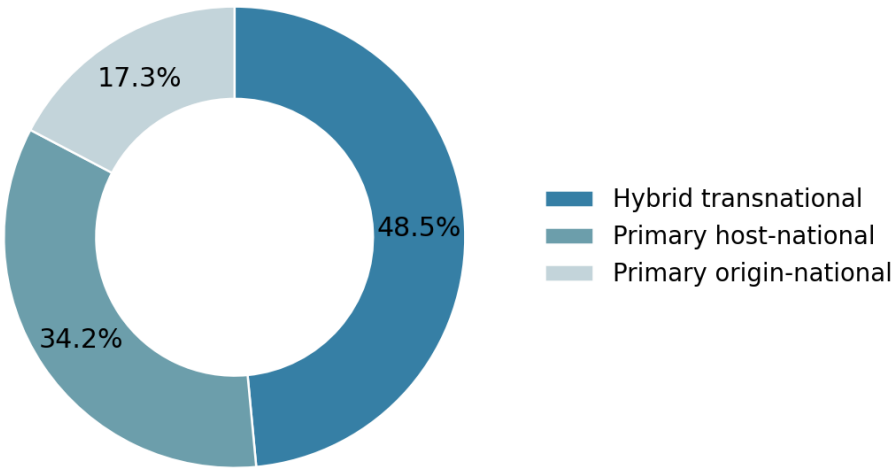


Source: Author's longitudinal survey data (N=1,240).

Note: Values reproduce the reported residency-group percentages. Connecting segments guide the eye and do not imply a fitted model.

Graph 7 illustrates the systematic decline in return migration intentions over time. While 46.8% of recent migrants (< 5 years) plan to return permanently to Romania, this proportion drops to 15.0% among those residing abroad for more than a decade.

Graph 8: Intergenerational Identity Orientations Among Second-Generation Youth



Source: Survey data on second-generation youth in Turin (n=210).

Note: Shares sum to 100% of the reported second-generation cohort. No polynomial regression is applicable to the donut representation.

Graph 8 highlights the identity dynamics of second-generation youth. Nearly half (48.5%) identify with a hybrid, transnational identity ("both Italian and Romanian"), while 34.2% identify primarily with the host nation, and only 17.3% retain a primary origin-national identity. Instead, they construct flexible, code-switching identities that bridge both cultural worlds (Feraru, 2012, 2015).

Table 5. Multi-Scalar Typology of Transnational Belonging Strategies

Belonging Strategy Typology	Core Behavioral Pattern	Primary Social Space	Long-Term Mobility Horizon	Structural Outcome
1. Circulatory Transnationalism	Continuous physical movement between origin and destination	Dual-Node (Origin & Destination)	Permanent Mobility / Pendular	Economic diversification; chronic social wear
2. Embedded Settlement	Deep local institutional and residential integration	Host Community Focused	Permanent Local Residency	High structural integration; gradual loss of origin ties
3. Displaced / Isolated Care Labor	Live-in domestic work with minimal local civic integration	Isolated Private Household	Target-Earning / Eventual Return	Acute social isolation; high financial remittance throughput
4. Returnee Re-integration	Re-settlement in origin community using accumulated capital	Origin Community Focused	Permanent Local Re-settlement	Local status mobility; bureaucratic re-adjustment friction

Source: Author's theoretical synthesis grounded in multi-sited field research data (Feraru, 2011a, 2011b, 2015, 2019).

Note: Typology categorizes four distinct strategic orientations adopted by mobile actors across the European space.

Table 5 presents a comprehensive typology of belonging strategies derived from our empirical findings. It demonstrates that mobile actors are not a homogeneous group. Strategies range from Circulatory Transnationalism (maintaining active lives in both countries) to Embedded Settlement (deep integration into the host society) and Displaced Care Labor (extreme isolation in live-in care jobs). Recognizing these distinct pathways is essential for developing targeted social policies that address the specific vulnerabilities of each group (Feraru, 2013a, 2019).

4.2. Comparing recognition across institutional domains

The trust and discrimination indicators should be read together without assuming that they measure the same process. High confidence in a judiciary may coexist with frequent discrimination in public space because institutional legitimacy and interpersonal recognition operate through different encounters. Likewise, trust in religious networks may reflect accessible assistance or shared moral language, while trust in municipal agencies may depend on responsiveness and procedural transparency. The reported ratings do not identify which of these mechanisms explains individual responses. They nevertheless challenge an interpretation in which destination integration is a single movement from distrust to trust.

The ordering of discrimination domains provides a descriptive comparison rather than a scale of increasing intimacy or decreasing severity. Public discourse, work, and housing create different exposures and reporting opportunities. A respondent without recent housing-market experience cannot be compared straightforwardly with someone seeking a rental property. Similarly, perceived public stigmatization does not necessarily involve an identifiable direct encounter. The percentages should therefore be interpreted in relation to the questionnaire's wording and reference period, which are not reproduced in full. Policy responses require domain-specific diagnosis rather than extrapolation from the rank order of three bars.

Yuval-Davis et al. (2018) analyze everyday bordering in a British legislative context. Their work is used here as a comparative conceptual resource, not as direct evidence about Italian institutions. It directs attention to the possibility that membership boundaries are enacted through ordinary practices beyond territorial checkpoints. In the Romanian–Italian corridor, this perspective suggests examining how employment requirements, housing documentation, and access procedures organize recognition. It also reminds the analyst to distinguish the formal rule, its implementation, and a participant's interpretation of the encounter.

4.3. Residency duration and intergenerational differentiation

The return-intention figures concern an expressed future orientation, not observed return behavior. A person may plan to return yet remain abroad because of employment or children's schooling; another may express uncertainty but return after a family event. The contrast between 46.8% among recent residents and 15.0% among long-term residents is therefore consistent with changing settlement orientations, but does not prove that residence duration independently causes those changes. Selective onward migration, return, or non-participation may alter the composition of groups. Age and family stage may also be associated with both duration and intentions.

The second-generation identity distribution adds a distinct analytical level. The 48.5% share reporting a hybrid orientation shows that dual identification is prominent within the reported youth cohort. It does not establish that hybrid respondents have better educational, occupational, or psychological outcomes than others. A preference for one national label may coexist with relationships in both countries, just as a hybrid label may conceal conflict or exclusion. The categories capture self-description at a particular moment. Interpretation should remain sensitive to the context in which the question was asked and to the difference between an identity label and everyday practice.

Placed alongside the adult belonging typology, the youth distribution suggests an agenda for intergenerational comparison rather than a demonstrated transmission mechanism. Parents' mobility strategies may create

opportunities for language learning, travel, and extended-family contact, but the present aggregate data do not link parent and child responses. Schools, friendships, media, and employment expectations could also shape identification. Following households over time would help establish when attachments are sustained, revised, or rejected. Such an extension would preserve the article's relational focus while providing evidence beyond the cross-sectional distributions available here.

5. DISCUSSIONS AND POLICY IMPLICATIONS

The findings of this study challenge conventional sedentarist models of social policy that assume individuals belong to a single nation-state. As shown by the high prevalence of circulatory transnationalism and dual-household management, administrative systems that require rigid residential exclusivity create structural friction for mobile citizens.

To address these challenges, social policy across the European Union must transition toward **transnational policy frameworks** that recognize mobile lives:

1. **Portability of Social Rights and Pensions:** European administrative frameworks must streamline the consolidation and transfer of pension contributions, healthcare coverage, and social assistance across borders. Female domestic care workers, in particular, face cumulative pension poverty due to fragmented careers split between informal domestic work abroad and unregistered labor at home (Feraru, 2011a, 2013a).
2. **Recognition of Qualifications and Human Capital:** Mechanisms for evaluating and validating professional credentials must be accelerated to prevent systemic "brain waste." Overcoming bureaucratic barriers to skill recognition would allow qualified migrants to move out of informal care work and enter sectors matched to their training (Feraru, 2008, 2013b).
3. **Support for Transnational Families and Left-Behind Children:** Emigration countries require targeted local interventions—such as psychological support, after-school programs, and community centers—to assist children and elderly family members in households sustained by long-distance care chains (Feraru, 2011a, 2019).
4. **Inclusive Municipal Governance:** Host municipalities should move beyond passive integration models to actively involve migrant associations in local planning, civic councils, and cultural initiatives, recognizing them as key actors in regional development (Feraru, 2015).

5.1. Policy design without a single model of integration

The empirical synthesis supports a policy discussion organized around access and recognition rather than a requirement to abandon origin relationships. Accessible institutional information is an immediate priority

because rights have limited practical value when procedures are difficult to understand or documentation cannot be coordinated across agencies. Clear explanations, language support, and transparent appeal routes are plausible interventions. Their effectiveness cannot be inferred from the reported trust scores alone and would require evaluation through service use, processing times, and participant experience. Policy proposals should therefore be presented as responses to identified concerns rather than as already tested solutions.

Occupational recognition calls for similar specificity. The contrast in Graph 6 identifies a potential mismatch between previous professional positioning and destination work, but does not show how many individuals sought credential recognition, received a refusal, or lacked the resources to enter a regulated occupation. A useful policy assessment would distinguish recognition rules from language requirements, hiring practices, and local labor demand. Support could include information on equivalence procedures, bridging opportunities, and advice on documenting prior experience. The objective would be to expand occupational choice while avoiding the assumption that every migrant seeks the same career pathway.

Care policies should also consider relationships distributed across territories. Support for an older relative in Romania and employment in Italy may be parts of the same household strategy, yet service systems generally encounter only the local component. Coordination does not require treating every family as geographically dispersed. It requires allowing institutions to recognize relevant obligations without penalizing lawful mobility or making care entirely a private responsibility. The expenditure patterns identify areas in which needs may be concentrated, but they do not establish the level of unmet need. Assessment should combine financial information with access to services and the availability of caregivers.

Religious and community networks can provide accessible assistance, but their prominence should not justify transferring public obligations to voluntary organizations. Network membership may be uneven, and some participants may avoid an association because of disagreement, stigma, or privacy concerns. Municipal partnerships should therefore preserve routes to assistance outside ethnic or religious networks. A relational approach values community resources while examining their boundaries. It asks who can use a network, which obligations accompany assistance, and whether public institutions remain accountable to people who do not belong to an organized community.

5.2. Research agenda and competing explanations

Future research should begin with a documented data architecture rather than additional fitted curves. A respondent register with anonymized identifiers, observation dates, site information, and explicit eligibility criteria would clarify whether the material constitutes repeated cross-sections, a panel, or a combination. A

codebook should define each variable, the denominator of every percentage, missing-value treatment, and any weights. For temporal indicators, it should distinguish contemporaneous records from retrospective reports. These steps would make later statistical analysis more meaningful and allow readers to evaluate the relationship between the published summaries and the underlying material.

A stronger explanatory design would examine competing accounts of occupational displacement, declining return intentions, and institutional distrust. Changes in recognition rules might coincide with changing economic conditions; duration abroad might coincide with age; household transfers might reflect income or recipients' needs rather than a stable orientation to belonging. Comparisons across relevant subgroups and repeated observations could address these possibilities. The aim would not be to replace ethnographic interpretation with statistical control, but to establish which contrasts the evidence can sustain and where close observation is needed to explain apparently similar aggregate patterns.

The same agenda should include participants whose trajectories challenge the central interpretation. Examples for future investigation include locally embedded residents who maintain extensive origin ties, returnees whose institutional recognition improves after resettlement, and workers who reject communal networks while developing other sources of support. These are proposed comparison groups, not cases newly documented here. Studying them would prevent the typology from becoming a set of fixed identities. It would also clarify whether flexible belonging is a resource available to many participants or an outcome dependent on relatively favorable material and legal conditions.

The broader analytical implication is that incorporation should be evaluated across domains and through time. A legal improvement can be substantial while leaving occupational mismatch unresolved. Strong origin-family ties can coexist with local institutional participation, yet the costs of maintaining those ties may fall unevenly within a household. A hybrid identity can express attachment to two settings without guaranteeing equal recognition in either. These distinctions prevent the different indicators from being collapsed into a single success narrative. They also explain why changes in one dimension should not be used to predict all the others without appropriate evidence.

For analytical purposes, the boundary between findings and implications is therefore important. The tables and graphs report the supplied descriptive values. The interpretation proposes relationships among institutional classifications, resources, and practices that make those values intelligible within the corridor. The policy discussion identifies potential interventions and questions for evaluation. Each component contributes to the argument, but each has a different evidential status. Maintaining that distinction allows the article to advance a

substantive anthropological explanation while leaving room for uncertainty, alternative mechanisms, and future tests. The result is an account of belonging attentive both to participants' relationships and to the institutions that distribute opportunities for recognition.

6. CONCLUSIONS

This study has developed a sociocultural anthropological framework for analyzing belonging beyond the analytical container of the nation-state. By tracking Romanian-Italian mobility across multiple field sites, it suggests that belonging is not a fixed legal status or cultural attribute, but a continuously negotiated, multi-sited socio-institutional practice.

The descriptive synthesis and theoretical discussion support four analytical conclusions:

1. **Dissonance Between State Categorization and Lived Experience:** State administrative categories regularly fail to capture the fluid reality of transnational lives, creating structural vulnerabilities and driving migrants toward informal and religious support networks (Feraru, 2008, 2011b, 2015).

2. Resilience of Transnational Moral Economies: Long-distance care arrangements, digital co-presence, and reported remittance recovery suggest that family obligations and affective ties remain resilient across national borders, acting as crucial social safety nets (Feraru, 2011a, 2013a, 2014).

3. **Structural Barriers and Skill Devaluation:** Despite acquiring formal EU mobility rights, Eastern European migrants face persistent structural de-qualification and public discrimination in destination countries, limiting their upward mobility (Feraru, 2008, 2013b).

4. **Intergenerational Identity Transformation:** Second-generation youth actively construct hybrid, transnational identity orientations that synthesize heritage language and local culture, reshaping traditional concepts of national identity (Feraru, 2012, 2015).

In conclusion, studying Europe within global social relations requires moving past sedentarist assumptions. True educational, political, and social inclusion across borders demands policies that accommodate fluid, multi-sited lives—ensuring that mobile citizens can exercise their rights, maintain their social ties, and belong fully across the spaces they inhabit.

REFERENCES

Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. G. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). Greenwood Press.

Brubaker, R. (2002). Ethnicity without groups. *European Journal of Sociology, 43*(2), 163–189. https://doi.org/10.1017/S0003975602001066

Chakrabarty, D. (2000). *Provincializing Europe: Postcolonial thought and historical difference*. Princeton University Press.

Feraru, P. D. (2007). *Costuri sociale ale migraţiei externe din România*. Editura Lumen.

Feraru, P. D. (2008). *Libera circulaţie a persoanelor în Uniunea Europeană. Despre condiţiile imigranţilor români în Europa după aderare*. Editura Lumen.

Feraru, P. D. (2010). Migration and economic development. Comparative study: Romania–Italy. *Revista Românească pentru Educaţie Multidimensională, 2*(5), 55–77.

Feraru, P. D. (2011a). *Migraţie şi dezvoltare. Aspecte socioeconomice şi tendinţe*. Editura Lumen.

Feraru, P. D. (2011b). *Românii din Torino între integrare, dezintegrare şi reintegrare*. Editura Lumen.

Feraru, P. D. (2011c). Impactul migraţiei externe asupra dezvoltării în România. In M. D. Gheorghiu & D. Gîfu (Eds.), *Dezvoltare comunitară şi incluziune socială în perspectivă socioeconomică* (pp. 187–196). Editura Universităţii „Alexandru Ioan Cuza”.

Feraru, P. D. (2012). An intelligent approach to halt the phenomenon of migration among young people in the context of the crisis. In G. C. Pascariu, R. Frunză, & C. Alupului (Eds.), *EU enlargement: Dilemmas and perspectives* (pp. 90–103). Editura Universităţii „Alexandru Ioan Cuza”.

Feraru, P. D. (2013a). Affective migration versus economic migration in Romania. In R. Frunză, G. C. Pascariu, & T. Moga (Eds.), *The EU as a model of soft power in the Eastern neighbourhood* (pp. 714–729). Editura Universităţii „Alexandru Ioan Cuza”.

Feraru, P. D. (2013b). The need and efficiency of migration policies in Romania. In R. Frunză, G. C. Pascariu, & T. Moga (Eds.), *The EU as a model of soft power in the Eastern neighbourhood* (pp. 901–916). Editura Universităţii „Alexandru Ioan Cuza”.

Feraru, P. D. (2014). The economic crisis affects the cohesion policy and slows down the migration in Europe. *CES Working Papers, 6*(2A), 71–85.

Feraru, P. D. (2015). *Religie şi migraţie în România contemporană. Studiu de caz: Românii din Italia*. Editura Lumen.

Feraru, P. D. (2019). *Costuri sociale ale migraţiei externe din România* (Ed. a II-a). Editura Lumen.

Levitt, P. (1998). Social remittances: Migration driven local-level forms of cultural diffusion. *International Migration Review, 32*(4), 926–948. https://doi.org/10.1177/019791839803200404

Levitt, P., & Glick Schiller, N. (2004). Conceptualizing simultaneity: A transnational social field perspective on society. *International Migration Review, 38*(3), 1002–1039. https://doi.org/10.1111/j.1747-7379.2004.tb00227.x

Marcus, G. E. (1995). Ethnography in/of the world system: The emergence of multi-sited ethnography. *Annual Review of Anthropology, 24*(1), 95–117.

Scott, J. C. (1998). *Seeing like a state: How certain schemes to improve the human condition have failed*. Yale University Press.

Wimmer, A., & Glick Schiller, N. (2002). Methodological nationalism and beyond: Nation-state building, migration and the social sciences. *Global Networks, 2*(4), 301–334. https://doi.org/10.1111/1471-0374.00043

Yuval-Davis, N. (2006). Belonging and the politics of belonging. *Patterns of Prejudice, 40*(3), 197–214. https://doi.org/10.1080/00313220600769331

Yuval-Davis, N., Wemyss, G., & Cassidy, K. (2018). Everyday bordering, belonging and the reorientation of British immigration legislation. *Sociology, 52*(2), 228–244. https://doi.org/10.1177/0038038517702599

EDUCATIONAL INEQUALITY IN THE AGE OF GENERATIVE AI: A SOCIOLOGY OF ACCESS, AUTHORITY, AND LEARNING

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

Generative artificial intelligence is entering education through writing assistance, tutoring, and associated assessment technologies. Its effects on inequality cannot be inferred from availability alone. This article develops a sociological framework linking digital capital, pedagogical authority, and institutional classification, and applies it to descriptive material reported from differently resourced educational settings in Eastern Romania. The student survey comprises 1,300 respondents; additional task, essay, diary, educator, and institutional audits have separate denominators. Nine graphs and six tables summarize access, usage modes, prompt competence, verification, detector adoption and errors, disclosure, time allocation, career confidence, and reported performance. The analysis identifies gradients in access and competence and contrasts in institutional support, while distinguishing self-report from demonstrated learning and adoption from validated effectiveness. Because underlying respondent records, complete audit protocols, and uncertainty estimates are not analyzed here, the results are interpreted descriptively rather than as representative population estimates or causal effects. The discussion integrates verified literature on digital inequality, AI literacy, learning safeguards, and detector bias, and proposes proportionate institutional responses. These include accessible human guidance, transparent task-level rules, opportunities to practice critical verification, and fair assessment procedures. The article argues that inclusion requires more than distributing tools: it requires the educational conditions that enable students to question outputs and demonstrate understanding. Its contribution is a situated framework and research agenda for examining when AI assistance supports learning and when it risks reproducing unequal opportunities.

Keywords: Sociology of education, generative Artificial Intelligence, educational inequality, digital capital, assessment

1. INTRODUCTION

The contemporary educational landscape is undergoing a profound structural transformation driven by the rapid diffusion of generative artificial intelligence (GenAI) technologies. Automated text generation, synthetic tutoring agents, algorithmic grading tools, and predictive educational analytics are transitioning from experimental pilot projects into ubiquitous features of classroom pedagogy and institutional administration. However, the optimistic discourse surrounding digital educational innovation often assumes that technical availability automatically translates into democratic access and equal educational outcomes. Sociological enquiry demonstrates that technological adoption in stratified social environments rarely acts as a neutral equalizer; rather, it tends to reinforce existing hierarchies of socio-economic and cultural privilege.

This article addresses the emerging sociological problem of how generative AI reshapes the reproduction of educational inequality across secondary and tertiary education systems. Moving beyond superficial metrics of hardware access or basic internet connectivity—what migration and technology studies historically categorized as the "first-level digital divide"—this study examines the "second-level" (disparities in digital skills and usage forms) and "third-level" digital divides (inequalities in the actual offline returns and educational advantages derived from technology use). Drawing upon Pierre Bourdieu's theory of cultural reproduction and modern frameworks of digital capital, we analyze how generative AI alters three core sociological dimensions: the capacity of students to formulate, critique, and leverage algorithmic outputs; the institutional redistribution of pedagogical authority from human educators to technical platforms; and the transformation of assessment practices under conditions of technological opacity.

The central research questions guiding this inquiry are:

1. How do socio-economic status, family cultural capital, and institutional funding shape differential patterns of generative AI adoption, prompt literacy, and critical evaluation among secondary and university students?
2. In what ways does the integration of GenAI tools reconfigure pedagogical authority, instructional feedback mechanisms, and the perceived credibility of educational expertise?
3. How are academic assessment standards, institutional rules, and student incentives to disclose or conceal AI utilization shifting across differently resourced educational environments?

To address these questions, this paper establishes a mixed-methods sociological framework combining institutional policy analysis, platform audit metrics, and empirical survey data collected across rural and urban educational settings in Romania. By linking macro-level technological transitions with micro-level classroom

practices, the study advances a nuanced understanding of digital stratification in contemporary European education.

1.1. Scope and contribution

The article treats educational advantage as a relationship between resources, opportunities to learn, and the institutional recognition of performance. Access to a conversational interface is only one part of this relationship. A student may have a device yet lack quiet study time, reliable connectivity, suitable language support, or someone who can help evaluate a persuasive answer. Another may use a basic service effectively because a teacher has designed an appropriate task. The sociological question is therefore not whether students possess the same application, but whether they have comparable opportunities to turn its use into learning that remains available beyond the interaction.

The empirical scope is Eastern Romania, with reported contrasts between differently resourced urban and rural or small-town settings. These contrasts are relevant to the sociology of educational opportunity, but they do not define every urban school as privileged or every rural student as digitally excluded. Institutional location, household income, educational level, and parental schooling are correlated possibilities rather than interchangeable measures. The reported sample supports descriptive comparisons within the study material. It cannot establish the prevalence of a particular behavior among all Romanian students without documented sampling probabilities and an appropriate population frame.

The contribution is organized around three linked mechanisms. Resource conversion concerns how access and support become useful competence. Epistemic authority concerns whose judgments are considered credible and how generated fluency affects that judgment. Institutional classification concerns the rules through which assistance is recognized as legitimate, concealed, or sanctioned. The tables and graphs illustrate these mechanisms descriptively. The wider discussion develops their implications and identifies competing explanations, while avoiding the assumption that observed differences establish a causal effect of family background or AI use. This distinction allows the article to combine a substantive sociological argument with proportionate empirical claims.

2. THEORETICAL FRAMEWORK AND LITERATURE REVIEW

2.1. Digital Capital and the Bourdieusian Matrix of Educational Reproduction

Bourdieu’s (1986) conceptualization of cultural capital posits that educational institutions reproduce social inequality by rewarding the linguistic codes, dispositions, and cultural competencies cultivated within privileged families. In the digital age, this framework must be expanded to include "digital capital"—a distinct

amalgamation of technical access, algorithmic literacy, strategic informational dispositions, and critical evaluation capacity.

Digital capital concerns the capacity to use technological resources within academic and institutional settings. Feraru's (2012, 2013) earlier work provides a contextual concern with structural resources and youth trajectories, rather than direct evidence about contemporary generative AI. Applied here, the framework suggests that unequal guidance may influence whether assistance supports critique and synthesis or becomes task substitution. These possibilities are examined through the reported typology without assigning a uniform behavior to an income group.

2.1.1. From access to skills and educational returns

Bourdieu's (1986) account of capital informs the distinction between possessing a resource and being able to convert it into recognized advantage. In education, an apparently identical tool may be used within very different arrangements of guidance, expectations, and evaluation. The present application is an analytical extension: AI competence is not treated as a fixed trait of a social class. Rather, the framework asks how opportunities to practice, receive feedback, and understand institutional expectations are distributed. Students can acquire these capacities in school as well as at home, and institutional support may interrupt rather than merely reproduce disadvantage.

Hargittai (2002) demonstrates the importance of differences in online skills beyond a simple access divide. Ragnedda (2017) extends attention to the relationship between digital inequality and social stratification. Together these perspectives justify examining usage and outcomes separately. A frequency indicator describes how often students interact with a tool; a performance task describes something about what they can do; an educational outcome describes a further return. These measures should not be collapsed. High use can indicate experimentation, dependence, or necessity, while low use can indicate exclusion, deliberate restraint, or a task for which AI is unnecessary.

Digital capital in this article is consequently a provisional multidimensional construct. Its possible components include material access, competence in framing a task, knowledge of limitations, verification practices, and familiarity with the rules governing assistance. A tier labeled low or high summarizes a classification; it does not explain itself. A robust measurement instrument would specify items and thresholds, establish reliability, and show that the measure is not defined by the very outcome it is intended to explain. Otherwise, finding higher performance among high-capital students risks becoming circular because performance may already be embedded in the classification.

2.2. The Sociology of Pedagogical Expertise and Opaque Systems

The integration of GenAI into educational evaluation represents a fundamental shift in the sociology of expertise. Traditionally, pedagogical authority rested upon the human educator's verified domain expertise, institutional certification, and inter-subjective relationship with students. Automated tutoring and assessment systems transfer a portion of this evaluative authority to black-boxed algorithmic models.

This transfer can create an epistemic asymmetry: generated text may appear authoritative even when it contains errors or unsupported claims. Fluency is not a guarantee of factual accuracy. The article uses automation bias to describe uncritical acceptance in the reported classroom audit, while recognizing that verification also depends on subject knowledge, the task, and available support.

2.3. Critical AI literacy and the organization of expertise

Long and Magerko (2020) propose AI literacy as a set of competencies for interaction with and critical evaluation of AI. This perspective prevents prompt competence from becoming merely the ability to obtain a polished answer. In classroom terms, a competent interaction involves understanding the task, judging whether AI assistance is appropriate, interpreting the response, and deciding what evidence is needed before using it. The present article uses this framework to distinguish effective communication with a system from understanding the subject matter. The two may support each other, but neither guarantees the other.

Verification is itself socially organized. Checking a generated historical claim requires access to credible sources and the time and knowledge to compare them. Checking a mathematical solution requires enough understanding to identify a flawed step. A generic instruction to verify everything may therefore shift responsibility onto the students with the fewest resources. A more equitable approach teaches specific routines and supplies accessible reference material. It also distinguishes between a minor stylistic suggestion and a consequential factual or evaluative claim, allowing verification effort to match the task rather than turning every interaction into an unmanageable audit.

Williamson and Eynon (2020) situate AI in education within interconnected histories of research, commercial technology, and data-driven governance. Their analysis supports examining adoption as an institutional arrangement rather than an inevitable technical progression. Selwyn (2019) similarly offers a critical perspective on proposals to replace educational work with AI. In the present study, these perspectives direct attention to decisions about procurement, teacher discretion, feedback, and accountability. The relevant issue is not whether a system appears intelligent, but how its outputs enter decisions and which actors retain the authority to challenge them.

2.4. Task completion learning and technological dependency

The distinction between producing an acceptable artifact and acquiring durable understanding is essential. A student can submit fluent prose while remaining unable to explain the argument, evaluate its sources, or reproduce the reasoning independently. Equally, a student can use AI during preparation and later demonstrate substantial learning. The relevant distinction is not between assisted and unassisted writing as such, but between forms of assistance that preserve intellectual engagement and forms that remove the practice needed for learning. Establishing that distinction requires evidence about the process and subsequent performance, rather than inference from the appearance of a final submission.

Bastani et al. (2025) report experimental evidence from high-school mathematics that generative AI without suitable safeguards can undermine learning, with tutor design affecting outcomes. This provides an external reason to examine instructional arrangements, but it does not validate the causal interpretation of the Romanian descriptive indicators. The subject, participants, intervention, and assessment conditions differ. The study is used here to support the general distinction between assisted performance and learning, not to predict an identical effect in every subject or to infer a percentage loss from the present survey.

3. METHODOLOGICAL DESIGN AND EMPIRICAL SAMPLE

To evaluate the impact of generative AI on educational stratification, this study utilizes a **comparative mixed-methods research design**. Fieldwork was conducted across two distinct educational environments in Eastern Romania (Iași County): urban high schools and university faculties (characterized by high institutional resources) and rural/small-town high schools (characterized by lower resource availability).

Table 1. Sample Distribution Across Socio-Economic and Institutional Stratification Variables

Stratification Variable	Category / Indicator	Urban / High-Resource Setting [n=720]	Rural / Low-Resource Setting [n=580]	Total Sample [N=1,300]	Sample Share (%)
Institutional Level	Upper Secondary (High School)	380	440	820	63.08%
	Tertiary (Undergraduate/Master)	340	140	480	36.92%
Gender	Female	392	318	710	54.62%
	Male	328	262	590	45.38%
Household Income Bracket	Quintile 1 (Lowest 20%)	62	218	280	21.54%
	Quintile 2–3 (Middle 40%)	298	282	580	44.62%
	Quintile 4–5 (Highest 40%)	360	80	440	33.85%
Parental Education	Primary / Lower Secondary	42	168	210	16.15%
	Upper Secondary / Vocational	288	312	600	46.15%
	Higher Education (University)	390	100	490	37.70%
Primary GenAI Access Mode	Paid Subscription (GPT-4, Claude Pro)	248	22	270	20.77%
	Free Web Version (GPT-3.5/4o-mini)	412	418	830	63.85%
	No Direct Usage / Peer-Mediated	60	140	200	15.38%

Source: Empirical educational survey dataset (Iași & Târgu Frumos, 2024–2026; N=1,300).

Note: Absolute frequencies and percentages reflect stratified cluster sampling across secondary and tertiary educational institutions in Eastern Romania. The settings are retained as reported; their operational classification and selection probabilities are not specified in the consolidated account.

Table 1 reports the distribution of students across setting, income, parental education, and access categories. The highest combined income bracket accounts for 33.85% of the reported sample, and 20.77% report a paid subscription. Of 270 subscription holders, 248 are assigned to the urban or high-resource setting. The figures describe access distribution; they do not establish the relative capability or educational benefit of particular products.

Table 2. Typology of Generative AI Usage Modes in Student Academic Work

Usage Mode Typology	Operational Definition	Cognitive Engagement Level	Prevalence in High Income [%]	Prevalence in Low Income [%]
1. Epistemic Partner	Brainstorming, outline generation, iterative critique, coding assistance	High (Scaffolding)	48.2%	14.3%
2. Surface Synthesizer	Summarizing required readings, translating texts, grammar editing	Medium (Efficiency)	36.4%	31.8%
3. Direct Substitution	Generating complete essays, solving homework without revision	Low (Outsourcing)	11.4%	46.1%
4. Non-Adopter / Alienated	Avoidance due to lack of access, skills, or institutional fear	None (Exclusion)	4.0%	7.8%
Total	--	--	**100.0%**	**100.0%**

Source: Empirical survey and behavioral audit log dataset (N=1,300).

3.1. Sample structure and limits of comparison

The student survey reports 1,300 participants, distributed between an urban or high-resource setting of 720 and a rural or low-resource setting of 580. These labels summarize the manuscript's sampling categories. Table 1 also places 140 tertiary students in the latter group, so the setting classification cannot simply be read as the physical location of a rural high school. It may involve student background or a wider resource grouping, but the available description does not establish the rule. The comparison is therefore retained as reported, with no attempt to reconstruct unrecorded institutional assignments.

The reported stratified cluster design requires further documentation before design-based population inference is possible. Relevant information includes the sampling frame, selection of institutions, recruitment within institutions, nonresponse, and any weighting. Students within one school may share policies and teaching practices, so their responses are not necessarily independent observations. The present analysis does not calculate confidence intervals or significance tests from aggregate percentages. It describes the consolidated material and uses the institutional contrasts to formulate questions about opportunity, guidance, and assessment. Numerical detail is not treated as evidence of representative coverage.

The additional components have distinct units and denominators: the prompt evaluation reports 650 students, the classroom audit 450 participants or test observations as described in its account, the detector audit 300 essays, the diary study 320 students, the educator survey 60 respondents, and the adoption audit 120 departments. Their overlap with the student sample is not sufficiently specified to justify combining the counts

into a new total. Essays, students, departments, and educators are different units. Treating all of them as interchangeable cases would inflate the apparent evidence base and obscure the level at which a reported percentage was calculated.

The period 2024–2026 is retained as the manuscript's reported coverage, rather than interpreted as a completed full calendar year. Model availability and institutional policies may change within that period. Comparability therefore depends on observation dates and on whether the same instruments and platform versions were used. The table's named subscription and free-service examples are historical access labels; they are not a current ranking of product capability. A subscription can change price, limits, or features, and a free service can support competent use. Access mode is analyzed as a resource indicator, not a definitive measure of reasoning quality.

3.2. Measurement analytical strategy and research ethics

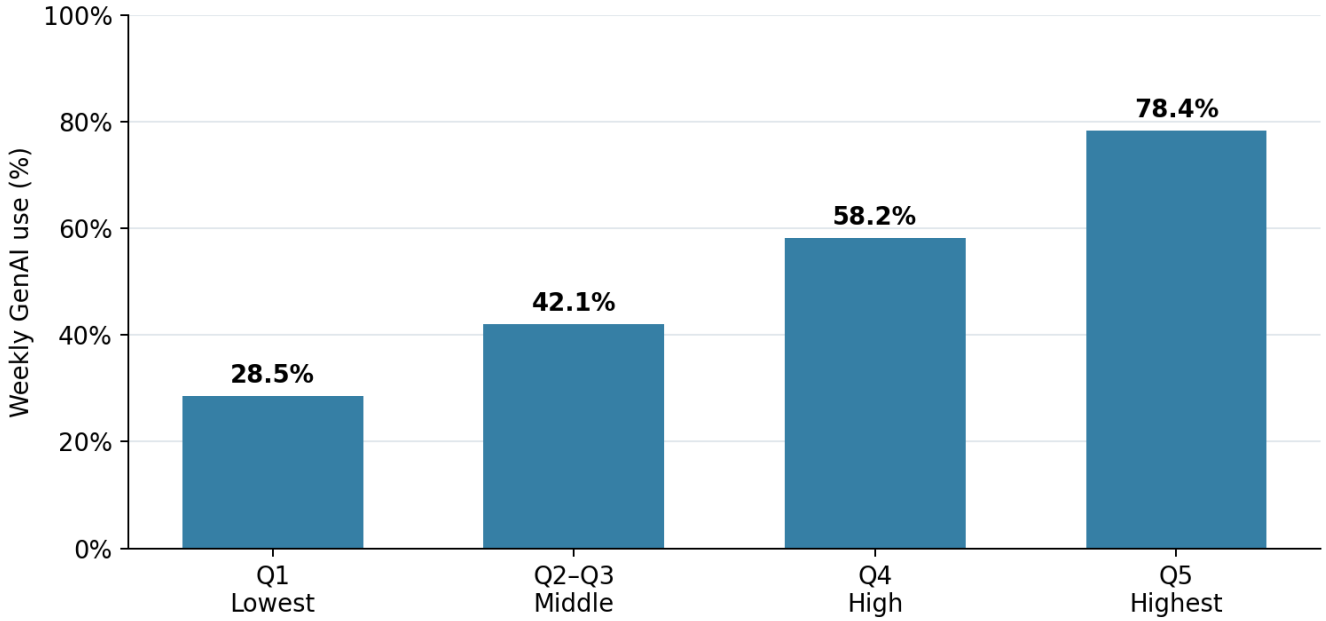
The manuscript combines self-report indicators with practical tasks and administrative or platform audits. These sources can complement one another, but each requires a different evidential interpretation. Reported willingness to disclose is not verified disclosure; career confidence is not employment success; institutional adoption does not establish actual use in disciplinary decisions. A practical prompt score may be more directly behavioral, yet its meaning depends on the task and scoring rubric. The analysis therefore distinguishes the label of an indicator from the broader social process it is used to discuss.

The graphs are consequently presented as descriptive comparisons, with unsupported trend curves removed. No uncertainty bands are added because the required variance information is unavailable. The academic-cohort table is read as a comparison among reported cohorts; the label longitudinal does not establish repeated observation of the same students. Similarly, the pre- and post-AI diary comparison requires information about timing, task equivalence, and whether observations are paired. Without that documentation, the change in allocation is informative descriptively but cannot identify the effect of adoption independently of other differences.

Research involving students and potentially disciplinary information requires particular care. Appropriate safeguards include an applicable consent basis, clear separation between research participation and grading, limited collection of identifiable prompts, and secure handling of essays and logs. For minors, relevant school and guardian procedures also need to be specified. The manuscript does not supply an ethics approval identifier or sufficient details to confirm these procedures, so none is invented here. Aggregate reporting reduces disclosure risk but does not by itself establish ethical compliance. These documentation limits should be resolved through the author's research records rather than retrospective assumptions.

4. EMPIRICAL FINDINGS AND SOCIOLOGICAL ANALYSIS

Graph 1. Frequency of Weekly Generative AI Usage by Household Income Quintile



Source: Author's educational field survey dataset (N=1,300).

Note: Rates are descriptive group summaries. The combined Q2–Q3 category differs in aggregation from the other displayed categories.

Graph 1 reports weekly-use rates of 28.5%, 42.1%, 58.2%, and 78.4% across the displayed income groups. The pattern is a descriptive gradient in the reported sample. It does not establish that income alone causes adoption or that more frequent use produces better learning.

4.1. Resource access and the interpretation of income differences

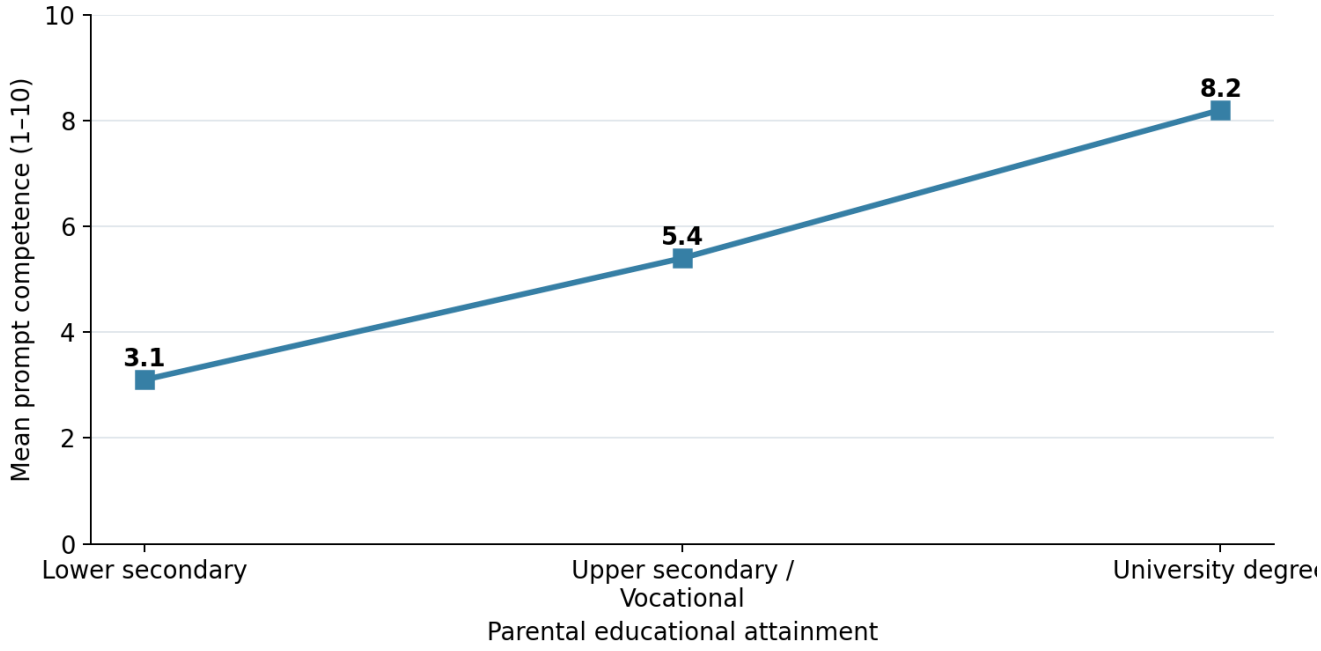
The reported weekly-use difference between the lowest and highest income groups is 49.9 percentage points. This is a comparison of rates, not a measure of how much more learning the higher-income group achieves. The middle category combines Q2 and Q3, whereas Q4 and Q5 are shown separately. Unequal aggregation means that the four bars are not five equivalent income steps. Their spacing is categorical. The visual supports a reported gradient, but a regression coefficient based on successive bar positions would depend on an arbitrary coding choice rather than on the actual income distribution.

Table 1 provides a related access contrast. Of the 270 reported paid-subscription users, 248 are assigned to the urban or high-resource group and 22 to the rural or low-resource group. This corresponds to approximately 91.9% of subscription users in the urban group. Within each setting, however, the relevant rates are about 34.4% of 720 and 3.8% of 580. The distinction between composition and within-group prevalence matters: one asks where subscription holders are located, while the other asks how common subscription access is in each setting. Neither calculation identifies the reason for the difference.

The usage typology suggests that modes of interaction also vary in the reported income groups. Direct substitution is recorded at 46.1% in the low-income group and 11.4% in the high-income group, while epistemic partnership is recorded at 14.3% and 48.2%, respectively. These categories are useful descriptions, but their operational classification needs to be transparent. Students may use different modes across subjects and assignments. A single dominant-mode category should not be interpreted as an enduring personal disposition or as evidence that disadvantaged students are intrinsically less interested in learning.

Potential explanations include task demands, time pressures, previous attainment, access to feedback, and the perceived consequences of failure. These are hypotheses suggested by the framework, not variables whose independent effects are estimated here. A student using AI to finish an unfamiliar task may be responding to inadequate instruction rather than rejecting intellectual engagement. Conversely, a student categorized as an epistemic partner may still accept an incorrect answer. The policy implication is to provide opportunities for critical practice across groups, while avoiding moral judgments based on a usage label alone.

Graph 2. Student Prompt Engineering Competency Across Parental Education Levels

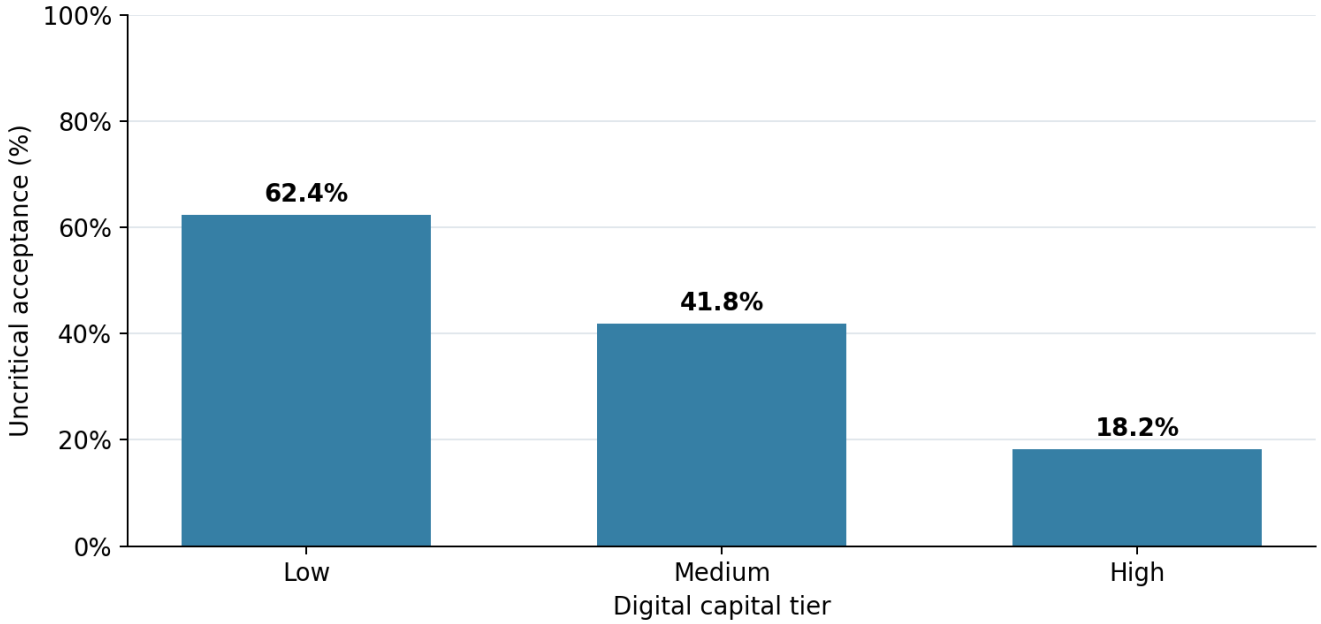


Source: Practical prompt evaluation audit dataset (n=650).

Note: Evaluates practical student prompt literacy against parental cultural capital.

Graph 2 reports mean prompt-competence scores of 3.1, 5.4, and 8.2 across the parental-education categories. These differences are consistent with unequal opportunities to develop competence, but do not independently identify a transmission mechanism or establish an exponential individual-level relationship.

Graph 3. Incidence of Uncritical Acceptance of AI Outputs (Automation Bias)



Source: Classroom experimental audit dataset (n=450).

Note: Measures student susceptibility to false or hallucinated AI information across digital capital tiers.

Graph 3 reports uncritical acceptance rates of 62.4%, 41.8%, and 18.2% across digital-capital tiers. The classroom audit identifies verification as a relevant educational concern. Its interpretation depends on the definitions of the tiers, test cases, and acceptance measure.

4.2. Prompt competence verification and automation bias

The parental-education comparison reports mean prompt-task scores of 3.1, 5.4, and 8.2 on a ten-point scale. It is consistent with a gradient in the reported task performance, but does not independently establish intergenerational transmission. Parental education may be associated with income, school opportunities, subject knowledge, or familiarity with academic language. To investigate transmission specifically, research would need evidence about practices such as joint problem framing, source evaluation, or feedback at home. The present interpretation therefore treats family cultural capital as a plausible organizing context rather than a demonstrated causal pathway.

A useful prompt rubric should distinguish several kinds of competence. Framing the objective, supplying relevant context, and setting constraints assess the interaction. Identifying an error, comparing independent evidence, and deciding what to retain assess verification. A student might perform well on one dimension and

poorly on another. If these are combined into a single score, the weights and criteria need to be explicit. The resulting mean should also be accompanied by information about variation and scoring agreement. Without that information, a difference in group means does not show that every student in one group outperforms every student in another.

The automation-bias audit reports uncritical acceptance rates of 62.4%, 41.8%, and 18.2% across low, medium, and high digital-capital tiers. The extreme-group contrast is 44.2 percentage points. Its interpretation depends on the number and difficulty of false outputs and on the definition of acceptance. Acceptance in repeated test cases is not necessarily the percentage of students who always trust AI. Prior subject knowledge might enable a participant to detect a particular error without general verification competence. The findings nevertheless identify error checking as an important area for instruction, provided these measurement distinctions remain explicit.

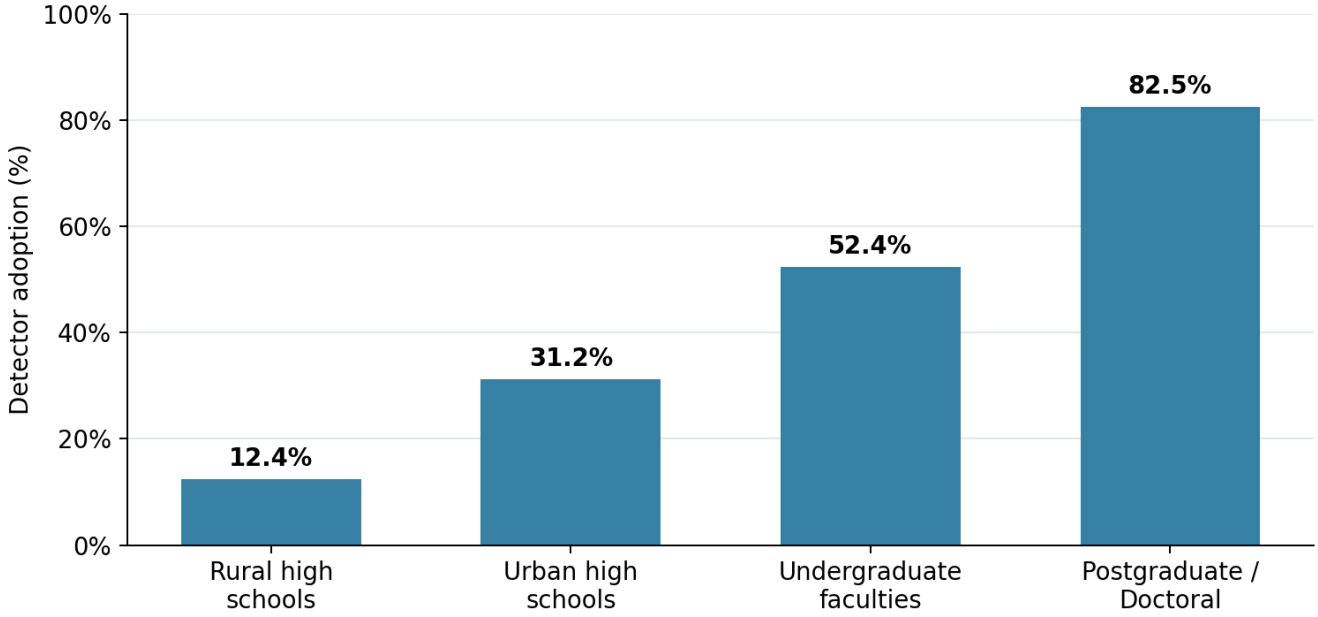
Teaching verification should include opportunities to encounter plausible but incorrect answers under supportive conditions. Students can explain why an answer is doubtful, locate an independent source, and revise a claim. Feedback can focus on the reasoning behind the check rather than rewarding only the final correction. This is a pedagogical proposal derived from the framework, not an intervention evaluated by the reported audit. Its equity rationale is that verification should become an available classroom practice rather than an obligation silently delegated to students' families or private resources.

Table 3. Perceived Impact of Generative AI on Educator Pedagogical Authority and Grading Integrity

Educator Assessment Dimension	High-Resource Urban Schools [%]	Low-Resource Rural Schools [%]	University Level [%]	Unweighted Group Mean (%)
Loss of Evaluative Control	42.8%	68.4%	35.2%	48.80%
Increased Plagiarism / Cheating Risk	78.5%	84.2%	62.0%	74.90%
Shift Toward In-Class Oral Assessment	64.2%	22.1%	58.4%	48.23%
Integration of AI into Pedagogy	51.4%	12.8%	69.5%	44.57%
Uncertainty Regarding Policy Rules	38.0%	76.5%	28.4%	47.63%

Source: Survey of secondary and tertiary educators (n=60).

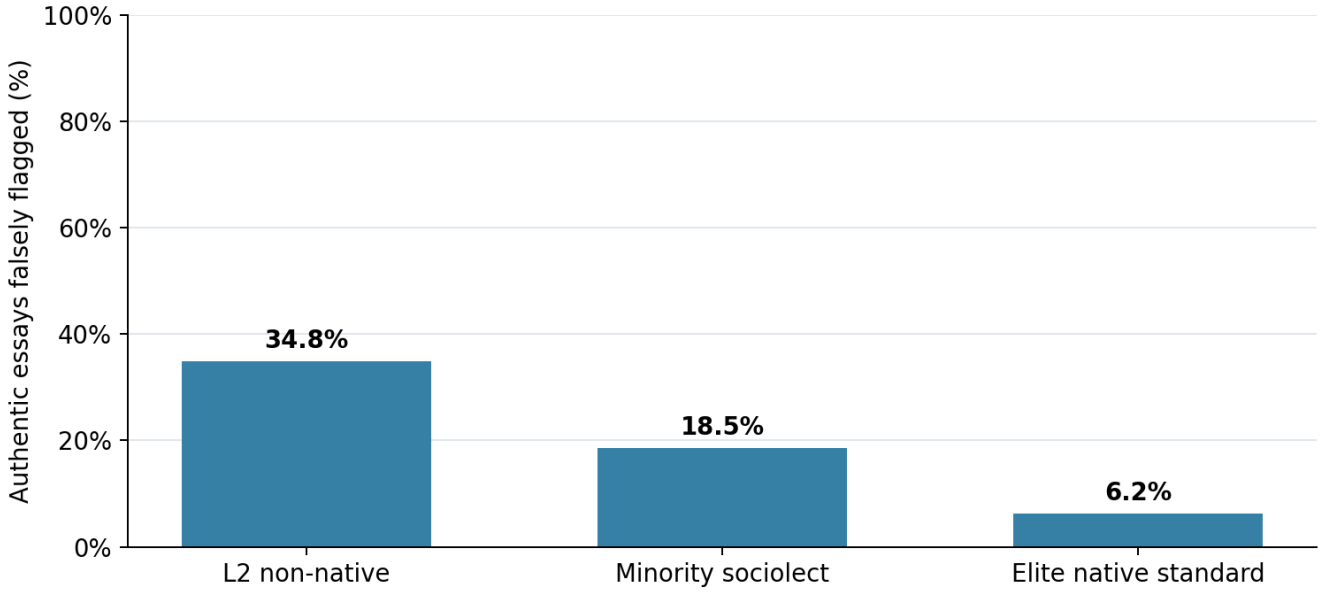
Graph 4. Adoption of AI Detection Software Across Educational Institution Tiers



Source: Institutional administrative audit (N=120 departments).

Graph 4 reports detector-adoption rates of 12.4% in rural high schools, 31.2% in urban high schools, 52.4% in undergraduate faculties, and 82.5% in postgraduate settings. These are adoption indicators, not validated measures of effectiveness or evidence that financial resources independently determine uptake.

Graph 5. False Positive Rates of AI Detectors by Student Native Language Background



Source: Experimental platform audit of commercial AI detection systems (n=300 authentic essays).

Graph 5 reports false-positive rates of 34.8%, 18.5%, and 6.2% in the three linguistic-profile groups. These values describe the manuscript's essay audit. They support scrutiny of differential errors but require documented detector settings and category definitions before generalization.

4.3. Detection language and procedural fairness

Institutional adoption of detection software and the validity of its classifications are separate questions. The reported adoption rates rise from 12.4% in rural high schools to 82.5% in postgraduate settings. This indicates different reported uptake across tiers, not the effectiveness of detection or the intensity of surveillance. Departments may acquire a service but rarely use it; an institution without a formal license may use informal checking. Budget, assessment practices, procurement, and policy concerns are possible explanations, but the audit does not establish their independent effects. Higher adoption should not be treated as inherently better governance.

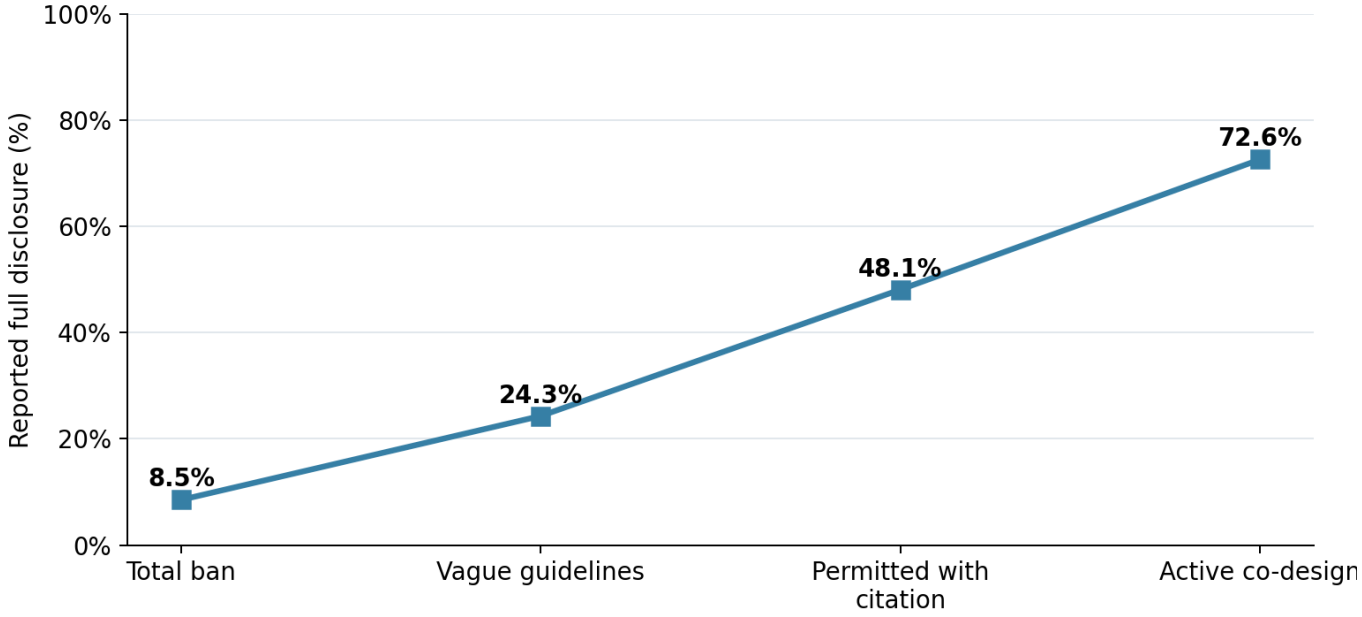
Liang et al. (2023) document concerns about detector bias against non-native English writing. Their findings supply external support for scrutinizing language-related errors, while remaining distinct from this article's audit of 300 authentic essays. The manuscript's rates of 34.8%, 18.5%, and 6.2% are retained as its reported observations, not attributed to Liang and colleagues. Detector performance depends on the system, version,

threshold, text length, and sample. A false-positive rate from one evaluation cannot be generalized unchanged to every commercial product or every language population.

The essay categories also require careful definition. Non-native language background, use of a minority sociolect, and an elite standard-language profile are not mutually exclusive characteristics by nature. A non-native writer may produce standard academic English, and a native writer may use a stigmatized variety. The study's categorization needs an explicit rule to establish how essays were assigned. The label elite should not substitute for measured linguistic or socioeconomic information. Analysis should also distinguish language proficiency from authenticity: predictable or simple writing is not evidence that a student failed to author the text.

Fair assessment requires a procedure for addressing uncertainty. A detector result can trigger further inquiry only within a policy that explains its limited status; it should not be treated as a conclusive authorship finding. Students need a chance to discuss their work and provide relevant evidence without being required to prove an impossible negative. An appeal should permit independent human review and consider legitimate language or accessibility support. These safeguards protect academic standards as well as students because they prevent the institution from assigning unwarranted authority to an uncertain technical classification.

Graph 6. Student Willingness to Disclose AI Use Based on Rule Clarity



Source: Student disclosure survey dataset (N=1,300).

Graph 6 reports disclosure rates of 8.5%, 24.3%, 48.1%, and 72.6% across the four policy environments. The pattern supports investigating the relationship between governance and disclosure, without establishing the causal effect of changing a policy.

4.4. Rule clarity disclosure and institutional trust

The disclosure comparison reports rates of 8.5%, 24.3%, 48.1%, and 72.6% across total bans, vague guidance, permission with citation, and active co-design. The 64.1-percentage-point contrast between the first and last categories is substantial descriptively. However, the measure is reported disclosure or willingness, and the categories describe different policy environments. The evidence does not demonstrate that changing a rule would cause the same individuals to disclose at that rate. School culture, student selection, task type, and enforcement could contribute to the contrast alongside clarity.

A ban may be clear in wording while remaining difficult to apply. Students can be uncertain whether it covers grammar suggestions, translation, brainstorming, or an accessibility feature embedded in another tool. Conversely, a permissive policy can be confusing if citation rules are unrealistic or vary among teachers. Effective clarity therefore requires concrete task-level examples, a consistent explanation of acceptable assistance, and a route for asking questions before submission. The aim is not to normalize every use but to make the boundary between authorized support and assessed independent work intelligible.

Disclosure is more useful when it identifies the function of assistance rather than merely naming a platform. A brief account can state whether AI helped generate an outline, revise language, critique an argument, or produce material retained in the submission. It should be proportionate to the task and avoid requiring private conversation logs by default. Extensive log submission may reveal personal information, impose administrative burdens, and encourage students to curate artificial evidence. A policy should define what information is needed for assessment and why, rather than collecting everything a tool makes available.

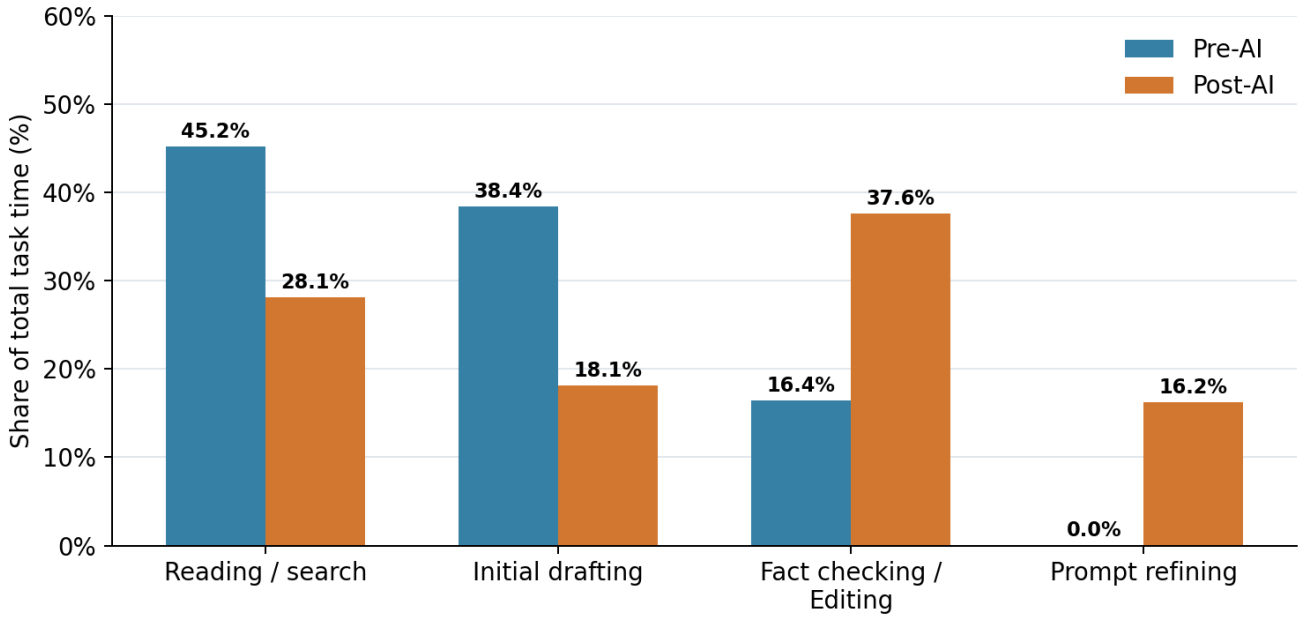
Co-design can improve institutional understanding by allowing students and teachers to discuss difficult cases, but participation must include voices beyond confident early adopters. Students with limited access, language-related concerns, or disabilities may identify consequences overlooked by technically experienced participants. Their participation should influence the policy rather than serve as symbolic consultation. The present survey does not evaluate the quality of co-design or its effects over time. It suggests a reason to investigate participatory policy processes, while maintaining institutional responsibility for fair rules and educational objectives.

Table 4. Student Cognitive Reliance on AI vs. Critical Evaluation Ability Across Academic Years

Academic Level Cohort	Daily AI Reliance Index (1–10)	Critical Verification Index (1–10)	Evaluation Gap (Δ)	Cognitive Displacement Risk
9th Grade Secondary	6.8	2.4	+4.4	Acute
12th Grade Secondary	7.2	4.1	+3.1	High
Undergraduate Year 1	7.9	5.2	+2.7	Moderate
Undergraduate Year 3	7.1	7.4	-0.3	Low / Integrated
Master / Doctoral	6.4	8.8	-2.4	Minimal

Source: Reported educational cohort comparison (N=1,300); within-person longitudinal linkage is not established in the available account.

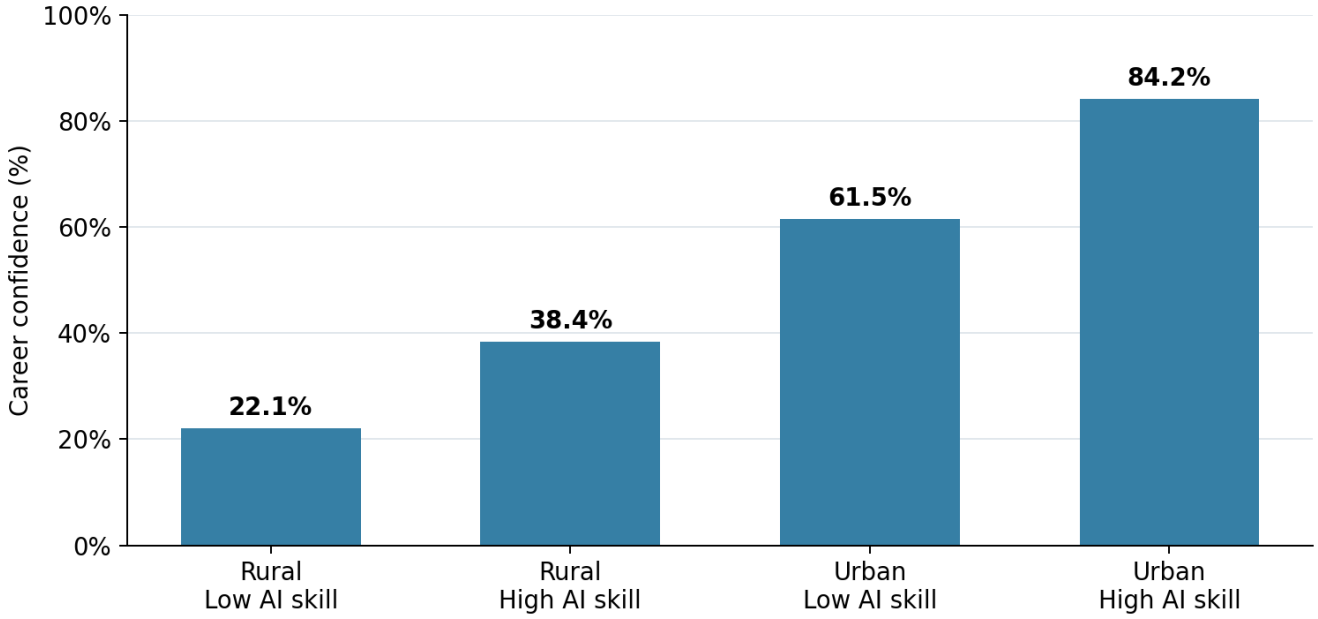
Graph 7. Shift in Time Allocation for Academic Tasks Pre- vs. Post-AI Adoption



Source: Student time-use diary audit (n=320).

Graph 7 compares reported task-time shares before and after adoption. Drafting falls from 38.4% to 18.1%, editing and verification rise from 16.4% to 37.6%, and prompting rises from zero to 16.2%. These are descriptive allocations; statistical significance and changes in total duration are not established.

Graph 8. Student Career Confidence by AI Competency and School Location



Source: Career trajectory survey (N=1,300).

Graph 8 reports career-confidence rates of 22.1%, 38.4%, 61.5%, and 84.2% across the four location and skill profiles. The comparisons concern self-reported expectations, not observed employment outcomes or estimated independent effects of skill and location.

4.5. Time allocation confidence and demonstrated learning

The diary comparison records a fall of 20.3 percentage points in initial drafting and a rise of 21.2 points in fact checking and editing. Reading and search decline by 17.1 points, while prompting accounts for 16.2% after adoption. Both distributions sum to 100%, so they describe allocation within total task time. They do not establish whether students spend more or fewer minutes overall. A smaller share of drafting might reflect saved time, a longer verification phase, or a different task. Absolute duration and task equivalence are needed before efficiency or effort can be inferred.

More time spent checking is not automatically better learning. It may indicate critical engagement, but it may also indicate difficulty evaluating generated material or repairing errors. Less drafting time may permit deeper revision, or it may remove practice in organizing an argument. The educational significance depends on the learning objective and on what students can do independently afterwards. The diary findings therefore support examining process, not a universal conclusion that AI shifts effort in a beneficial direction. Classroom

observation and subsequent assessments would help distinguish productive reallocation from compensatory work.

Career confidence is similarly distinct from demonstrated competence or future labor-market outcomes. The four profile rates range from 22.1% among rural low-skill students to 84.2% among urban high-skill students. The descriptive pattern suggests that location and skill categories accompany different expectations. It does not establish their independent or joint causal effects. Confidence may reflect awareness of opportunities, prior success, local labor demand, or optimism about technology. Assessing its calibration would require comparisons with demonstrated skills and later educational or occupational transitions.

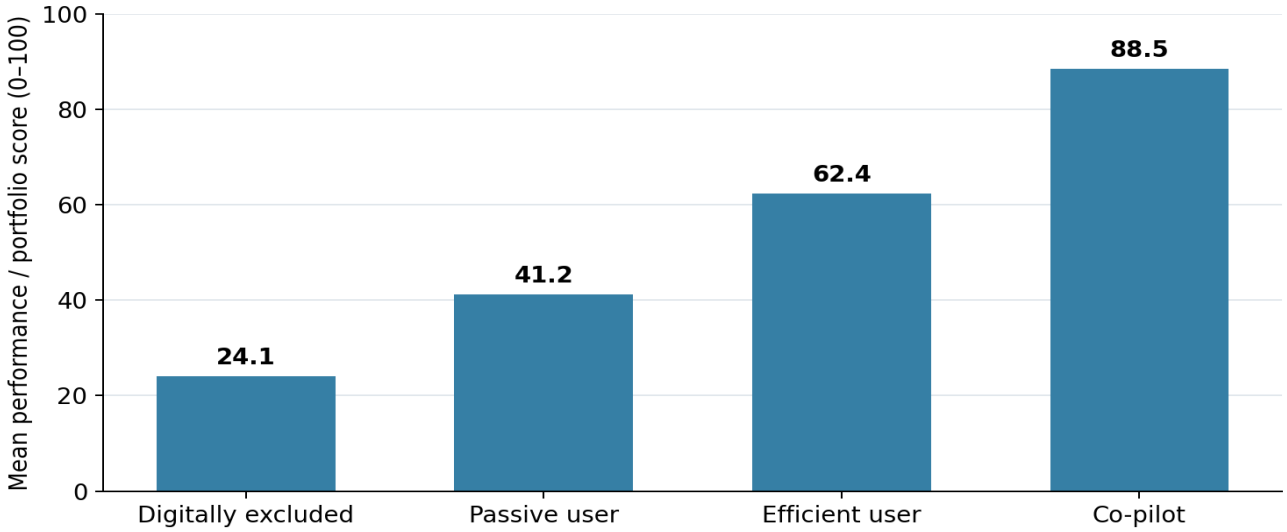
Graph 9 records performance and portfolio scores of 24.1, 41.2, 62.4, and 88.5 across four digital-capital profiles. The difference is descriptive evidence of contrasting group outcomes, but the profile definitions and scoring procedure are crucial. If a co-pilot classification includes critical analysis and portfolio quality, the outcome may overlap with the predictor. The comparison should not be read as an estimate of the benefit of adopting that identity. Independent measurement and prior-attainment information are needed to assess whether assisted practice produces improved learning or whether already successful students are more likely to be classified as co-pilots.

Table 5. Institutional Support Mechanisms vs. Student Satisfaction Across School Resource Tiers

Institutional Support Metric	Resource-Rich Urban Institutions [%]	Resource-Constrained Rural Institutions [%]	Unweighted Group Mean (%)
Formal AI Literacy Workshops	74.2%	11.5%	42.85%
Access to Institutional AI Licenses	62.1%	2.4%	32.25%
Teacher Guidance on AI Ethics	68.5%	28.0%	48.25%
Student Satisfaction with AI Policy	58.4%	18.2%	38.30%

Source: Institutional evaluation dataset (N=1,300 students, n=60 educators).

Graph 9. Multi-Dimensional Matrix of Digital Capital and Educational Outcomes



Source: Consolidated empirical dataset (N=1,300).

Graph 9 reports mean performance and portfolio scores of 24.1, 41.2, 62.4, and 88.5 across the four profiles. The comparison illustrates differing reported outcomes. It does not validate a polynomial model or estimate the causal return to becoming a co-pilot.

Table 6. Sociological Matrix of Policy Recommendations for Equitable AI Integration

Targeted Vulnerability	Proposed Policy Intervention	Operational Level	Expected Equity Outcome
Subscription /Hardware Divide	Publicly Funded Institutional AI Licensing	National / Regional Ministry	Equalizes access to advanced models across schools
Automation Bias / Uncritical Use	Critical AI Literacy in Core Curriculum	Secondary / Tertiary Curricula	Improves prompt literacy and verification skills
Detection Bias against Non-Native Writing	Validated assessment procedures with human review; no detector-only misconduct decisions	Institutional / School Board	Reduces unsupported accusations and enables fair appeals
Cognitive Displacement in Early Grades	Human-Centered Assessment (Oral / In-Class)	Classroom Pedagogy	Protects foundational critical thinking development

Source: Author's policy synthesis based on the reported findings and the literature discussed.

4.6. Reading the institutional and cohort tables

Table 3 reports educator assessments across urban, rural, and university groups. Its total-average column is the arithmetic mean of the three percentages, not a documented estimate weighted by the number of educators in each group. Table 5 similarly averages the two institutional percentages equally. These summaries are useful for comparing the displayed categories, but cannot be described as overall respondent prevalence without subgroup counts. The teacher sample of 60 also means that subgroup percentages require denominators and information about any weighting or aggregation to be interpretable as individual responses.

Table 4 compares reliance and verification ratings across academic cohorts. Its evaluation gap is the arithmetic difference between the two indices. This is not a validated scale of cognitive displacement. The labels acute, high, or minimal risk are interpretive classifications that require thresholds and outcome evidence. Higher verification scores among advanced cohorts may be associated with subject knowledge, selection, instruction, or experience; they do not prove that a particular student's ability increases through the sequence. The table is therefore treated as a cohort comparison rather than a confirmed developmental trajectory.

Institutional support indicators likewise separate provision from experience. A workshop can be listed without being accessible to every student, and a license can be available without useful curricular integration. Satisfaction may reflect expectations as well as service quality. The contrast between resource groups is a reason to examine how provision is organized, who participates, and what changes afterwards. It is not sufficient to count the presence of a resource. An equity-focused evaluation should examine whether support reaches students who currently lack guidance and whether it improves competence beyond students' existing advantages.

5. DISCUSSIONS AND POLICY IMPLICATIONS

The descriptive results suggest that availability alone is insufficient to ensure equitable educational use. Reported differences in access, verification, and institutional support motivate examining how resources are converted into opportunities to learn. The findings do not establish that income groups use AI uniformly or that the observed institutional contrasts are caused by location alone.

To prevent generative AI from deepening educational inequality, institutional policies must focus on four key areas:

1. Equitable access: Institutions should assess whether shared access arrangements meet defined educational needs, alongside privacy, accessibility, cost, and human support.

2. **Embedding Critical AI Literacy Across Curricula:** AI education must move beyond basic technical training to teach critical evaluation and verification skills.

3. Assessment reform: Institutions should combine suitable independent and supported tasks, using clear criteria and appropriate adjustments rather than replacing every written assessment with an oral format.

4. Fair assessment decisions: Detector scores should not be treated as sole evidence of misconduct. Institutions should require meaningful validation and fair review, and discontinue uses that cannot meet these conditions.

5.1. A human-centered approach to institutional capacity

Miao and Holmes (2023) emphasize human-centered, age-appropriate approaches to generative AI in education and research, including attention to privacy and institutional validation. UNESCO's student and teacher competency frameworks (2024a, 2024b) also provide resources for organizing educational capacity rather than assuming that use itself constitutes competence. These are normative and practical frameworks, not evidence that a particular school intervention has already succeeded. In the present discussion, they support evaluating access, literacy, and accountability together. Procurement alone should not become the measure of equitable modernization.

Institutional access can reduce a financial barrier, but purchasing advanced licenses is not a universal remedy. Schools should first identify the intended task, the minimum required functionality, and the forms of human support needed. A lower-cost tool may meet a specific objective, whereas an expensive system may add complexity or administrative dependence. Access arrangements should include alternatives for students who cannot or should not use a service. Equity means enabling participation in the learning objective; it does not necessarily require every learner to interact with the same commercial model.

Teacher development requires protected time and subject-specific examples. A general presentation on AI features does not necessarily prepare a teacher to identify a misleading explanation, redesign an assignment, or manage an authorship dispute. Useful professional learning can involve comparing responses, examining errors, and discussing difficult assessment decisions with colleagues. Teachers need the freedom to decline an inappropriate use and the resources to develop a suitable one. Additional duties should not be hidden behind claims that automation saves time, especially if educators remain responsible for correcting outputs and managing student concerns.

Language and disability should be considered without assuming uniform needs. Translation, text simplification, or alternative formats may facilitate access, while errors or inaccessible interfaces may create new barriers. Whether a particular use is appropriate depends on the task and the learner's circumstances. Institutions should

distinguish accommodations from unauthorized outsourcing and should not require students to reveal unnecessary health or personal information to justify ordinary support. The present sample does not provide disability-specific outcome data, so these considerations are included as an equity requirement and future research priority rather than as an empirical subgroup finding.

A workable governance arrangement also assigns responsibility. Institutions should specify who approves tools, reviews errors, responds to complaints, and updates policy when a service changes. Teachers should not be expected to enforce rules they cannot interpret, and students should not bear all responsibility for a system selected by their institution. Evaluation can begin with a small, clearly defined instructional use and expand only after reviewing both learning and unequal burdens. This approach treats technological adoption as a revisable educational decision rather than a commitment to continuous expansion regardless of evidence.

5.2. Assessment integrity and opportunities to demonstrate competence

Assessment reform should start from the competence to be demonstrated. If the objective is independent argument construction, students need a suitable opportunity to produce and explain an argument. If the objective is critical evaluation of an AI response, prohibiting all assistance would defeat the task. Different objectives require different conditions. A coherent policy distinguishes the learning activity from the assessed performance and explains the permitted resources for each. This avoids using a general rule as a substitute for subject-specific pedagogical judgment.

Oral explanation can reveal understanding, but it is not automatically equitable. Performance may be affected by anxiety, language proficiency, accessibility needs, or unfamiliarity with the format. Oral components should use clear criteria, appropriate preparation, and suitable adjustments. Reflective portfolios can show development, but lengthy documentation may favor students with more time and stronger academic writing skills. Institutions should therefore offer proportionate evidence requirements and ensure that the assessment captures the intended competence rather than incidental confidence or administrative fluency.

A practical sequence may combine a supported preparation phase, a short explanation of choices, and an independent component. Students could compare a generated account with a supplied source, identify a problem, and justify a revision. The instructor would assess the reasoning, not merely whether the final text sounds sophisticated. This is an illustrative assessment design, not a tested intervention from the reported fieldwork. Its rationale is to make intellectual work visible while providing common resources, so that the task does not simply reward students who already have access to private guidance.

Academic integrity should be understood as a shared institutional practice. Students need to know how to acknowledge assistance; teachers need time and support to evaluate evidence fairly; institutions need consistent processes for resolving uncertainty. An accusation can affect trust and participation even if it is later withdrawn. Preventing false accusations is therefore part of maintaining standards rather than an exception to them. Conversely, transparent permission does not remove the need to address misrepresentation. It makes the expected contribution clearer and allows decisions to rest on relevant evidence rather than on stylistic suspicion. The detector findings support caution, but a policy response should not depend on pretending that all systems have identical performance. An institution can require documented validation, examine unequal error rates, and prohibit a score from serving as sole evidence of misconduct. If meaningful validation and fair use cannot be established, discontinuation is warranted. Decisions should also consider alternatives and their workload. The objective is an assessment system that can explain and defend its judgments, while allowing students to demonstrate learning through legitimate support and appropriate independent performance.

5.3. Research priorities and the limits of the present synthesis

A stronger research program would document the institutional sample and follow students through specified tasks. It would measure access, prior attainment, subject knowledge, family resources, and forms of guidance separately. It would also record which tools and versions were used, because capabilities and interface conditions can change during data collection. The purpose is not to add variables indiscriminately, but to distinguish alternative explanations for a reported contrast. Anonymous identifiers and clearly defined observation periods would make it possible to separate individual development from differences among cohorts. Instructional interventions should be evaluated against learning objectives rather than the attractiveness of their outputs. A useful design might compare different forms of guided assistance while assessing later independent performance. It should also examine time demands, participation, unequal effects, and teachers' workload. Randomized or carefully structured comparison designs could support causal inference under appropriate conditions. The current aggregate tables do not supply such evidence, so no intervention effect is estimated here. Their contribution is to identify domains where more rigorous evaluation would be educationally and sociologically valuable.

Platform audits require a similarly explicit protocol. Researchers should document the detector version, threshold, sample construction, language grouping, and authenticity verification. They should separate false-positive and false-negative rates and examine performance across text types. Student-task audits should specify whether observations are per student or per trial, how errors were selected, and how acceptance was scored.

Sharing a codebook and reproducible aggregate procedures would improve scrutiny without necessarily releasing sensitive essays or identifying students. Transparency and privacy can be designed together instead of treated as competing absolutes.

The present account has several limits. It relies on consolidated values reported in the manuscript rather than independent analysis of respondent-level records. Recruitment probabilities, uncertainty estimates, complete rubrics, model versions, and ethics documentation are not supplied. The available summaries cannot establish within-person longitudinal change, mediation, or the independent contribution of income and school location. These limits are incorporated into the interpretation rather than concealed by fitted curves. They define the findings as descriptive and the mechanisms as theoretically informed explanations to be investigated further.

The broader contribution is nevertheless substantive. The evidence directs attention to unequal opportunities to formulate problems, verify answers, obtain guidance, and receive fair assessment. These are educational conditions that can be acted upon even while the size of a specific causal effect remains uncertain. The sociological framework shifts evaluation from whether AI is available to how learning and recognition are organized around it. It also preserves the possibility of beneficial use without making benefit inevitable, and the possibility of institutional reform without treating disadvantaged students as deficient users.

6. CONCLUSIONS

This study has developed a sociological framework for analyzing how generative artificial intelligence reshapes educational inequality across secondary and tertiary education. By examining digital capital, pedagogical authority, and institutional assessment practices, the paper shows that technological availability alone cannot bridge educational divides. Access becomes educationally meaningful when students possess the resources, knowledge, and institutional support needed to evaluate AI outputs and incorporate them into purposeful learning.

The descriptive patterns presented in this article suggest that the educational benefits of generative AI are distributed unevenly. Differences in household income, parental education, and digital competence correspond to differences in the frequency and quality of AI use. Students with greater resources may be better positioned to obtain advanced services, formulate effective prompts, and verify generated information. Students with fewer resources may encounter additional barriers to developing these practices. Generative AI therefore enters an already stratified educational environment, where similar technological tools can produce different opportunities for learning.

Digital capital provides a useful framework for understanding these differences because it connects access to the capacity to convert technology into educational advantages. Frequent use does not necessarily indicate sophisticated use, and successful task completion does not automatically demonstrate independent understanding. The distinction between substituting AI output for student work and using AI to support inquiry, comparison, revision, and critical analysis is consequently central to evaluating educational outcomes. Institutions should assess how students exercise judgment throughout a task, alongside the quality of the final product.

The analysis also highlights a transformation in pedagogical authority. As students increasingly consult AI systems for explanations and feedback, teachers retain a crucial role in establishing standards of evidence, identifying misconceptions, and helping learners distinguish plausible responses from reliable knowledge. This role requires institutional investment in professional development and sufficient time to redesign learning activities. Teachers' ability to guide responsible AI use should not depend solely on individual initiative or informal experimentation.

Assessment and academic integrity policies constitute another important dimension of inequality. Automated detection can introduce uncertainty and unequal consequences, particularly when linguistic characteristics influence the classification of authentic student writing. Detector results should therefore be treated cautiously and should never serve as the sole basis for an allegation of misconduct. Fair procedures require human review, an opportunity for students to explain their work, and evidence appropriate to the specific assessment. Drafts, reflective commentaries, oral explanations, and supervised components can help establish authorship and understanding when their requirements are communicated clearly and implemented proportionately.

The reported relationship between policy clarity and willingness to disclose AI use further suggests that academic integrity depends on the institutional conditions surrounding student decisions. Clear guidance should explain which forms of assistance are permitted, how they should be acknowledged, and which competencies students must demonstrate independently. Opportunities to discuss these expectations can support shared understanding among students and staff. Disclosure becomes more useful when it enables reflection on the learning process and provides educators with information about how assistance was used.

The redistribution of time across academic tasks raises an additional question about the quality of learning. Reduced time spent on initial drafting may create opportunities for verification, editing, and reflection, but these benefits cannot be assumed. Institutions need to determine whether students use the time saved to deepen their understanding and whether they can subsequently perform relevant tasks without AI assistance. Similarly,

differences in career confidence should be interpreted as differences in perceived prospects, rather than evidence of actual employment outcomes.

These conclusions must be considered within the limits of the available evidence. The group-level comparisons identify descriptive associations; they do not establish that AI use causes higher academic performance, stronger confidence, or reduced inequality. Aggregated results may conceal variation within categories, while self-reported measures may be affected by recall and social desirability. Future research should combine transparent sampling, validated competency measures, and longitudinal assessment to examine how students' practices and independent understanding develop over time. Particular attention should be paid to students and institutions whose resource constraints may limit participation in effective AI-supported learning.

Equitable AI integration requires accessible guidance, transparent rules, critical verification, and fair opportunities to demonstrate independent understanding. Its success should be judged by whether students across social backgrounds can develop durable knowledge and exercise informed judgment. Generative AI can support these goals when institutions connect technological provision with teaching, assessment, and meaningful support for disadvantaged learners. The central policy task is to ensure that expanding access also expands the capacity to learn.

REFERENCES

Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö., & Mariman, R. (2025). Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 122*(26), e2422633122. https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122

Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. G. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). Greenwood Press.

Feraru, P. D. (2012). An intelligent approach to halt the phenomenon of migration among young people in the context of the crisis. In G. C. Pascariu, R. Frunză, & C. Alupului (Eds.), *EU enlargement: Dilemmas and perspectives* (pp. 90–103). Editura Universităţii „Alexandru Ioan Cuza".

Feraru, P. D. (2013). The need and efficiency of migration policies in Romania. In R. Frunză, G. C. Pascariu, & T. Moga (Eds.), *The EU as a model of soft power in the Eastern neighbourhood* (pp. 901–916). Editura Universităţii „Alexandru Ioan Cuza".

Hargittai, E. (2002). Second-level digital divide: Differences in people's online skills. *First Monday, 7*(4). https://doi.org/10.5210/fm.v7i4.942

Liang, W., Yuksekgonul, M., Mao, Y., Wu, E., & Zou, J. (2023). GPT detectors are biased against non-native English writers. *Patterns, 4*(7), 100779. https://doi.org/10.1016/j.patter.2023.100779

Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–16. https://doi.org/10.1145/3313831.3376727

Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693

Ragnedda, M. (2017). *The third digital divide: A Weberian approach to digital inequalities*. Routledge.

Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity.

UNESCO. (2024a). *AI competency framework for students*. https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-students

UNESCO. (2024b). *AI competency framework for teachers*. https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-teachers

Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. *Learning, Media and Technology, 45*(3), 223–235. https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1798995

MİF VE MİFOLOJİ DÜŞÜNCE BOYUTLARI: SU SUDA QALAR TUTUMLARI

(Məsələyə Tipoloji Yanaşma Teorisi)

Google Akademik, 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; BÜTÖV AZERBAYCAN

ÖZƏT

Bin-bin yıllardır, Mitoloji bakımdan Dünya Büsbütün bir Mit Alemi—Mit Düçüncesi içerisindedir. Mitoloji anlam insan aklının gerçek tutumunu anlatan bir tefekkür bakışıdır: tefekkür bakışı Allah'ın insana bahış ittiği düşüncenin gerçek simalarını üze çıkarar.

Türk tefekkür düşüncesi Dünya Modeli düşüncesidir: çünkü dünya ondan kadim bir düşünce menbeyi-madeni tanımıyor.

Meselenin üç mühüm boyuttan ve teori amilinden takdimi ve açımı:

Birinci boyut üzere taktim: bu, beşeri menşe ve mansupluk amiline bağlı olmanı tasbit eden boyuttut: ve bu amille onu kast ediyoruz ki. Dünya Mitoloji Düşüncesi Türk Mitolojisinin modelidir. Şimdiyedek dünya mitolojisinin tesniflerinde Türk düşüncesi, tefekkür teorisi kenera-dışa itelenip: nasıl desek, Türk mitolojisini yedekte tutublar: yedek kendine bağlı değil, onu çekip aparan bir güce bağlıdır ve yedek onu yansıdır ki, bu düşünce Türk Toplumlarına ait değil, neredense, kimdense gelme, yahut götürmedir.

İkinci boyut üzere taktim: bütün mitoloji düşüncelerin ilkin ve formalaşma amili Türk Mitolojisi'nie mansup mazmun ve mana atributlarının açımını yansıdır.

Üçüncü amil: Dünya mitolojisinin mazmun-mana-fikir yansımalarına dairi ilmi aktarışlar: Türk Düşüncesinin mahsulu olan mitoloji mazmunların dünyaya yayılma ve mansuplaşma faktları.

Dünya ilkin tasavvur ve anlayışlara mitoloji düşünceler ile münasibet bildirip: mit dünyanın insan tarafından ağıl ve düşünce, his, duyum ve tasavvurunun obrazlaştırılmış şekilidir. Dünya-insan ve insan-dünya ilişkileri mitoloji düşünceni formalaştırıp.

Mitoloji, halk düşüncesinin gerçeklik elmidir. Bu anlamda, mütoloji düşüncede Su gerçeklik faktorudur ve onunla bağlı söylenmiş bütün mitoloji-semantik manalandırmalar, ehvalatlar da gerçek düşüncenin mahsuludur: bu şerçek düşünce birkaç hatta söykenmekle formalaşmıştır: **1) gözle görme xəttile;**

2) hayal ve tasavvur xətlərilə;

3) gündelik yaşam xəttilə;

4) tecrübe ve sezmeler xəttilə.

Mit, metinlerden ibaret anlatımlar növüdür: şurada insanın kaşif ve icatları daha serbest ve gerçek prizmalardan yüze çıkıyor.

Bütün gerçek mazmun ve formaları ile mitoloji "kutsal metinler"den ibaret xalk elmidir; bu metinler "insan davranışı için model teşkil eden, hayata anlam ve önem kazandıran, dolayısıyla ünsanın kendisini anlamlandırmasını sağlayan ve her zaman için yaradılışın hikayesini anlatan" (Türk Halk Edebiyatı, 2008:127) bir ilmi-bedii anlatım ve tesvirlerdir.

Mitoloji ifade beşer tefekkür ve düşüncesinin, insanın akıl ve kalp görümünün ilkin formasıdır: bütün tasavvur ve tefekkür mehsulları da onun kalıbı içerisindedir. Mitoloji düşünce mehelli, mahtut çerçiveli düşünce değil; **bütün mit-ik anlayışlar insan əqlinin gerçekliyi görmek merak ve cehətinin, habele gerçekliyi anlama ve idrak etme felsefesinin mazmunudur**. Mitiloji tesevvür her kesin sahip olacağı hal deyil: bezi insanlar var ki, onlar başkalarının göre bilmediklerini görürler. Bu bakımdan Mif de görebilenlerin idraki düşüüncələr və ifadəetmələr elmidir.

AÇAR SÖZLƏR: Mifoloji düşüncə boyutları; Su Suda qalar; Gözlə görmə boyutu: xəyal və düşüncə ilə görmə

DIMENSIONS OF MYTH AND MYTHOLOGICAL THOUGHT: CAPACITIES OF WATER IN WATER

(Theory of Typological Approach to the Problem)

Google Akademik, Prof. Dr. EBÜLFƏZ TAHİR EZİMLİ

ABSTRACT

For thousands of years, the World has been in a Mythological World - Mythology. Mythological meaning is a contemplative view that describes the true capacity of the human mind: the contemplative view reveals the true faces of the thought that God has given to man.

Turkish thought is a World Model thought: because the world does not recognize an ancient source of thought.

Presentation and explanation of the problem from three important dimensions and theoretical factors:

As for the first dimension: this is the dimension that establishes the connection to the factor of human origin and belonging: and by this factor we mean that World Mythological Thought is the model of Turkish Mythology. Until now, in the classifications of world mythology, Turkish thought and the theory of thought have been pushed aside: so to speak, Turkish mythology has been kept in reserve: reserve is not dependent on itself, but is connected to a force that pulls it, and reserve reflects that this thought does not belong to the Turkish communities, it comes from somewhere, from someone, or is taken from it.

According to the second dimension: the initial and formation factor of all mythological thoughts reflects the opening of content and meaning attributes belonging to Turkish Mythology.

The third factor: scientific transmissions of the content-meaning-thought reflections of world mythology: the facts of the distribution and appropriation of mythological content, which is a product of Turkish Thought.

Relating the world to the original ideas and concepts with mythological thoughts: a myth is a representation of the world by man's mind and thoughts, feelings, sensations and imagination. World-human and human-world relations form the mythological thought.

Mythology is the science of reality of folk thought. In this sense, in mythological thought, Water is a factor of reality, and all mythological-semantic interpretations and attitudes related to it are the product of real thought: this line of thought was formed by relying on several lines: 1) line of sight;

2) with lines of imagination and imagination;

3) along the line of everyday life;

4) based on experience and intuition.

A myth is a type of narration consisting of texts: in it, human discoveries and inventions emerge from more free and real prisms.

Folk science consists of mythological "sacred texts" with all their real content and forms; these texts are a scientific-artistic description and descriptions that "create a model for human behavior, give meaning and importance to life, and thus enable the human being to understand himself and tell the story of creation for all time" (Turkish Folk Literature, 2008:127).

Mythological expression represents the primordial form of human contemplation and thought—of the human intellectual and spiritual vision; indeed, the products of all conceptualization and reflection are cast within its mold.

Mythological thought is not a localized or narrowly circumscribed mode of thinking; rather, all mythical conceptions embody the human intellect's curiosity and drive to perceive reality, as well as the philosophy of comprehending and grasping that reality. Mythological vision is not a state accessible to everyone; there are individuals who perceive what remains unseen by others. In this sense, the Myth constitutes a science of the cognitive insights and modes of expression possessed by those capable of such vision.

KEYWORDS: Dimensions of mythological thought; Water remains in water; The dimension of visual perception: seeing through imagination and thought.

GİRİŞ VƏ GİRİŞƏ ÖN SÖZ:

MİT VE MİTOLOJİ DÜŞÜNCE ANLAYIŞI

İLKİN MİFOLOJİ BOYUTLAR insan ağlının və qəlbinin və hissinin və düyğusunun və xəyalının və fəhminin icad nişanlarıdır. Bu insan varlığına aid olan sirlərin də aşkara çıxması modulları- ilkin modernizm əsaslandırmalarıdır. Yaranma və varolma da modern nişanları və elmi əsaslarıdır. İnsan- Modern varlıqdır. Bütün kainat aləmi də bu sirlər içərisində varolmadır. İnsan bütün dxili varlıq nişanları ilə düşüncə halında olub. Düşüncə halı insanın idarak halıda olmadır; insanın idrak halı Allah-Təalanın yaratdığı varlıqları görməsi və heyrətə gəlməsi ilə baaşlayır. Belə varlıqların nəzəri-idrakı mənşəyi və mənbəyi də Allahın yaratdığı kainat aləminə, Yer Kürəsinə baxış-münasibətdə insanın idrakına idrak gətirib, düşüncələrinə düşüncə gətirib, və insan hər an Düşüncə Kultunda olub. mifoloji düşünce kultu ve su modeli ilkin idraki boyutlar tutumlardır.

Mitoloji sistem insanın dünyaya, varlık alemine ve yaşamına mahsus olan alametlerin gerçek taraflarını açıklamak-anlatmak, tasvir ve taktim etmek sistemidir; bu sistemde alake ve münasibetler tipoloji karakter taşıyor: başka sözle desek, dünya mitoloji görüm, düşünce ve tefekkürünün vahit dili, vahit modeli vardır: bu Türk düşünce dili, Türk modelidir. Türk düşüncesi tefekkür, idrak, anlam bakımından mitiloji kuruluşun dünya modelidir; yahut da dünya modeli ümum mitoloji düşünceler modelidir: bu modelde tefekkürün kendine, habele hayati gerçekliklere, dünya varlıklarına münasibetinde devamlı ve sabit bir mazmun ve forma, duygu ve düşünce, hayal ve gerçeklik vahdetleri vardır. Burada hayal dediğimiz model gerçek bakışların ilmi derinliklerine kanat veren görmedir.

Mifoloji modernizm- İnsan əqlinin və qəlbinin, hiss və duyğularının, maraq və heyrətlərinin yansımaları-inikasıdır.

1. MİFOLOJİ MODERNİZMİN BAŞLANĞICI: İLKİN DÜŞÜNCƏ VƏ DÜŞÜNCƏNİN SU MODELİ VƏ MƏNA KULTU

Mitoloji ifade beşer tefekkür ve düşüncesinin, insanın akıl ve kalp görümünün ilkin formasıdır: bütün tasavvur ve tefekkür mehsulları da onun kalıbı içerisindedir. Mitoloji düşünce mehelli, mahtut çerçiveli düşünce değil; **bütün mifik anlayışlar insan Əqlinin gerçekliyi görmek merak ve anlatma cehtinin, habele gerçekliyi anlama ve idrak etme felsefesinin mazmunudur**.

Mitiloji tesevvür her kesin sahip olacağı hal deyil: bezi insanlar var ki, onlar başkalarının göre bilmediklerini görürler. Bu bakımdan Mit de görebilenlerin ilmidir.

Bütün mitoloji anlayışlar insan ağlının ilmi keşfidir. Bununla insan sayısız-hesapsız keşifler etmiştir. Bu keşifler sırasında şüphesiz ki, Su Kultu mahsusu yer tutuyor.

Bu keşfe böyle bir ilmi tasnif karakteri de vere bilerik:

Dünya düşünce seviyesi mitoloji düşünceden gıdalanıp ve ondan forma ve mazmun alıp. Bu, insanın, onun milli ve beşeri mensub olmasının, temsilciliğinin, dünya ilmi devriyesinin sistemler sistemidir. Sözsüz ki, bu sistem içerisinde var olan bütün mazmun ve formalar ayrı-ayrı mitoloji terkiplerden ibarettir: mitoloji terkipler ise tefekkür ve tasavvurun işaretleridir: ve bu işaretler mahsusu modellerdir.

Mitoloji sistemin karakterine ve anlam sıfatına dair münasibette ***işaret-ünsür-model-sistem*** bağlılığı vardır. Mitiloji sisteme dair anlamların hepsi bu stilden-terkipden geçiyor; çünkü Mitologiya anlayışlara anlayış işarələri verir, dünyanın varlıq nişanlarında olanlar insan gözlərini-baxışlarını heyrətə salır. Bu halda, təkcə göz deyil, insanın bütün ifadəetmə-anlama varlıqları hərəkət halında olur. Mifalojidə məxsusi işarələr nişanları vardır. İlkin işarə nişanları Su modelinə də aiddir. Suya münasibət müşahidəçinin özünəxas idrak və anlatma üsulları ilə ifadə edilir.

Hər söz bir strüktür məzmun və məna işarəsinə malikdir. Bu nişanlarla mifoloji təsəvvür və təxəyyül-idrak özünü özünü təhlil edir. İzahetmə səciyyəsi daşıyan bu təhlildə mənalara xüsusi önəm verən poetik və idraki işaretler- modellər vardır. Sözle anlatma tarzına göre, insanın düşüncesinde **Su** ile bağlı çok mühüm gerçek mazmunlar olup; haman mazmunlar lap ilkinden bütün dünyaya ait olan ilmi münasibet-bakışları yansıtmıştır.

Su-ya bakış ve münasibetler ışığından insanın şuur ve kavramının bütün manzaraları Su Kultu'ndan akıp gelip. Su Kultu insan tasavvurunun ve düşüncesinin ilkin mitoloji bakışından formalaşan sistemdir. Bu undan ileri gelir ki, İnsanın yaşamına ait bütün elamet ve nişanların terkibi Su ile bağlı olup. Bu tasavvurda ilk var olan nişan Su idi: yerler-gökler su ile karar tapıp.

Mitoloji, halk düşüncesinin gerçeklik ilmidir. Bu anlamda, mitoloji düşüncede Su gerçeklik faktorudur ve onunla bağlı söylenmiş bütün mitoloji-semantik manalandırmalar, ehvalatlar da gerçek düşüncenin ifadesidir.

Ve Su mitolojide hayali formul deyil, gerçek düşünce modelidir. Canlı varlığın yaratılması üzere unsurların sıralanması ve düzülmesi sırasında Su varlığa varlık veren canlı alemdir: "Lap gabakalr Allah'dan başka hiç kim yokuymuş. Yeryüzü de baştan-ayağa suymuş". Bu manada, Su mitoloji dünya modeli kuruluşunda ilkin yer tutur.

Su "mitoloji dünya modeli"nde hususileşmiş nevdir, menşe ve menbe rolu oynuyor: "Kara Derya'dan Gün çıkır..".

Canlı alemin yaranmasında su gerçekliyi: "Allah birinci deryayı yarattı, bahalı daşlar yarattı… Deryadakı taşlardan ay-yıldızları yaptı".

Su İnsanın yaranmasında terkip unsuru gibi: "Sonra Allah, Adem'i yarattı—çamurdan"

Su hayattır; hayatı devam ettirir; sona yettirir.

Dirilik suyu: “abi-heyat”. Zem-zem suyu.

Su Tufanı—Nuh Tufanı: onda hem ceza var, hem necat.

“Bilgamıs”ta Su- Deryayüzü.

Su varlığa varlık veren bir kategoriya gibi vahid modeldir: hayat ve yaranışda Su-nun funksional mevkeyi çoksahelidir

Su-Bulag-ırmak coşkusu ve Koroğlu neresi.

Su eyesi:”Su eyesi suda yaşayır”.

Su nenesi: “çay nenesi goca arvad cildinde olur…”

Su suda kalar, kuruda kalmaz: kurudan süzülüb gider.

Su suya koşular- artar, güclener: nasıl ki, seller damlalardan oluşur, sular da oluşum menbeyine doğru yol alar.

Dünya Türk mitoloji düşünce terkibinde Su, hayati gerçekliyin inikas-menbe, menşe modelidir.

Türk mifolojisinde su – ilkin idraki düşncələrin və icadların təzahürünü aşkar elədi. Mifoloji düşüncede su modeli ən çox məzmun və ifadə, əhadə boyutları olan Modeldir**.**

2. “SU SUDA QALAR” ÜZRƏ İFADƏ TƏQDİMLƏRİ

Bin-bin yıllardır, Mitoloji bakımdan Dünya Büsbütün bir Mit Alemi—Mit Düçüncesi içerisindedir. Mitoloji anlam insan aklının gerçek tutumunu anlatan bir tefekkür bakışıdır: tefekkür bakışı Allah’ın insana bahış ittiği düşüncenin gerçek simalarını üze çıkarar.

Türk tefekkür düşüncesi Dünya Modeli düşüncesidir: çünkü dünya ondan kadim bir düşünce menbeyi-madeni tanımıyor.

Meselenin üç mühüm boyuttan ve teori amilinden takdimi ve açımı:

Birinci boyut üzere taktim: bu, beşeri menşe ve mansupluk amiline bağlı olmanı tasbit eden boyuttut: ve bu amille onu kast ediyoruz ki. Dünya Mitoloji Düşüncesi Türk Mitolojisinin modelidir. Şimdiyedek dünya mitolojisinin tesniflerinde Türk düşüncesi, tefekkür teorisi kenera-dışa itelenip: nasıl desek, Türk mitolojisini yedekte tutublar: yedek kendine bağlı değil, onu çekip aparan bir güce bağlıdır ve yedek onu yansıdır ki, bu düşünce Türk Toplumlarına ait değil, neredense, kimdense gelme, yahut götürmedir.

İkinci boyut üzere taktim: bütün mitoloji düşüncelerin ilkin ve formalaşma amili Türk Mitolojisi’nie mansup mazmun ve mana atributlarının açımını yansıdır.

Üçüncü amil: Dünya mitolojisinin mazmun-mana-fikir yansımalarına dairi ilmi aktarışlar: Türk Düşüncesinin mahsulu olan mitoloji mazmunların dünyaya yayılma ve mansuplaşma faktları.

Dünya ilkin tasavvur ve anlayışlara mitoloji düşünceler ile münasibet bildirip: mit dünyanın insan tarafından ağıl ve düşünce, his, duyum ve tasavvurunun obrazlaştırılmış şekilidir. Dünya-insan ve insan-dünya ilişkileri mitoloji düşünceni formalaştırıp.

Mitoloji, halk düşüncesinin gerçeklik ilmidir. Bu anlamda, mütoloji düşüncede Su gerçeklik faktorudur ve onunla bağlı söylenmiş bütün mitoloji-semantik manalandırmalar, ehvalatlar da gerçek düşüncenin mahsuludur: bu şerçek düşünce birkaç hatta söykenmekle formalaşmıştır: **1) gözle görme ile; 2) hayal ve tasavvurla; 3) gündelik yaşam; 4) tecrübe ve sezmelerle.**

Mit, metinlerden ibaret anlatımlar növüdür: şurada insanın kaşif ve icatları daha serbest ve gerçek prizmalardan yüze çıkıyor.

Bütün gerçek mazmun ve formaları ile mitoloji "kutsal metinler"den ibaret halk ilmidir; bu metinler "insan davranışı için model teşkil eden, hayata anlam ve önem kazandıran, dolayısıyla ünsanın kendisini anlamlandırmasını sağlayan ve her zaman için yaradılışın hikayesini anlatan" (Türk Halk Edebiyatı, 2008:127) bir ilmi-bedii anlatım ve tesvirlerdir.

Mitoloji sistem insanın dünyaya, varlık alemine ve yaşamına mahsus olan alametlerin gerçek taraflarını açıklamak-anlatmak, tasvir ve taktim etmek sistemidir; bu sistemde alake ve münasibetler tipoloji karakter taşıyor: başka sözle desek, dünya mitoloji görüm, düşünce ve tefekkürünün vahit dili, vahit modeli vardır: bu Türk düşünce dili, Türk modelidir. Türk düşüncesi tefekkür, idrak, anlam bakımından mitiloji kuruluşun dünya modelidir; yahut da dünya modeli ümum mitoloji düşünceler modelidir: bu modelde tefekkürün kendine, habele hayati gerçekliklere, dünya varlıklarına münasibetinde devamlı ve sabit bir mazmun ve forma, duygu ve düşünce, hayal ve gerçeklik vahdetleri vardır. Burada hayal dediğimiz model gerçek bakışların ilmi derinliklerine kanat veren görmedir.

Mitoloji ifade beşer tefekkür ve düşüncesinin, insanın akıl ve kalp görümünün ilkin formasıdır: bütün tasavvur ve tefekkür mehsulları da onun kalıbı içerisindedir. Mitoloji düşünce mehelli, mahtut çerçiveli düşünce değil; **bütün mit-ik anlayışlar insan elginin gerçekliyi görmek merak ve cehtinin, habele gerçekliyi anlama ve idrak etme felsefesinin mazmunudur**. Mitiloji tesevvür her kesin sahip olacağı hal deyil: bezi insanlar var ki, onlar başkalarının göre bilmediklerini görürler. Bu bakımdan Mit de görebilenlerin ilmidir.

3. MİTOLOJİ DÜŞÜNCE KULTU VE SU MODELİNDƏ MƏZMUN

Su kultu—dünya Sumer Türk-əcdad aləmində elmi keşiflerin en kadim düşünce modelidir

Bütün mitoloji anlayışlar insan ağlının ilmi keşfidir. Bununla insan sayısız-hesapsız keşifler etmiştir. Bu keşifler sırasında şüphesiz ki, Su Kultu mahsusu yer tutuyor.

Bu keşfe böyle bir ilmi tasnif karakteri de vere bilerik:

Dünya düşünce seviyesi mitoloji düşünceden gıdalanıp ve ondan forma ve mazmun alıp. Bu, insanın, onun milli ve beşeri mensub olmasının, temsilciliğinin, dünya ilmi devriyesinin sistemler sistemidir. Sözsüz ki, bu sistem içerisinde var olan bütün mazmun ve formalar ayrı-ayrı mitoloji terkiplerden ibarettir: mitoloji terkipler ise tefekkür ve tasavvurun işaretleridir: ve bu işaretler mahsusu modellerdir.

Mitoloji sistemin karakterine ve anlam sıfatına dair münasibette *işaret-ünsür-model-sistem* bağlılığı vardır. Mitiloji sisteme dair anlamların hepsi bu stilden-terkipden geçiyor; çünkü bir fikirde deyildiyi gibi, "Mitologiya dünyanı özünemexsus kanun ve vasitelerle biçimleyen ve izah eden dinamik işaretler sistemidir. Her bir sistem kimi, mifoloji sistem de yalnız gösterilen elametler ve özünün terkib hisseleri (struktur elametler) ile deyil, daha çok bütün bunların karşılıklı münasibetleri, alakeleri ile seciyelenir" (Acaloğlu,2004: 9).

Ümumen, Sözle anlatma tarzına göre, insanın düşüncesinde **Su** ile bağlı çok mühüm gerçek mazmunlar olup; haman mazmunlar lap ilkinden bütün dünyaya ait olan ilmi münasibet-bakışları yansıtmıştır. Su-ya bakış ve münasibetler ışığından insanın şuur ve kavramının bütün manzaraları Su Kultu'ndan akıp gelip. Su Kultu insan tasavvurunun ve düşüncesinin ilkin mitoloji bakışından formalaşan sistemdir. Bu undan ileri gelir ki, İnsanın yaşamına ait bütün elamet ve nişanların terkibi Su ile bağlı olup. Bu tasavvurda ilk var olan nişan Su idi: yerler-gökler su ile karar tapıp.

SU Kultu canlı Kulttur: o bütün dünya üçün vahit ve geniş düşünce modelidir.

Su varlığın Özünde Varlıktır: insan kendi keşiflerini, hayati yaşamlarının ilkin gerçek elametlerini Su-da tapıp. Ve insan Su-ya Hayat-yaşam kultu gibi bakıp. Bütün varlık nişanları Su-yun üzerinde hekk olunup. Canı olan ne varsa, ondan töreyip; ve cansızlar ondan can alıp, canlanıp.

Mütolojinin zaman ve mekan mahtutluğu yoktur: insanın tarihi- arkaik yaşamının, düşünce ve tefekkürünün ilmi, estetik, bedii, psikolojik keşfidir ve "mitologiya konkret etnik-medeni birliklerin arkaik devirlerde meydana çıkan universal sistem"dir (Acaloğlu, 2004: seh.13). Yaratılış ve gelişmelerin bütün hallarında, **Mitoloji Dünya Modeli --Türk Düşünce modelidir.** Düşüncenin ve beşeri mansupluğun ecdatları (Sumerler) ilkin olarak, Mitoloji Düşünce ve Tasavvurun Dünya Modelini formalaştırmışlar. İlkin yaratıcı düşüncenin, kultoloji modellerin, mazmun ve fikir formalarının kaliplerini tasbit eden sumerler kendilerile

Dünya Mitolojisi-nin mazmun ve fikir, forma ve mazmun özüllerini hazırlamış ve bütün düşünceleri de o özüller içerisine yerleştirmişler. Bin-bin yıllar bundan önce hazırlanmış o mitoloji kalipler ve onların iç ve dış mazmunları, semantik-lingivistik işareler sistemi bugünedek deyişmez olmuştur.

İnsanın yarattığı bütün öyküler "Kutsal öyküler"dir. Mit adi öykülerden ibaret besit anlatım değil: Çünkü "Mit ancak gerçekten olup bitmiş, tam anlamıyla ortaya çıkmış olan şeyden söz eder" (Acaloğlu, 2004: 128). Bütün mitler yeni ilmi bilgilerden- mazmunlardan ibarettir. Mit ve mit konusundakı düşünce ve anlatımlar halk ilmidir: halk tefekkür ve düşüncesinin ifadesidir.

Türk mitolojisince Yer-Sub (Yer-Su) kuvve ve tutumu Tengri, Humay- dan sonra üçüncü yerde dayanır: "Ruh taşıyan yer ve su kuvvelerine "Yer-Su"lar deyilir. Türkler bu Kultun Yer ve Su modelini bir-birinne bağlı hesap edirdiler. Yer-Sub uğurlu bir bağlılıktır. Bu, bir Model gibi kadim tasavvur ve düşüncede insanın mansup olduğu makana da aittir. Sub-Yer "Orkon" abidelerinde Tengri ve Humay adları ile yanaşı işlenir".

Burada"ecdadlarımızın tuttuğu Yer- Su sahipsiz kalmasın" duası da mazmunu aydın karakterde ifade ediyor (bkz: Şükürov A., 1995: 36).

4. SU KELİMESİNDEN GELEN MANA VE DÜNYA HALKLARININ DİLİNDEN İFADE ŞEKLİ.

Su dünyanı ehate eden bir varlıktır. 'Su' sözü menşece Türk sözüdür. Bütün dillerin ana kaynağı olan Türkçede Su-adice motif değil- bir dünyadır, dünyanın dünyasıdır: bütün Yer-Gök onun koynundadır.

Dünyada ilkin olarak Türklerin ecdatları Su-ya bir yaranış sözü ve kultu gibi, hem forma mansupluğu, hem de mazmun-mana kultu bakımından tasnif vermişler. Su kultu sonrakı merhelelerde bütün insanların en çok dikkat ve gayğısı içerisinde olmuştur.Ve bu anlamda, Su mitolojide hayali formul deyil, gerçek düşünce modelidir.

Su sözünün muhtelif lehcelerde –dillerde işlenmesi variantları olmuştur ki, onlar hepsi Türkçe sub sözünden töremedir: daha doğrusu 'sub' sözünün kendisidır.

Dünyada Su sözünün bezi işlem şekilleri:

Mongolca - üsü

Halha – usu

Buryat--- ussu

Tunguzca—ussu

Mançuca—usun

Çince—şui

Japonca—sui.

Gök Türklerde: sub; Uygurca-suv;

Kelimenin sonundakı ‘b’ ve ‘v’ seslerinin yeri deyişende: sub- bus, suv- bus;

Mordvince- ved, çeremişce- vüt, votyakca- vu, zeryenice- va, volguca-vit,, otyakca-uit, Fince-vesi, Macarca-vezi,

Slavca-voda, kotca- vato, hititce- vatar, sanskritca- ud, yunanca- udos, latınca- udus (dalga) (Dilaçar, 1932: 522-523)

“Su” sözünün manası pek yakından içmek mefhumuna merbuttur- bağlıdır. Nitekim herogliflerde ekmek ile ağız “yemek”, manasını, su ile ağız ise “içmek” manasını ifade etmektedir. İçmek mefhumu veya emeliyesi ise dudak seslerine ve hareketlerine bağlıdır. Şu halda tarihten evvelki devirlerde su manasını veren kelimelerin içmek ve dudak sesleri ve hareketlerinin bir nevi benzeyişi teşkil etmesi icap etmektedir.

Latincede “içmek” manasını ifade eden ;bibere” kelimesi telaffuzu itibariyle su içerken dudakların oynamasını canlandırmaktadır. Arapçadakı (şrb) kökü de içerken, yani su ağızdan içeriye keçerken çıkan sese benzemektedir. Türkçede içmek” kelimesinin dudak sesi veya hareketle bir alakası olmayıp, iç, içeri (ağızdan içeriye atmak) kelimesinden gelmiştir ve aynı zamanda yemek, su ve sigara içmek mefhumlarına bağlıdır” (Dilaçar, Milliyet,12 Teşrinisani 1932, s.4: Atatürk ve Türk Dili.2. 1997: 524)

Mitoloji, çokterkipli obrazlar sisteminden ibarettir: onun ifade modelleri tefekkür ve tasavvurun kavrayış ünsürleridir. Dünya mitolojisi lap arkaik zamanlardan vahit semantik kuruluş modellerinden ibarettir: bu, vahit Dünya Modeli’dir. Bu, formulları zengin olan modeldir. Dünya düşüncesinde mitoloji ünsürler sistemi mühtelif ünsürlerden ibarettir; bütün mitoloji zamanlar haman ilkin kuruluş modeli üzerinden gelişmiş ve yayılmıştır.

Bədii ifadə ünsürleri adi elementler değil, hüsusi mazmun ve forması olan obrazlardır: düşünce aktları gibi haman obrazları mükayiseli emsallara salsak, görerik ki, onlar hepsi bir-birine bağlı olan terkiplerdir; ona gçre de “dünyanın mitoloji modelini ve mitoloji düşünceni berpa ederken onun bütün ünsürlerinin (yer, gök, su, ağaç, ruh, ecdad ve b.) müeyyenleştirilmesi işin yalnız bir terefidir.

Başlıca mesele, onların düzülme ardıcıllığını ve münasibetlerini berpa etmektir ki, bu zaman konkret ünsürlerin semantikası ne geder değerli olsa da, araşdırıcı üçün ikinci derecelidir. Öünki berpa son neticede konkret semantik gatları yok, ümumi modelin aşkarlanmasını nezerde tutur. Başka sözle, hemin ünsürlerin **vahid modelde** (ayırma bizimdir-E.E.) birleşme, garşılıklı fealiyet ve deyişmesi ganunları ile meşğul olur. Eger dil ve başka işare sistemleri ile analogiya aparmış olsak, değe bilerik ki, **berpa burada mifoloji düşüncenin grammatikasının, mifoloji sintaksisin berpasıdır”** (Acaloğlu, 2004: 10).

Canlı varlığın yaradılması üzere ünsürlerin sıralanması ve düzülmesi sırasında Su varlığa varlık veren canlı alemdir: ”Lap gabakalr Allah’dan başka hiç kim yokuymuş. Yeryüzü de baştan-ayağa suymuş. Allah bu suyu lil

eyleyir. Sonra bu lili kurudup toprak eyleyir. Sonra topraktan bitkileri cücerdir. Onnan sonra da topraktan palçık gayırıp insannarı yaradır, onlara ruh verir" (Esatirler, Efsaneler, 2004: 26). Bu manada, Su mifoloji dünya modeli strukturlarında ilkin yer tutur.

Dünya mitolojisi Türk Mitolojisidir. Bu menada, Türk dünya Mitolojisi yalnız ve yalnız Türklerin yarattığı, anlattığı ve tasnif ettiyi Modeldir. Ama teessüf ki, Batı mifologları şimdiyedek dünya mitoloji araştırma ve tedkiklerde bu meseleğe göz yummuş ve dünya mifolojisinden danışarken Türk Mitoloji kelimesini işletmemişler: onlar yalnız miladdan önce birinci binyilliğe ait yunan mitolojisinden söz açmışlar. Meselen, 80. yıllarda neşr edilen "İstoriya visemirnoy literaturı" adlı neşirlerin mitolojiden bahs edilen birinci cildinde türk mitolojisinin ismi bele dile getrilmemiştir; yunan, hristian, slavyan miflerinden behs etmişler.

Bes bu miflerin ana kaynağı nereden gelmedir? Yani onlardan önceki mifler kime aittir? Bütün motifler onlardan ezel gelmedir, onlardan ezel ise Türkler idi.

En kadim Söz sumerlere aittir. Sumerler yaranış ve oluşlarla bağlı düşüncelerini hayat ve yaşam faktorları müstevisinden yaymışlar.

Onların Ziusdra-ya söykenen bir sıra bakışlarında Su-nun makan ve makamı ile alekadar konkret ve ciddi anlatımlar vardır. Ziusudra sümerlerde Hz. Nuh peyğemberin adıdır.

Bu ismin mana anlatımında İzi-su-ta(n)ri -"Rab,su tanrısı" demektir.. Hz.Nuh'un Sümerce karşılığı olan bu adı Türkçe de izah edebiliriz. İzi-usu-tra İdi-sub-tengri "Rab, Su tanrısı "isim, huri/ Hitorit fırtına tanrısı.

Kramer'e göre, Sümer tufan efsanesinde, Un tanrı An ve fırtına tanrısı Enlil, Ziusudra'ya ebedi hayat vermiş ve güneşin doğduğu Dilmun denilen diyara "tanrıların bahçesine göndermiş (Bkz.**muzaffertuncunnotdefteri.blogspot.com**/2007/09/ hz-adem-havva-ve-nuh)

Suların kana çevrilmesi ile bağlı meşhur bir öykü var: mana-mazmunu böyledir ki, İnanna uyurken bahçıvan terefinden tecavüze uğruyor. Öfkesini yuda bilmeyen İnanna kazeblenir ve ülkedeki tüm kuyuları Su yerine kan ile dolduruyor.

Türkç `sub` kelimesi Hint-Avropalıların Vad veyahut Finno-Ukrların Ved kelimesinden daha eski ve daha esasli`dir(seh. 524). Su manasını bütün sözler "sub"tan töreyip. Azerbaycan Türkşesi'nde bu gün de subartezian sözü vardir- sub-artezian, yani su kuyusu.

`Su` sözü Hint-Avropalılar-Finno-Ukrlarla Mongol-Mançu-Çin-Japonlar arasında `ana kelime`dir (Dilaçar, she.524-525).

"Bilgamıs"ta Su- Derya Teki ve Deryayüzüdür. Deya yüzünde ebedei hayat çiçeyi bitir ve onu hiç kimse elde ede bilmez. Bilgamıs ölümden hilas olub, ebedi yaşam yollarını akyarırdı. Utnapişti'ye rast geldi. Utnapişti o

şahısdır ki, Dünya Tufanından nicat için neheng bir gemi düzeltti, suların üstünde sağ kaldı ve insan neslinin yeni dönemi onun gemisinde hilas olanlarla devam etti. Bilgamıs ondan soruyor ki, ebedi hayat ona kısmet olacakmı? Bir de soruyor ki, onu nasıl elde etmek olar? Utnapişti genclik çiçeyini bulmak yolunu, onu nerede bulabileceğini de söyledi: "Bu çiçek deniz dibinde göyemtek bitip boy atır" ("Bilgamıs Dastanı",1985: seh 96).

"Bilgamıs eşiden-duyan gibi kuyunun ayağını açtı,
Ayağına daş bağlayıp, cumdu deryanın dibine.
Elini tikan didse de, o çiçekten berk-berk tuttu.
Ayağından daşı açıp deryanın dibine attı,
Sular onu kaldırarak, sahile-üze çıkarttı"

O genclik çiçeyini Bilgamıs önce halkına vermek isteyir, sonra kendi yesin. Otuz menzil yol gedenden sonra bir yerde durur; gönlüne serinlik tüşüyor ve durup Derya suyuna baş vurur ve bu zaman:

"Yılan çiçek etri duyup, yuvasından baş çıkarttı,
O çiçeyi oğurlayıp, sakitçe çekip apardı…"("Bilgamıs Dastanı", 1985: 97).

Bununla insanın kendini ölümsüzleştirmek çabalarının esassız olduğu bildirilir. Her şey tanrının hükmü altındadır. Bu terz düşünce mifolojinin ilmi kodeksidir. Burada Tengrilik bakışlarının mazmun yansımaları dikkatçekicidir: kadim insanın düşüncesinde bütün varlık aleminın Tanrı terefinden yaradılışını, insan hayatının da ondan asılı olduğu mantığı tasbit edilir.

Sumer əcdadlarımızın idraki baxışlarına görə, Güneş sisteminin oluşumunda Su kutlunun mahsusi yeri vardır. Bu oluşum bilavasite Su hareket kuvvesi gibi her şeyi yenileyen, deyiştirecek kuvveye malik olan bir Kulttur: her şeyden önce, bu sistemde Su bir varlık nişanıdır; hareket ve nizamlanmada, sebeblerde ona mahsus bir forma ve mazmun tasbiti, hareket gücü vardır. Esas mesele neden ibarettir?

Mesele güneş sisteminin varlığında Su-nun yeri ve nizamına bağlıdır.

Güneş sisteminin ilkel oluşum anından itibaren Sumer'e göre olanlar şöyle gelişiyordu:

APSU (GÜNEŞ)-başlangıçtan beri varolanTIAMAT (İLKSEL DÜNYA) -yaşamın kızı-(Bakire Ana)MUMMU (MERKÜR) -doğmuş olan- Apsu'nun güvenilir yardımcısı ve elçisi.

Apsu ve Tiamat'ın arasındaki uzay boş değil ilksel elementler ile doludur ve her ikisinin suları birbirine karışarak Lahmu (Mars) ile Lahamu (Venüs) doğar. Sonra sırası ile diğer gezegenler..

TIAMAT (İlksel Dünya) Büyük Kuyruklu Yıldızın (Marduk- -Buz Dag-) etki alanına girer ve onun uyduları ile çarpışır.

Bu çarpışma sonrası artık bugünkü bildiğimiz yörüngelerinde dönmeye başlayan Kİ (Dünya) ve KİNGU (Ay) ile Mars üzerinde diğer gezegenlerle arasında bir sınır oluşturan, (Göklerin sularını ayıran, Göklerle Dünya'yı sınırlayan) Dövülmüş Bilezik olarak **adlandırılan** meteor zinciri oluşur.

Yeryüzünde bu çarpışmanın derin izi olarak bilim insanlarına göre Pasifik Okyanusu görülmektedir. Ay'ın harap gezegen haline dönüşümünün de bu çarpışma ile gerçekleşebileceği (Bilim insanları Ay'ın çok sayıda gök cisimlerinin şiddetli çarpışlarına uğradığını belirtmektedir)belirtilmektedir.Bu çarpışma ile yer yüzü ve ay şu anda sahip oldukları yeni yörüngelerine otururlar. Artık dünya gece ve gündüzünün olduğu bir yörüngeye sahiptir. Yeryüzü ısısı düştükçe buharlar suya dönüşür ve yeryüzü karalar ve okyanuslar olarak ayrılır. Günümüzde kabul gören evrim yer yüzünde şekillenmeye başlamıştır ve yeryüzünde ilksel canlılar oluşmaya başlar.

Su-dan gelen felaket: insan tesevvürünün algılaya bilmediyi bir haldır.

5. BÜYÜK FELAKETİN, YAXUD: DÜNYA TUFANININ SU MODEL.

DÜNYANIN GELİŞİNDE ilkin mitoloji bakış insanın şüur ve tafekkür, duyum algılamasına bağlıdır. Bu bakışın ilmiliği orasındadır ki, her şey tipoloji seciye daşıyor. Mesela, her şey suların ağuşunda, ehetesindedir. Sular hükmün icrasında ilkin- menşe varlığıdır. Tufanın gücü ile suların gücü birleşip. Tufan sulardan güc almış gibi onunla bütövleşip. Şurada insanın bakışları canlı ve tutarlıdır.

Artık bir karmaşa vardı ve bu insanlar çok gürültü yaparak Tanrı/çaların huzurunu bozuyordu. Aslında kaçınılmaz felaket olan son buzul çağının sona ermesi bunun için fırsattı.. İnsanlar habersizdiler ve hepsi sulara gömülüp yok olacaklardı..

Enki saf ve temiz olan Zi-Usu-Dra'ya (Türkçe fonetik ile okunduğunda; İzi Su Tengri) yeni bir nesil oluşturabilmesi için duvarın (kamışların) ardından bilgi verip bir gemi yapmasını sağlamasa idi.

Tufan yerde ne var ne yoksa hepsini yok ediyordu.. Tanrılar yer yüzünden uzakta olan biteni gözlüyorlardı..

Başka bir tablette şunlar anlatıyor ki,

-Tanrılar korktular, dış duvara dayanıp çömeldiler.. İnanna doğum sancısı çeken kadın gibi bağırarak, Heyhat eski günler kile döndü dedi. Anunnakiler ve bütün Tanrılar onunla birlikte ağladılar..

Tufan bitip Nuh (Zi Usu Dra) Tanrı/çalar için kurbanlar kesti.. Pişen etlerin kokusu Tanrı/çaların iştahını açtı hepsi bir bir yeryüzüne inip kendileri için hazırlanan sofranın başına geçtiler.(bkz. **muzaffertuncunnotdefteri.blogspot.com**/2007/09/hz-adem-havva-ve-nuh)

Dünya Türk Mitoloji Sistemi kategoriyalar- növler, cinsler, ünsürler modelidir; “ifade planında onun bütün terkip hisselerinin müeyyenleşdirilmesi, mazmun planında ise semantika ve simvolikanın aşkarlanması teleb edilir”(Acaloğlu, 2004:10).

Su-- “mifoloji dünya modeli”nde hüsusileşmiş növdür, menşe ve menbe rolu oynayır:

“Kara Derya’dan Gün çıkır. İreli gedir. İsteyir ki, balık onu uda. Gülenber onun gabağına gılınc tutur. Goymor onu yemeğe.

Deryadan Ay çıkır, kalkır göke. Balık istiyor onu uda. Gülenber koymur ki, onu yeye. Ay ve Gün onun nefesinden olur kırmızı. Ehli kişiler salavat çevirende Ayın kırmızısı tökülür, gedir girir anasının koynuna. Buna göre de Gün kırmızı, ay açık renkte olur” (Esatirler, Efsaneler, Revayetler, 2005: 29).

Mifoloji modernz aləmində İnsan hansı gerçeklik mizanından değerlendirmiştir? Meselen, bir mitoloji anlatımdan söylenir ki, “Allah birinci deryayı yarattı, bahalı daşlar yarattı bu deryada… Sonra cinleri yarattı ki, o daşları çıkartsın. Sonra gökü yarattı. Deryadakı daşlardan ay-yıldızları yaptı. Sonralar ferişte-meleykeleri yarattı ki, göğü kaldırsınlar. Kaldıramadılar.

Allah dedi:- Yasin okuyun.

Okuyandan sonra kaldırdılar, indi de gökün her terefi ferişte çiyninde saklanır.

Sonra Allah Adem’i yarattı—çamurdan, ferişteler boğazacan yoğurdular, yukarını bacarmadılar. Yukarını Allah yaratmış, ona göre d boğazdan yukarıya söymek olmaz.

Adamdan sonra şeytan geldi, insanın ağzından girdi, dedi bunda can durmaz, sovuk çamurdur, sonra yene Yasin okudular, can verdiler…(Efsaneler, Revayetler, 2004: 26).

“Kuran-i Kerim”in “Nur Suresi”nin 45. ayesinde böyle deyilir: "Allah hareket eden bütün canlıları su-dan yaratmıştır". İnsanın mitoloji düşüncesindeki bu gerçek yansıma nereden kaynakları görünür en kadim insanlar Allah-Tealanın gönderdiyi peyğemberlerin ilmi içerisinde yaşamış ve tüşünmüşler.

Gökler ve bulutlar da su ile yüklenip: bütün alemde kendi mahsusluğunu gösteriyor. Bununla ilgili "Nur" suresinin 43. ayesinde böyle deyilir: "Allah bulutları bir tarafa sürer, sonra onları toplayıp birleştirir, sonra da üstüste yığar, yağmurun bunun arkasından çıktığını görürsün.Gökten içinde dolu bulunan dağlar indirir onu dilediğine dokundurur, dilediğinden de onu çevirip uzaklaştırır. şimşeyin parıltısı neredeyse kamaştırıp alır".

Bütün alemler hem de sudur: gökyüzü de, yeryüzü de sudur. Bu fikir gerçekliyin ifade inikası gibi insan aklının, kavrayış ve düşüncesinin ilkin nailiyyetlerindendir. Kainatın efendisi Hz.Muhemmed (sav) bir hadisinde deyildiği gibi,”Essema u mevcu mekfuf”--”Sema, emvacı karardade olmuş bir denizdir”(Bediüzzaman, 2006: 189). “Mülk” suresinde deyilen: “va legad zeyyennes-sema-ed dünya bi

mesabihe ve ceelnahe rucumel li şeyatin: “Ulduzlarla bezedik Biz yakın göyğü; yanar daşlar var eledik bu göğde şeytanları kovmak için”(aye:5).

Su hayattır; hayatı devam ettirir; sona yettirir. “Mülk sulesi”nde deyilir: “De ki,”yere çöküp kuruyarsa *suyunuz* , kim yerden çıkarar size içmeli suyu?” (aye: 30)

İnsan düşüncesine göre, Su İnsanın yaranmasında terkib ünsürü gibi ilkin nişandir ve bütün nişanlara nişan verir: “Sonra Allah, Adem’i yarattı—çamurdan”.

6. AFRİKA,AVSTRALİYA VE AMERİKA FOLKLOR DÜŞÜNCELERİNDE TÜRK MİTOLOJİ MANSUPLUĞU

Beşeri düşünce aleminde dünya bütövdür. bu bütövlükte mitoloji mazmun ve forma da vahit modeldir. Dünyanın bütün kıtalarında hakim olan Türk Düşünce modelidir. Bu bakımdan, Asiya, Amerika, Afrika ve Avropada yaranmış bütün mitoloji düşünceler, metinler, mazmun ve forma modelleri ruhen, fikir ve manaca Vahit bir kökene-Türk Düşünce Kökenine mahsus olup: ondan boy atıp, onun varisi olup. **Bu varislik kompozisiya zinciri gibi kadim dünyanın tarihten evvel ve tarihten sonrakı zamanlarının kavrayış ve anlam haritalarını çizmiş ve renklemiştir**. Sumerler mitoloji düşünceden evveldir: düşünce onlarla hasile gelib, onlarla nizamlı şekilde tasbitlenip.

Mitoloji anlayışların ve düşünce modellerinin takribi çoklaylıdır. Obraz gibi her bir düşünce keşfi ayrı-ayrı nev ve cinslerden ibarettir. Su bir varlık gibi bütün nişanları ile düşüncenin ve tasavvürün obraz-kult modelidir. Bütün formular ve mazmunlar o modelin içerisinde karar tapıp. **meselenin daha canlı ve aydın görünümlerini anlamak için bir sıra mitoloji metin örneklerine istinad etmek gerekiyor.**

“ Güneş ve Ay niye gökte yaşıyor?” adlı bir Afrika efsanesinde deyilir: “Kadimlerde Güneşle Su möhkem dost idiler ve haman vaktlar onlar Yer-de yaşıyorlardı”. Deyilir ki, Güneş Suya tez –tez konak gidserdi. Ama Su konak gitmezdi Sebeb odur ki, Su-yun saysız-hesapsız kohum –akrabasını tutacak evi yoktur Güneşin. Nehayet Güneş evler tikir, Davetten sonra Su özünün balıklarıyla, su heyvanlarıyla Güneşinevine akıp töküldü. Tezlikle Su evi dizecen doldurdu”. Bütün kohüm-akrabasıyla Su Güneşe Konak gediyorlar. Yer olmadığından “Güneşle Ay göke kalkmağa mecbur oldular. Hemin vakttan onlar Semada yaşıyorlar”(Dünya Halklarının Efsaneleri,1990: 257-258).

7. DÜNYA ƏFSANƏLƏRİNDƏ SU-TUFAN MƏZMUNLU İFADƏ MODELLƏRİ:

Su Tufanı—Nuh Tufanı: onda hem ceza var,hem necat. Nuh Tufanı hakkında söylenen metnlerde necat ve bela konusu dramatik bir impulstan negl edilir. Meselen:

“Allah’tan vehy gelir. Nuh peyğember de bunu insannara deyir, söylüyor ki, bes tufan olacak, dünyanın üzünü su alacak. Hiç kim buna inanmır. Nuh peyğember bir gemi gayırır, bütün canlılardan bir cüt goyur gemiye. Nuhun yeddi oğlu varmış. Oğlanlarındsan altısı gemiye minire, biri minmir. Deyir ki, su gelende çıkaram dağın başına, mene heç zad olmaz. Çok keçmir ki, dünyanın üzünü su alır. İnsannar boğulup ölür.

Nuh peyğember bakır ki, dağa çıkan oğlu da boğulhaboğuldadı. İstiyir ki, gemini ona sarı sürsün. Allah’dan seda gelir ki, ya Nuh, çık get, bu oğlan sizlerden değil. Nuh gemini sürüp gedir. Çok getmir ki, tufan dayanır, su yatır (Esatirler,Efasneler, 2004: 37-38).

Başka bir nüansta: “Nuh büyük bir gemi düzeltiyor, bütün canlılardan ora götürüyor. Tufan başlanır. Yeryüzünü su basıyor. Yeryüzerindeki bütün canlılar telef oluyor. Heyli vakt geçiyor, geminin bir yerinden deşik açılıyor, gemiye su dolmağa başlıyor. Deşiyi kapaya bilmiyorlar. Nuh diyor ki, kim deşiyi kapaya bilse, onun arzusunu yerine yetirecek. Bu zaman gemide olan büyük bir ilan kıvrılıp deşiyi kapıyor, gemiye daha Su dolmuyor. Bir kadar sonra tufan sakitlrşiyor, su çekiliyor. Nuh gemideki canlıları Yer üzerine burakıyor…” (Esatrler,Efasneler; 2004: 41).

Başka bir variantda: “Dünyanı su basanda Nuh peyğember gemiye binip gedirmiş. Birden gemi deşilir, gemiye Su dolur. Yılan gelip giriyor geminin deşiğine, gemiye koymur su dolsun” (Esatrler,Efasneler; 2004: 42).

Daha bir başka Mitoloji münasibetin gerçekliği: “Nuh haber tutuyor ki,dünyanı Su alacak. El-ayağa tüşür, gemi hazırlayır, heyvanların heresinden bir cütünü de gemiye koyuyor ki, onların nesli kesilmesin. İşten halı olan dünyagömüş, ömürsürmüş ağbirçek bir karı Nuha yakınlaşıp deyir:-Meni de özünle apar.

Nuh söz veriyor. Amma sefer zamanı verdiyi söz huşundan çıkıyor; karı kalır yeryüzünde. Vakt gelir. Bir yağış yağır, tut ucundan çık Gök’e. Çaylar şahe kalkır, sel dağları kopartmak isyiyor. Her yan suya karışır, dünya görünmez oluyor.

Vakt geçir, vade yetişir, gün çıkıyor. Güneşin zerbinden su erşe çekilir. Nuh kayıdanda karı düşüyor yadına. Gidiyor ki, onun ödlüsünde-kaldısından bir haber tutsun. Karının evine yakınlaşanda kulağına ses düşür, dinliyip görüyor ki, cehre sesidi, karı salamattı, özü de ip eyiriyor. Sorur:- karı, dünyanı Su aldı, sen bunu görmedinmi, bilmedinmi?

--Yeryüzünü Su almağını ondan bildim ki, piltelerim bir az nem gibi oldu. Nuh barmağını dişliyiyor, başa düşüyor ki, karı koca dünyanın özü imiş. Sen deme, dünya-alem batanda bunun ancak piltesi nemlenermiş”(Efsaneler, Esatirler, 2004: 43).

Latın Amerikası Hindularının "Tufan hakkında efsane" adlı mitteki mazmun-mana da Türk mitolojisinin modelidir. Esatirde deyilir: " Çok kadim zamanlarda sular öz sahillerini aşarak, bütün yeryüzünü bastı. Onlar durmadan artıp hetta dağları da görünmez ettiler. Okean sularının hücumunu gören insanlar gayalara teref kaçtılar-yüyürdüler ve ora dırmandılar. Onların çoku suitiye ve kuşa döndüler. Ancak sular geri çekildi. Suiti ve deniz kuşları ise indi de gaya dayazlıklarda oturmağı hoşlayırdılar. Büyük okean suları ona göre bizim toprakları bastı ki, şamanlar o zaman suyun kalktığını göre bilmemiştiler. Onlar suyu saklamalı ve geri kovmalı idiler. Lakin bunu ede bilmediler.

Bir gün su yene kalkmağa başladı; o bizim toprakları altına almak istiyordu. Ancak bu defe şamanlar vaktında bunu gördüler. Onlar bir yere yığıştılar ve sehrkarlık etmek için güclerini birleştirdiler. Büyük sular böyle kudretli şamanlarla bacarmadı ve kalka bilmedi. Ona göre de insanlar ve heyvanlar mehv olmadı ve yeryüzünde yaşoyorlar" (Dünya Halklarını Efsaneleri,1990: 395).

"Tufan ve çayların, heyvanların yaranması" (Amerikada tropik ve savana Hinduları, kaingangi kabilesi) efsanesi. Burada Nuh Tufanı zamanı insanların felaketini böyle taktim edir: "Lap çoktan, kadim zamanlarda yeryüzünde büyük tufan baş verdi. Çoklu adam helak oldu. Bütün yeryüzünü su bastı. Krinjijinbe dağının zürvesi halen su üstünde kalmıştı. Üç kabile,,-kaingançi, kayyurukre ve kame—orada nicat tapmak kararına geldiler. Onlar yüzyüze ora yollandılar. Her bir üzgüçü dişlerinde yanan kösöv tutmuştu ki, hara üzdüğünü göre bilsin.

Lakin Kayyurukre ve Kame kabileleri tezlikle yoruldular ve battılar: onların ruhları dağın derinliklerine girip orada yerleştiler. Kainganglar ve bir neçe kruton Krinjijinbe dağının zirvesine çıka bildiler. Onların bir hissesi dağın döşünde, yer tapmayanlar ise ağac budaglarında (dallarında) yerleştiler. Kainganglar bir neçe gün yemeksiz dolandılar. Su azalmak bilmirdi. Onlar artık ölümü gözlüyordular ki, birden içinde toprak olan zenbiller getiren çoklu Sarakura (Amerika kızılderilerinin- Hindularının inanışına göre, kışkırtıları ile yağış getiren Su Kuşu-nun) kuşunun sessini eşittiler ve onları gördüler.

Kuşlar getirdikleri toprağı suya töktüler ve su bir az geri çekildi. Kainganglar sarakuralara yalvarmağa başladılar ki, onlar telessinler.

Kuşlar işi süretlendirmek için daha hündürden okudular ve ördekleri kömeğe çağırdılar. Onlar büyük bir düzenlik yaranana kadar toprak taşıdılar. Ağaçlara çıkan kainganglar şurada yerleştiler. Ağaçlara çıkan kainganglar ise meymuna çevirdiler. Sarakuralar toprağı dağın günçıkan terefinden tökmeğe başladılar. Buna göredir ki, bizim bütün çaylarımız krrde-batıya akır ve Larana çayına tökülüyor…" (Dünya halklarının efsaneler, 1990: 414).

Ümumen, en kadim dünya insanını düşüncesine göre, yaranmış her şey kendi varlığında başka bir varlığı saklıyor. Bu ilmi bir bakış gibi dünyanın- beşerin büyük yetkisinin neticesi olarak formalaştı. Bu onu tasbit ediyor ki, "Mif yarandığı dövrde ve erazide hakikat hesap olunurdu, reallığı şüphe doğurmağan gerçeklik sayılırdı.Tekçe ona göre yok ki, mif düşünmülmüş, maksetli bedii yaradıcılık değildi, mif yaşanan ömrün özü idi"(Memmedov A., 1990: 5.

Avstraliya Aborigenlerinin efsanesinde deyilir: "Büyük tufan hakkında hekayet": adlu bu efsanede kutaklık ile su arasındakı tezat ve uuşummlar böyle nakl edilir:

"Yukular Zamanı dövründe ölkenin dehşetli bir kuraklık başına götürdü. Ağaçların yaprakları töküldü, güllerin boynu büküldü, gök otlar sapsarı saraldı, ele bil kısır dağın odlu nefesi ağaçları, gülleri, otları karsımıştı. İsti külek esende çaylaktakı kuru kamışlar gurultu salırdı, kaynar kum ise gümüş göl gibi parıldıyordu.

Şırıltılı çaylardakı, derin kuyulardakı sular kurumuştu. Açık, mavi enginlikte güneş eprimiş kızıl gini şefek saçırdı, dağların başını daha bulut karvanı bürümürdü, yeryüzüne çöken karanlık, gecenin ve ölümüm kölesiydi. Susuzluk çoklarının akırına çıkandan sonra heyvanlar meslehete yığıştılar. Onlar uzaktan gelmişlerdi. Buştan da gelenler var idi, dağ rayonlarından da. Deniz kuşları, eteyinde lepedöyenler gurultu salan kayalıktakı yuvalarını terk elediler. Geceni gündüze katıp dinclik bilmeden kanat çaldılar.

Gelip Merkezi Avstraliyaya çattılar ve öğrendiler ki, kuraklığı neheng Kurbağanın, olan-kalan suyu iöip kurtarması yaradıptı. Meslehetleştiler ve bu karara geldiler ki, suyu geri kaytarmağın yegane yolu Kurbağanı güldürmekti"(seh.454). Bunun için bütün kuşlar birleştiler. Bir-birlerine kinleri olanlar barıştılar. Nehayet Kurbağanı güldürmeyi başarırlar. Gök gurultusuna benzer gülüşten sonra "Kurbağanın ağzından su fışkırdı ve bütün ölkeni su bastıi Suda ancak denizdeki adalar gibi en yüksek dağların zirvesi boy verirdi. Daşkında ne kadar heyvanlar, ne kladar insanlar battı….

Tedricen su azaldı, toprak yeniden özünün yaşıl örtüğüne büründü"(Dünya halklarının efsaneler, 1990: 455). "ibtidai mifin esas cehetlerinden biri eşyanın, predmetin genezisi hakkında bilgi vermektir, onun kuruluşunu izah elemektir". "kudretli bedii istedadın mahsulu-ürünü gibi görünen mit vaktile, hüsusen yarandığı vaktlar praktiki, merasimi ve ritual karakter taşıyordu".(Memmedov, 1990: seh.5). Buradakı tasvirler düşünceni ilmi

Su varlığa varlık veren bir kategoriya gibi vahid modeldir: hayat ve yaranışda Su-nun funksional mevkeyi вy çoksahelidir, birinde su- hayattır, birinde su- varlıktır, birinde hiç ne yok iken su var idi, birinde su het şeyin ilki ve menşe-menbeyidir; birinde su necet verir, birinde su bela getirir: birinde su varlığı formalaştıran dört ünsürün biridir. Birinde su- bütün ünsürlerin terkibindedir: meselen, havada su var, toprakta su var, ateşre su var. Hülase

her sebebde su nişan ve elameti vardır, bürün elametler ve varlık renkleri su rengidir; su renginin bin-bin formatı var.

9. SU İLE BAĞLI OBRAZLAR VE ONLARIN KARAKTERİK HALLARI:

Su eyesi: Eye nedir? –eye "müeyyen tebii obyektleri koruyan ve onların tecessümü olan mifoloji varlıklar, yahud hami ruhlar" "seh.297) demektir.

Mitoloji izaha göre, "her bir bir evin eyesi var. Ev eyesi göze görünmez. Ona göre eve girende gerek bu evin eyesine salam veresen.Yoksa sene de, eve de sedeme tokundurar" (seh.219).

Başka bir mitoloji metinde değilir: "Gözümüznen ne görürükse, hamısının 'eyesi' var. Bu eye-ler bize görsenmez. Bizden yeyler de görünmez. Ancan eyelernen bizden yeyler arasında fark var. Bizden yeyler heç bir şeyin sabahı değil. Ancak eye-ler neyin eyesidise, onun da sabahıdı, özü de onda yaşıyor. Meselen, bağ eye-si bağın sabahıdı, bağda da yaşıyor. Daha suda, yaxud dağda bağ eye-si olmaz. Onların da öz eye-leri var. Ancak bizden yeyler her yerde yaşıyorlar. İllah da bu karanlik yerlerde, haraba yerlerde, ağac altında, *su başında yaşıyorlar…(seh.51).*

Eye hakkında anlayışlar da mifoloji düşüncenin ilmi seciyyesi gibi inikas edir: "Evin, heyetin, bağın, suyun, yolun, dağın—her şeyin eyesi var.

*... Bu eyelerin içinde hamısından üstünü Su eyesi-dir. Seher-seher ki tezden gedirsen Su-yun üstüne, gerek Su eyesi-ne salam veresen. Hiç vakt Su-ya tipirmk, suya çirkab atmak olmaz. Yoksa ki Su eye-sini küstürürsün, sene zefer tokuyar***.** Su eyesi suda yaşayır. Suyun gırağında da bizden yeyler yaçıyor. Gelip Su eyesine salam verirsin, eyilirsin Su-dan içmeğe, Bizden yeylerin acığına gelir ki, niye bu Su Eyesi-ne selam verdi, ancak bize vermedi. Ona göre de sen eyilende seni daldan vururlar, ağzın eyilir, gözün çer oluyor, deli olursun. Gerek eyilende ''bismillahirrahmanirrahim' diyesen, onda bizden yeyler gaçacak"

(Esatirler,Efsaneler, 2005: seh.51-52).

SU NENESİ: "çay nenesi goca arvat cildinde olur, özü de hemişe çayda yaşayır. Köprüden, addamaştan geçende ki çaya çok başırsın, onda çay nenesinin açığına geliyor. Çünki çay nenesi-ni hirslendirmisen, o da seni boğmak istiyor"(Esatirler, 2005: 52).

Su yatarmı?:"bir arvad çerşenbe gecesi sehere çok kalmış sehengi götürüp çaya su dalınca gedir.sehengi ne kadar suya basur, seheng suya batmır.sen deme, su yatıpmışarvad kayıdıp eve grliyor.sonra bir de gedir. Görüyor, su şırhaşırla akır. Sehengi doldurup kayıdır" (Esatr.Efs.,seh.63).

Bir hekayette deyilir ki, "Bir gelin gedir Araz-dan Su doldurmağa. Ele vedreleri çaya basmıştı ki, sudan bir cavan oğlan bağı çıkır, baştıyır buna bakmağa. Bir gün böyle- beş gün böyle, gelin korkusundan ne bir adama

diyor, ne de oğlan bundan el çekir. Görürler ki, bu gelin git-gide saralıp solur. Baldızı bunun gılığına girir, ehvalatı öyrenip kardaşına deyir.

Kişi tüfengi götürüb arvadını güdür. Görür ki, arvadı çaya çatan gibi, doğrudan da, sudan bir oğlan bağı çıkır. Kişi tüfenginen bunu vurur. Bir de görür ki, bütün Araz kana boyandı. Kurşaktan yukarı adam, kurşaktan aşağı balık olan bir ölü göye kalkıp suya tüştü, yok oldu. Kişi o saat titretmeye-kızdırmaya tutulur. Bir-iki gün yaşayandan sonra ölür" (Esatirler,Efsaneler, 2005 seh.52).

Mitoloji bakışta Su-nun başka bir anlamdan takdimi : Suda hem de uzunömürlülük bahş eden bir güc vardır. Mesela, aşaıdakı mitik anlatımda bunun en tipik ifadesini göre bilerik:

"Allah insanları yaradandan sonra peyğemberlerin biri gediyor Dirilik Suya'nu dolduruyor bardağa ki, getirsin insannara. Gayıdanbaş yolda yatıyor ki, dincini alsın, bardak aşıp tökülüyor. İki karğa bardağın suyundan içiyor. Ona göre de karğalar üçyüz yıl yaşıyorlar" (Esatirler,Efsaneler, 2005 seh.45).

Bütün mitik mazmunlar Su-nın hayatverme karakterine bağlıdır. Her bir tasvir ve tarannum onun hayati mansupluğunu ifade edir.

SON SÖZ EVEZİ

Su-ya bakış beşeri düşünce münasibetlerinin ilkin kodudur.

Mit-in zaman, mekan ve beşeri mansupluğu en kadim insanın yaşamından başlıyor.

Varlıkların yaratılmasına münasibet—insanın kendi düşüncesine ve kavrayışına münasibetten başlayıp. Mesela, insan gördüklerine ve göremediklerine bakışta kendini görüp; ikinci bir halda insan göre bilmediklerine gördüklerinin yansımaları nişanlarından yanıt vermiştir. Su- bütün varlık nişanlarının ilki gibi tasavvür edilmiştir. Bin-bin yıllar öncelerden insan Su-ya varlığın ve yaratılışın anası miyarından yanaşmıştır. Bu anlamda insanın yaşam ve duyumunda, hayal ve görümünde Su Ana Obrazdır.

İnsan Tasavvuru ve Düşüncenin Su Renkleri onun Mitoloji renkleridir. Mitoloji renk

İnsanın tefekkür süzgecinden akıp gelen açık renktir, şeffaf renktir, bütün renkleri mayalandıran renktir.

Su suda kalar, kuruda kalmaz: kurudan süzülüb gider.

Su suya koşular- artar, güclener: nasıl ki, seller damlalardan oluşur, sular da oluşum menbeyine doğru yol alar. Böylece,Türk Mitolojisi dünya mitoloji sisteminin temel taşıdır: bu anlamda beşer ilminin temel atımı suya bakışla bağlıdır. Ve bütövlükte dünya nitolojisi Türk Mitoloj Atlasıdır:bu atlasta her şey su ile hasil olub. Mitoloji Atlasın bütün hatları: zaman ve meken Türk düşünce bildirisidir.

Dünya Türk mifoloji düşünce terkibinde Su, hayati şerçekliyin inikas-menbe, menşe modelidir. Və beləcə, Mitoloji ifade beşer tefekkür ve düşüncesinin, insanın akıl ve kalp görümünün heyrəti və rahatlığıdır. Su haqqında söz söyləmə və mənalandırmalar Bəşər övladının ilkin düşüncə və ağıl və qəlb və hiss-duyğu üzrə ilkin yansımalar-ifadəetmələr formasıdır: bütün tasavvur ve tefekkür mehsulları da onun kalıbı içerisindedir.

Mitoloji düşünce dar və sxematuk, primitiv ifadə-inikas modeli deyil. Bu, mehelli, mahtut çerçiveli düşünce değil; bütün mitik anlayışlar insan əqlinin gerçekliyi görmek merak ve cehətinin, habele gerçekliyi anlama ve idrak etme felsefesinin mazmunudur. Mitiloji tesevvür her kesin sahip olacağı hal deyil: bezi insanlar var ki, onlar başkalarının göre bilmediklerini görürler. Bu bakımdan Mif de görebilenlerin idraki düşüüncələr və ifadəetmələr elmidir

QAYNAQLAR

Kurani-Kerim, "Mülk suresi".

1. Acaloğlu, Arif. Ön Söz: Esatirler, Efsaneler ve Revayetler. "Şerg-Gerb", Bakı—2005; 360 seh.

2. Azerbaycan folkloru.Tertib edenler: Behlul Abdulla. "Şerq-Qerb", Bakı—2005; 360 seh.

3. Dilaçar,Türk Dilinin Eskiliği ve Etimolojinin Ehemiyeti. Milliyet, 12 Teşrinisani 1932, s.4: Kİtab: Atatürk ve Türk Dili.2. Atatürk Devri Yazarlarının Türük Dili Hakkındakı Görüşleri(gazetelerden seçmeler); Ankara, 1997.

4. Bediüzzaman Said Nursi, Nur çeşmesi. Risale-yi Nur Külliyetından; İstanbul, 2006, seh. 189.

5. Esatirler, Efsaneler ve Revayetler. Tertib edenler: Arif Acaloğlu, Celal Beydili."Şerq-Qerb", Bakı, 2005

6. Dünya Halklarının Efsaneleri. Genclik, Bakı—1990.

7.Memmedov, Arif. Dünya Halklarının Efsaneleri. Ön Söz: Dünya Halklarının Efsaneleri. Genclik, Bakı—1990.

8. Şükürov, Ağayar Mifologiya. 6. Kitab. Elm, Bakı- 1997, 232 seh.

9. Türk Dilinin Eskiliği ve Etimolojinin Ehemiyeti. Milliyet,12 Teşrinisani 1932, s.4. Bkz. Atatürk ve Türk Dili.2. Atatürk Devri Yazarlarının Türük Dili Hakkındakı Görüşleri(gazetelerden seçmeler, Ankara, 1997, seh.524.

10. Türk Halk Edebiyatı. El kitabı. 6 Baskı; Ankara, 2008.

“KİTABİ-DEDE QORQUD” EPOSUNDA DASTAN POETİZMİ: BƏDİİ LİRİZMİN SÖZ, MƏNA VƏ ÜSLUB İZLƏMLƏRİ

Google Akademik, 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; BÜTÖV AZERBAYCAN

ÖZƏT

Dünyada ilkin ədəbi Təsəvvürler ve Sergiler, bədii keşifler, təsvir və tərənnümlər hamısı SÖZ sehrinə bağlıdır. Bu, bədii lirizmin Dede Qorqud dilinə xas olan söz və üslub axışının ən yatımlı dil poetizmidir. Dünyanın ən dərin lirizmə və epik simvollara malik “Yaradılış”, “Bilqamıs” dastanları da lirizm ve epizm simvolları ilə insanları heyrətə gətirmişdir.

“Kitabi-Dədə Qorqud” min beş yüz—iki min il bundan öncəki Oğuz Türkcəsinin nişanlarını yansıdan bir abidə kimi, xalq bədii düşüncə elminin məhsuludur. Dünyada “Kitabi-Dədə Qorqud” qədər incə ifadə, yatımlı söyləm, ahəngdar qoşqu dili olan ikinci bir dastan tapmaq çətindir. Dastan poetika baxımından başdan-başa lirik dramatizm içərisindədir.

Bütün dastanlar nəzmlə söylənən əhvalat, hadisə və münasibətlərdən ibarətdir. Dədə Qorqud eposu da nəzm, poeziya nümunəsidir. Lirik əhvali-ruhiyə, ümumiyyətlə, sevgi, məhəbbət, eşk motivlərindən törəyər. Amma Dədə Qorqud dastanlarındakı bütün dramatik əhvalatlar, hətta, döyüş, faciə səhnələri bele lirik dramatizmə bürünmüşdür.

Dastanın hər cümləsində, hər təsvir və təhkiy axarında bunu aydın görmək olur.

Məsələn: “Dirsə xanın xatunu qayıtdı, gerü döndü. Qatlanmadı. Qırx incə qızı boyuna aldı. Bədöy ata minib, oğlancığını istəyü getdi. Qışda-yazda qarı, buzu əriməyən Qazlıq dağına gəlib şıxdı. Alşaqdan uca yerlərə çapıb çıxdı. Baxc görsə, bir dərənin içinə qarğa-quzğun enər-çıxar. Qonar-qalxar. Bədöy atın öncələdi, ol tərəfə yürüdü”(“Dirsə xan oğlu Buğacın boyu”. “Kitabi-Dədə Qorqud”, 1962, səh.23).

Bütün sözlər axar kimi axır, uçar kimi uçur, qoşar kimi qoşur;

sözlərin her biri üslub yalına yatıb yol gedir:

yatima qoşulur, yatıma yeni yatım verir:

bir yatım: sözün səslənişidir,

bir yatım, həsslərin hərəkətidir,

bir yatım tələşın və rahatsızlığın coşqusudur,

bir yatım hadisənin ruhunu öz ağuşuna almasıdır,

bir yatım sözlərin qanad aşara ananın harayına-hayına güc verməsidir,

bir yatım ümidin işığına qanad aşib uşmasıdır,

bir yatım fikirlərin tələşıdır.

Hardan gələr o nişanlar, bu əlamətlər, bu cəlbedici ifadə dramatimi, bu səli və yığcan şairanə ifadəetmə poetizmi?

Hardan axar o işıq ki, oğlu Buğacı nişan versin? Yatım yatım üstündən gələr…Əhvalatın özü hər sözlə bir nişan nişanlayır, nağıla nağıl ritmi verir, hadisənin ritmi ilə obrazın daxili çırpıntılarının ritmi bir axar üstündədir. Bütün bular vahid bir yatım üstündə hərəkət edir, ananın Ana üslubu yatımı üstündə. Təhkiyənin dili Ana dili kimi söylənir, ana qəlbi kimi göynəyir…

AÇAR SÖZLƏR: ”Kitabi-Dədə Qorqud” əzəməti; “Dədə Qorqud” poetizmi; “; Ozan Dədə Qorqud üslubu.

EPİC POETİCS İN THE "KİTABİ-DEDE QORQUD": MANİFESTATİONS OF ARTİSTİC LYRİCİSM İN WORD, MEANİNG, AND STYLE

Google Akademik, Prof. Dr. EBÜLFƏZ TAHİR EZİMLİ

ABSTRACT

Early literary concepts, artistic discoveries, and acts of depiction and celebration across the world are all bound to the magic of the "Word". This represents the most harmonious form of poetic expression—a flow of words and style—inherent in the language of "Dede Qorqud". Epics such as "Creation" and "Gilgamesh", which possess profound lyricism and epic symbolism, have similarly captivated humanity through these very qualities.

As a monument reflecting the Oghuz Turkic language of fifteen hundred to two thousand years ago, "Kitabi-Dede Qorqud" is a product of the collective artistic consciousness of the people. It is difficult to find another epic in the world that matches "Kitabi-Dede Qorqud" in the delicacy of its expression, the fluidity of its narrative voice, and the harmonious nature of its poetic language. From the perspective of poetics, the epic is imbued with lyrical drama from beginning to end.

Epics generally consist of tales, events, and relationships recounted in verse; the "Dede Qorqud" epic, too, is a prime example of verse and poetry. A lyrical mood typically arises from motifs of love, affection, and passion. Yet, all the dramatic events in the №"Dede Korkut" epics—even the scenes of battle and tragedy—are imbued with a lyrical dramatic quality.

This is clearly evident in every sentence of the epic, in the very flow of its description and narrative.

For instance: "Dirse Khan's wife turned back; she retraced her steps. She could not bear it. She took forty maidens in her train. Mounting a spirited steed, she set out in search of her young son. She ascended Mount Gazlyq, where the snow and ice never melt, neither in winter nor in spring. She galloped from the lowlands up to the towering heights.

There, she beheld ravens and carrion crows descending and ascending, alighting and taking flight within a valley. She spurred her steed forward and rode toward that spot" ("The Tale of Bughach, Son of Dirse Khan"; "Kitabi-Dede Korkut", 1962, p. 23).

All the words flow like a stream, soar like the wind, and race with spirited speed; Each word aligns with the prevailing stylistic cadence, flowing in harmony with the rhythm of the narrative: one cadence is the very sound of the word; another, the movement of emotions; one, the surge of agitation and unrest; another, the way the spirit of the event is embraced; one, the words taking flight to empower a mother's cry; another, soaring toward the light of hope; and one, the restless stirring of thoughts—wondering whence that sign might come.

Whence flows the light that might reveal her son, Bughach? Cadence upon cadence unfolds... The story itself marks a sign with every word, imbuing the tale with its own rhythmic pulse; the rhythm of the events and the rhythm of the character's inner turmoil flow as one. All of this moves upon a unified cadence—the cadence of the Mother's own style. The language of the narrative is spoken like a mother tongue; it aches with the poignancy of a mother's heart...

KEYWORDS: The grandeur of "Kitabi-Dede Korkut"; "Dede Korkut" poetics; the style of the bard Dede Korku

GİRİŞ

“Kitabi-Dədə Qorqud” min beş yüz—iki min il bundan öncəki Oğuz Türkcəsinin nişanlarını yansıdan bir abidə kimi, xalq bədii düşüncə elminin məhsuludur. Azərbaycan Oğuz Türkcəsi abidəsidir. Dünyada “Kitabi-Dədə Qorqud” qədər incə ifadə, yatımlı söyləm, ahəngdar qoşqu dili olan ikinci bir dastan tapmaq çətindir. Dastan poetika baxımından başdan-başa lirik dramatizm içərisindədir

Dünyada ilkin ədəbi Təsəvvürlər ve Sergiler, bədii keşifler, təsvir və tərənnümlər hamısı SÖZ sehrinə bağlıdır. Bu, bədii lirizmin Dede Qorqud dilinə xas olan söz və üslub axışının ən yatımlı dil poetizmidir. Dünyanın ən dərin lirizmə və epik simvollara malik “Yaradılış”, “Bilqamıs” dastanları da lirizm ve epizm simvolları ilə insanları heyrətə gətirmişdir.

Bütün dastanlar nəzmlə söylənən əhvalat, hadisə və münasibətlərdən ibarətdir. Dədə Qorqud eposu da nəzm, poeziya nümunəsidir. Lirik əhvali-ruhiyə, ümumiyyətlə, sevgi, məhəbbət, eşk motivlərindən törəyər. Amma Dədə Qorqud dastanlarındakı bütün dramatik əhvalatlar, hətta, döyüş, faciə səhnələri bele lirik dramatizmə bürünmüşdür.

1. KİTABİ-DƏDƏ QORQUD” DA DASTAN LİRİZMİ VƏ İFADƏ EPİZMİ

Dastanın hər cümləsində, hər təsvir və təhkiy axarında bunu aydın görmək olur.

Məsələn: “Dirsə xanın xatunu qayıtdı, gerü döndü. Qatlanmadı. Qırx incə qızı boyuna aldı. Bədöy ata minib, oğlancığını istəyü getdi. Qışda-yazda qarı, buzu əriməyən Qazlıq dağına gəlib şıxdı. Alşaqdan uca yerlərə çapıb çıxdı. Baxc görsə, bir dərənin içinə qarğa-quzğun enər-çıxar. Qonar-qalxar. Bədöy atın öncələdi, ol tərəfə yürüdü”(“Dirsə xan oğlu Buğacın boyu”. “Kitabi-Dədə Qorqud”, 1962, səh.23).

Dədə Qorqud dastan mətnlərində bütün sözlər axar kimi axır, uçar kimi uçur, qoşar kimi qoşur;

sözlərin her biri üslub yalına yatıb yol gedir:yol bitmir, davam edir;

Biri yatima qoşulur, yatıma yeni yatım verir: üslub öz axarlarını çoxaldır;

bir yatım: sözün səslənişidir- nəğməlidir, laylalı və kövrəldicidir;

bir yatım, həsslərin hərəkətidir- kövrələn üslubdau, hır səsi və sözü bu üslubda insanın qəlbinə çox məhrəmdir;,

bir yatım tələşın və rahatsızlığın coşqusudur- bu üslubda həyəcanlar və iradəli olma tələşları var, və hər hadisə və ənvalat də bu tələşlar və ifadə təsiri ilə daha canlı və siyətrdici üslubda olur;

bir yatım hadisənin ruhunu öz ağuşuna almasıdır- hadisələrin özləri da orijinal üslubdadır, nə qədər həyəcan və tələş və təmkinli olma və şücaət göstərmə varsa- hamısı dramatiktir;,

bir yatım sözlərin qanad açar, bu tər üslub Dirsə xanxanımının və ananın harayına-hayına güc verir;

bir yatım ümidin işığına qanad aşib uşmasıdır- qəhrəmanlar həmişə öz çövqü və həvəsi ilə meydana atılır və şərə qarşı sərt üz göstərir",

bir yatım -fikirlərin tələşıdır- dramatizm bu tələşın qaynağıdır: burada obrazların daxili həyəcanları get-gedə dha təsirli bi söyləmlə ifadə edilir: hər söyləm lirik və dramatik qanadlar üstündədir..

Hardan gələr o nişanlar, bu əlamətlər, bu cəlbedici ifadə dramatimi, bu səli və yığcan şairanə ifadəetmə poetizmi?

Beləcə, getdikcə artan və dərinləşən və genişlənən Bütün üslublar sözlərin axari gur çay kimi axır, uçar kimi uçur, qoşar kimi qoşur;

Və beləcə sözlərin və cümlələrin her biri üslub yalına yatıb yol gedir:

yatima qoşulur, yatıma yeni yatım verir:

bir yatım: sözün səslənişidir, bir yatım, həsslərin hərəkətidir,

bir yatım tələşın və rahatsızlığın coşqusudur, bir yatım hadisənin ruhunu öz ağuşuna almasıdır,

bir yatım sözlərin qanad aşara ananın harayına-hayına güc verməsidir, bir yatım ümidin işığına qanad aşib uşmasıdır, bir yatım fikirlərin tələşıdır: hardan gələr o nişan?

Hardan axar o işıq ki, oğlu Buğacı nişan versin? Yatım yatım üstündən gələr…Əhvalatın özü hər sözlə bir nişan nişanlayır, nağıla nağıl ritmi verir,

hadisənin ritmi ilə obrazın daxili çırpıntılarının ritmi bir axar üstündədir. Bütün bular vahid bir yatım üstündə hərəkət edir, ananın Ana üslubu yatımı üstündə.

Təhkiyənin dili Ana dili kimi söylənir, ana qəlbi kimi göynəyir…

Dədə Qorqud dastanlarındakı ifadə poetizmini aşağıdaki tərzdən şərh etməyə çalıçdıq:

"Kitabi-Dədə Qorqud" əzəməti;

"Dədə Qorqud" poetizmi;

Ozan Dədə Qorqud üslubu.

Üslubda üslub, mənada- məna, sözdə söz axarları var Dədə Qorqudun dilində

Dədə Qorkudun Dili özündən əvvəlki min illərin və sonrakı minillərin Dil aydınlığına xas olan özəllikləri daşıyır. Hər şeydən əvvəl:

- Dədə Qorqudun dili axışlı dildir: bu, Türk diline xas olan dil yatımının ifade tərzidir: **"Alar sabah Dirsə xan qalxıbanı yerindən uru durdu. Qırx yigidin boyuna alıb, Bayındır xanın söhbətinə gəlirdi. Bayındır xanın yigitləri Dirsə xanı qarşıladılar. Gətirib qara otağa qondurdular, qara keçə altına döşədilər, qara qoyun yəxnisindən önünə gətirdilər,**

-- Bayındır xandan buyuruq böylədir, Xan"ım, -- dedilər"("Dirsə xan oğlu Buğacın boyunu bəyan edər").

- Dədə Qorqud Eposunda her şey – səs də, söz də, mana da, üslub da əgəməndir: burada Səs də, Söz də, Mana da bir Üslubda düyünlenir;

- burada Türk millətinin ruhu ve nəfəsi canlanır, dil açır, hərəkət edir, yaşayır.

Başqa bir nizamla: Dedə Qorqud Eposunda dil ve üslub 'Bayatı' ruhundadır. Bu dil lirik-psixoloji, həkimanə akarı olan dildir. Onun ifadə dilində sesleri görmek olur, sözlerin uçuşunu izləmək olur; orada mənalar öz mazmun və ifadə rənklərinə görə canlıdır; her deyimde bir alt kat var. Məsələn:

"Dirse Han Oğlu Buğac Boyu" yüksek-Ali söyləm dili, hərəkətli üslubla başalayır: "Xanım ney! Bir gün Qamğan oğlu Xan Bayındır yerindən durmuşdu. Şamı günlüyü yer yüzünə tiktirmişdi. Ala seyvanı göy üzünə aşanmışdı. Min yerdə ipək xalçası döşənmişdi".

Bu ifadə başlanışa bir başlamdır, səslənişə ruh verən-hərəkət verən səslənişdir: Türk Səslənişidir: hər zaman və hər yerdə Uca-Uca Səslənişlərə haraylayır: 'Haray'la 'Hey'-in üslubu, məna səsi-sərgisi fərqlidir: "haray", gəlmiş bir təhlükədən dolayı kömək üçün səslənişdir; amma 'Hey' iradənin hökmüdür, hücumdur-düşmənə qarşı gücün ifadə səslənişidir; Diqqət'e diqqət səsləyir, ehtirama ehtiram gətirir, söze ucalık rəsm edir; bu ehtiram müraciətdr: hökümlü deyil, amma höükm edir: bu, Eşk hökmüne bənzəyir: Eşk hökmünə zaval yoxdur.

Dede Qorqud dastanlarında üslub ölməyən üslubdur: çünki burada səs ölmeyen səsdir, söz ölmeyen sözdür, məna ölməyən mənadır: özəlliklər bir-birindən töreyir ve bir-birini izləyir, bir-birində nizamlanır. Bu izləmləri dörd şəkil üzrə şəkilləndirə bilərik

1. Səsin yeni səs izləmləri: burada səs **özünde olan** səsdir—yəni Azərbaycan Türkcəsinin lap ilkinden gələn doğuluş və varoluş səsidir: min illərdir gəlir; burada səsin alliterasiyası- ifade izlemi belədir: səs səsi gətirib, səs səsdən coşub: Səs Səsdən səslənib; dastanların-boyların üslub, poeziya ruhu bu səs üstündə qurulub.

2. Sözün yeni söz izləmləri: Söz özündə olan sözdür; yəni Türkcenin lap ilkindən gelən doğuluş və varoluş sözüdür: burada söz özünü ifade edib, söz sözdən gəlib, üslub islubdan gəlib: "Bəri gəlgil, başım baxtı…" deyimi ilə başlanan üslub sözün ən üsdün məqamıdır: ərin, aşiqin özünəxas ruhunun gizlinləri ilə aşkarlarını birləşdirən bir əhvalin ifadə incəliyidir.

3. Mənanın məna izləmləri: səsin söz yapısı, sözün söz yapısı və səsdən, sözdən gəlen məna yapıları—bunlar hamısı məna və fikir açımlarına xidmət edir.

4. Üslub və Üslubun yeni üslup izlemleri:

bədii lirizm və epizmin üslub izləmləri: ***səs-söz, təsvir-tərənnüm, məna-fikir*** etkilərindən doğan üslub; ***əhvalatın halına və halətinə uygun*** üslub: bu halda üslub lirizmi və epizmi hekayənin, əhvalatın özündən doğur; burada əhvalatın özü bütövdür;

buradan Üslubun başqa izləmləri, başqa şəkilləri üzə çıxır:

dramatik ifadənin-söylənişin doğurduğu üslub; ***qəhrəmanın ahvalından doğan üslub***: bu o üslubdur ki, insanın daxili halına ziddir, məsələn, igid olasın, ama acizliyğini görüb iztirab çəkəsən;

Dirse xan üslubu: bu üslub Dirse xanın xanımının ahvalından doğan üslubdur; müdrik üslubdur;

Buğac üslubu: igidliyin yeni şəkildə doğuluş üslubu, obrazın daxili hiss-lərini yansıdan üslub: "Dirsə Xan oğlu Buğac" boyunda lap ilk addımdan məna səsin üstündədir: bu səs tələşlı sesdir, bundan məna tələşları əmələ gelir; və burada məna əsas dil figurdur, mama özündən deyil, sesden, söz deyimindən asılıdır, sözdən gələn fikirdəen asılıdır

Kitab portalında-Kitabxana-da "Kitabi-Dədə Qorqud"un müasir türkçəmiz adı ile təqdimi verilir. Bu cür lüzumsuz yazı-dil forması ilə dastanın poetikası, xalq ədəbi-bədii ifadə forması pozulmuşdur. Bununla Eposun Dastan ruhu, Dil ezemeti, üslubunun ruh yatımı sönmüş, solğunlaşmış haldadaır.

Çox Teessüf!! "Kitabi-Dədə Qorqud"u dilləməyə ehtiyac yoxdur, onun özünəxas zərif, incə və canlı Xalq dili vardır: Oğuz Türkcesinin ən ali ifadə dili, üslub, fikir və düşüncənin ən həyəcanlı və sakit, en düşüncəli və təsvirli, ən obrazlı-təşbehli və məntiqi cəhətdən ən bitkin və yığcam təsvir və tərənnümlü, ən hüznlü və en gümrah vesflər dilidir. Eposda Xalq Dil kültürünün en elmi ve ən şairanə bir aydınlığı vardır

1. **"DƏDƏ QORQUD" EPOSUNDA ÜSLUB ÖZ KÖKÜNƏ-TÜRK KÖKÜNƏ –KÖMƏCİNƏ BAĞLIDIR**.

Dədə Qorqud Eposu ahəngdar söz axını, lirik və incə söyləm, sözü epik dərinliyə aparan dramatik təsvir dilinə malikdir. Dastan hamısı Türk modern düşüncələrinin və bu düşüncələrin nəql, söyləm poetikasının inikasıdır. İlk söz və ilk sözə bakış-münasibət, ilk söyləmlər, təsvirlər hamısı bedii təsəvvür və düşüncələrin inikasları idi; və hər inikas şekil və mazmun sistemleri gimi ədəbi-bədii sözün nəql strukturlarına aid modernizm şəkilləridir.

Bütün dastanlar iki üslub və forma poetikası üzərində yaranmışdır: 1) epik ifadə-söyləm üslubunda, 2) lirik ifadə ahəngi üzrə bədii lirizm üslubunda.

"Dədə Qorqud" dastanları bütün ifadə tərkiblərinə, dil strukturlarına görə fantastik dərəcədə təsirli dilə və oynaq üsluba malikdir. Dastanın söz söyləmi, nitq ifadəsi də ba strukturda canlı, cəlbedicidir. Dil, bədii-poetik ifadə sintaksisi ilə səs və söz bağlantıları dastanda türk poeziyasının ən tipik əlamətləri kimi diqqəti cəlb edir.

Dastanın poetika sistemində, bədii ifadə sintezində Söz başlıca obrazdır. Bu mənada, “Kitabi-Dədə Qorqud” dastanlarında poetik ranglər Sözün ifadə gücündən, təhkiyə dinamizmindən, obrazların daxili aləminin ifadə psixologizmindən asılıdır. Dastanda bədii sözün poetik linqivistikası dil faktlarının zənginliyinə, ifadə strukturuna görə tamam fərqli özəlliklərə malikdir; dünya ədəbiyyatında bugünədək bu cür ifadə tərzinə, forma, məzmun tipinə görə ikinci bir əsər olmayıb. Dastanın dili mükəmməl ifadə xüsusiyyətlərinə görə fərqlənir. Bədii sözün poetik siması canlı və dramatikdir.

Bütün Türk dastanları kimi, Azərbaycan Türklərinin—Oğuzların Dədə Qorqud Eposunun dil və üslubu da milli mənsubluğu, milli özəlliy rəmzləşdirən dil və üslub abidəsidir..

Dədə Qorqud dastanlarının dili bilavasitə bədii ifadə, səs, söz ritminin dili, obrazlı deyim, yığcam, qısa, lakin mənaca geniş, sürəkli təsiroyatma dili, əhvalat, şeir, mənzum-mənsur ifadə dilidir. Dastanın dili və üslbu xalq poetikası dili və üslubudur.

Dədə Qorqud Eposunun dili və üslubu bədii nişanlar və tərkiblər baxımından çoxsəsli, çoxsözlüdür. Bədii strukturolizmin ən aydın və ən sərbəst formasıdır, sonrakı dövrlərdə yazılı dilin strukturunda ağırlıq, ərəb-fars sözlərinin yükü altında oldu. Bədii poetika səs, söz, cümlə, üslub, məna, fikir, məzmun, forma, ölçü, nizam poetikası deməkdir. Dastanlarda sözlə onun ritmik ifadə stili bir-birinin içərisində, dastan dramatizminin poetik strukturundadır.

Həmid Araslınının nəşrindən(1962) sonra Eposu nəşr etdirənlərin çoxu sözlərin yazılış formasını dəyişmişlər: bu, Azərbaycan Türkcəsinin min beş yüillik tarixi dönəmlərinə və bugününe qarşı bir saygısızlıqdır.

"Kitabi- Dede Qorqud"un özü en aydın ve şairane dildedir; bele deyək ki, müdrik və axarlı, dərya yükü qədər yüklü, göydəki ulduzlar qədər səsli və parlaq işıqları ilə insan ağlının heyrət nişanlarını nişanlayan, söz və məna nişanları üslub atı ilə yola çıxaran dildedir.

Hansı milletin belə gözəl dilli, möhtəşəm abidəsi var?! Əgər başqa bir milletin belə bir inci və mərcanlar qədər parlaq abidesi lolsaydı, sözsüz ki, ona yüzmertebeli Abide qoyardı. Təəssüf ki, Bizde onu ayaqlar altına atma meylləri helə də davam edir. Bu, Dil abidəsidir, Epos abidəsidir, Böyük Ədəbiyyatın şah abidəsidir. Oğuz Türklərinin ağil və düşüncə, hiss ve duyğu, təsəvvür və təxəyyül gerçəkləri ilə canlanan Ağıl, Hikmət düyünlərini sergiləyən ədəbiyyat və Dil asimanında ən Parlaq ulduzlar topasıdır.

Bəs bu müasir Azerbaycan türkçesine uyğunlaşdırma--şekli nedir? Dilini sadələşdirməkmi istəmişlər. əgər oradakı sözləri anlamayan biri varsa, vay onun halına, çünki orada bütün sözlər bizim doğma anamız və atamızın aydın danışıq dilinə məzsus deyimlərdir. Xalq içərisində elə bir adam olmaz ki, o sözlərin mənalarını

anlamamış olsun. Bəs Kimdir Dede Qorqud dilini anlamayan? Bu əllaməçiliyi xalqın gözünə dürtmək özü Azərbaycan xalq Türkcəsinii Öz-ünden uzaqlaşdırmaq hiyləisidir.

Aydın olanı anlamaq fəziləti varkən bu anlamazlıq yarlığı ilə belə üz göstərməyə nə gerək? Bizim xalqda o= yəni anlamaq yoxdurmu? Əlbəttə var. Bizim oxucular diger Türk xalqlarından fərqli olaraq, yüz-yüz illər bundan bundan əvvəl yazılmış Divan ədəbiyyatı nimunələrini də anlayır.

Yer üzerinde "Kitabi-Dede Qorqud"dan aydın dilli, aydın üzlublu ve aydın ideyalı abide varmı?

“Dədə Qorqud” sözü özünden olan kitapdır: islubu özündendir, və üslubu özündə olan üslubdur. Dastanın dil yatımı da dünyanın ən aydın dilini Oğuzun-Azərbaycan Türkcəsinin incə bədii söyləm şəkillərini yansıtmıştır. Türk Dillerin o cür aydın poetik ve şairana sözyleniş taktı olmayıb. Bu günkü türkçələr bele, onun ifade gücü karşısında dumanlı, qarmaqarşıq bir haldadır.

“Kitabi-Dədə Qorqud” min beş yüz—iki min il bundan öncəki Oğuz Türkcəsinin nişanlarını yansıdan bir abidə kimi, xalq bədii düıüncə elminin məhsuludur. Dünyada “Kitabi-Dədə Qorqud” qədər incə ifadə, yatımlı söyləm, ahəngdar qoşqu dili olan ikinci bir dastan tapmaq çətindir. Dastan poetika baxımından başdan-başa lirik dramatizm içərisindədir

2. “KİTABİ-DEDE QORQUD” EPOSUNDAN GƏLƏN BƏDİİ LİRİZMİN SÖZ VƏ ÜSLUB AXIŞLARI

Dünyada ilkin ədəbi Təsəvvürlər ve Sergiler, bədii keşifler, təsvir və tərənnümlər hamısı SÖZ sehrinə bağlıdır. Bu, bədii lirizmin Dede Qorqud dilinə xas olan söz və üslub axışının ən yatımlı dil poetizmidir. Dünyanın ən dərin lirizmə və epik simvollara malik “Yaradılış”, “Bilqamıs” dastanları da lirizm ve epizm simvolları ilə insanları heyrətə gətirmişdir.

Bütün dastanlar nəzmlə söylənən əhvalat, hadisə və münasibətlərdən ibarətdir. Dədə Qorqud eposu da nəzm, poeziya nümunəsidir. Lirik əhvali-ruhiyə, ümumiyyətlə, sevgi, məhəbbət, eşk motivlərindən törəyər. Amma Dədə Qorqud dastanlarındakı bütün dramatik əhvalatlar, hətta, döyüş, faciə səhnələri bele lirik dramatizmə bürünmüşdür. Dastanın hər cümləsində, hər təsvir və təhkiy axarında bunu aydın görmək olur. Məsələn:

“**Dirsə xanın xatunu qayıtdı, gerü döndü. Qatlanmadı. Qırx incə qızı boyuna aldı. Bədöy ata minib, oğlancığını istəyü getdi. Qışda-yazda qarı, buzu əriməyən Qazlıq dağına gəlib şıxdı. Alşaqdan uca yerlərə çapıb çıxdı. Baxc görsə, bir dərənin içinə qarğa-quzğun enər-çıxar. Qonar-qalxar. Bədöy atın öncələdi, ol tərəfə yürüdü**”(“Dirsə xan oğlu Buğacın boyu”. “Kitabi-Dədə Qorqud”, 1962, səh.23).

Bütün sözlər axar kimi axır, uçar kimi uçur, qoşar kimi qoşur;

sözlərin her biri üslub yalına yatıb yol gedir: yatima qoşulur, yatıma yeni yatım verir:

bir yatım: sözün səslənişidir,

bir yatım: hisslərin hərəkətidir,

bir yatım tələşın və rahatsızlığın coşqusudur,

bir yatım hadisənin ruhunu öz ağuşuna almasıdır,

bir yatım sözlərin qanad açaraq ananın harayına-hayına güc verməsidir,

bir yatım ümidin işığına qanad açib uçmasıdır,

bir yatım fikirlərin tələşıdır: hardan gələr o nişan? Hardan axar o işıq ki, oğlu Buğacı nişan versin?

Yatım yatım üstündən gələr…

Əhvalatın özü hər sözlə bir nişan nişanlayır: nağıla nağıl ritmi verir,

hadisənin ritmi ilə obrazın daxili çırpıntılarının ritmi bir axar üstündədir.

Bütün bunlar vahid bir yatım üstündə hərəkət edir-- ananın Ana üslubu yatımı üstündə.

Təhkiyənin dili Ana dili kimi söylənir, ana qəlbi kimi göynəyir…

Dədə Qorkudun Dili özündən əvvəlki min illərin və sonrakı minillərin Dil aydınlığına xas olan özəllikləri daşıyır. Hər şeydən əvvəl:

- Dədə Qorqudun dili axışlı dildir: bu, Türk diline xas olan dil yatımının ifade tərzidir: **“Alar sabah Dirsə xan qalxıbanı yerindən uru durdu. Qırx yigidin boyuna alıb, Bayındır xanın söhbətinə gəlirdi. Bayındır xanın yigitləri Dirsə xanı qarşıladılar. Gətirib qara otağa qondurdular, qara keçə altına döşədilər, qara qoyun yəxnisindən önünə gətirdilər,**

-- Bayındır xandan buyuruq böylədir, Xan”ım, -- dedilər”(“Dirsə xan oğlu Buğacın boyunu bəyan edər”).

- Dədə Qorqud Eposunda her şey – səs də, söz də, mana da, üslub da əgəməndir: burada Səs də, Söz də, Mana da bir Üslubda düyünlenir;

- burada Türk millətinin ruhu ve nəfəsi canlanır, dil açır, hərəkət edir, yaşayır.

Başqa bir nizamla: Dedə Qorqud Eposunda dil ve üslub ‘Bayatı’ ruhundadır. Bu dil lirik-psixoloji, həkimanə akarı olan dildir. Onun ifadə dilində sesleri görmek olur, sözlerin uçuşunu izləmək olur; orada mənalar öz mazmun və ifadə rənklərinə görə canlıdır; her deyimde bir alt kat var. Məsələn:

“Dirse Han Oğlu Buğac Boyu” yüksek-Ali söyləm dili, hərəkətli üslubla başalayır: “Xanım ney! Bir gün Qamğan oğlu Xan Bayındır yerindən durmuşdu. Şamı günlüyü yer yüzünə tiktirmişdi. Ala seyvanı göy üzünə aşanmışdı. Min yerdə ipək xalçası döşənmişdi”.

Bu ifadə başlanışa bir başlamdır, səslənişə ruh verən-hərəkət verən səslənişdir:

Türk Səslənişidir: hər zaman və hər yerdə Uca-Uca Səslənişlərə haraylayır.

‘Haray’la ‘Hey’-in üslubu, məna səsi-sərgisi fərqlidir: “haray”, gəlmiş bir təhlükədən dolayı kömək üçün səslənişdir; amma ‘Hey’ iradənin hökmüdür, hücumdur-düşmənə qarşı gücün ifadə səslənişidir: Diqqət’e diqqət səsləyir, ehtirama ehtiram gətirir, söze ucalık rəsm edir;

bu ehtiram müraciətdr: hökümlü deyil, amma hökm edir: bu, Eşk hökmüne bənzəyir: Eşk hökmünə zaval yoxdur.

Dede Qorqud dastanlarında üslub ölməyən üslubdur: çünki burada səs ölmeyen səsdir, söz ölmeyen sözdür, məna ölməyən mənadır: özəlliklər bir-birindən töreyir ve bir-birini izləyir, bir-birində nizamlanır. Bu izləmləri dörd şəkil üzrə şəkilləndirə bilərik

1. Səsin yeni səs izləmləri: burada səs **özünde olan** səsdir—yəni Azərbaycan Türkcəsinin lap ilkinden gələn doğuluş və varoluş səsidir: min illərdir gəlir; burada səsin alliterasiyası- ifade izlemi belədir: səs səsi gətirib, səs səsdən coşub: Səs Səsdən səslənib; dastanların-boyların üslub, poeziya ruhu bu səs üstündə qurulub.

2. Sözün yeni söz izləmləri: Söz özündə olan sözdür; yəni Türkcenin lap ilkindən gelən doğuluş və varoluş sözüdür: burada söz özünü ifade edib, söz sözdən gəlib, üslub islubdan gəlib: “Bəri gəlgil, başım baxtı…” deyimi ilə başlanan üslub sözün ən üsdün məqamıdır: ərin, aşiqin özünəxas ruhunun gizlinləri ilə aşkarlarını birləşdirən bir əhvalin ifadə incəliyidir.

3. Mənanın məna izləmləri: səsin söz yapısı, sözün söz yapısı və səsdən, sözdən gəlen məna yapıları—bunlar hamısı məna və fikir açımlarına xidmət edir.

4. Üslub və Üslubun yeni üslup izlemleri:

bədii lirizm və epizmin üslub izləmləri: ***səs-söz, təsvir-tərənnüm, məna-fikir*** etkilərindən doğan üslub; ***əhvalatın halına və halətinə uygun*** üslub: bu halda üslub lirizmi və epizmi hekayənin, əhvalatın özünden doğur; burada əhvalatın özü bütövdür;

buradan Üslubun başqa izləmləri, başqa şəkilləri üzə çıxır:

dramatik ifadənin-söylənişin doğurduğu üslub; ***qəhrəmanın ahvalından doğan üslub***: bu o üslubdur ki, insanın daxili halına ziddir, məsələn, igid olasın, ama acizliyğini görüb iztirab çəkəsən;

Dirse xan üslubu: bu üslub Dirse xanın xanımının ahvalından doğan üslubdur; müdrik üslubdur;

Buğac üslubu: igidliyin yeni şəkildə doğuluş üslubu, obrazın daxili hiss-lərini yansıdan üslub: “Dirsə Xan oğlu Buğac” boyunda lap ilk addımdan məna səsin üstündədir: bu səs tələşlı sesdir, bundan məna tələşları əmələ gelir; və burada məna əsas dil figurdur, mama özündən deyil, sesden, söz deyimindən asılıdır, sözdən gələn fikirdəen asılıdır

Bütün Türk dastanları kimi, Azərbaycan Türklərinin—Oğuzların Dədə Qorqud Eposunun dil və üslubu da milli mənsubluğu, milli özəlliy rəmzləşdirən dil və üslub abidəsidir

3. DƏDƏ QORQUD EPOSUNDA ÜSLUB ÖZ KÖKÜNƏ-TÜRK KÖKÜNƏ BAĞLIDIR

Dədə Qorqud Eposu ahəngdar söz axını, lirik və incə söyləm, sözü epik dərinliyə aparan dramatik təsvir dilinə malikdir. Dastan hamısı Türk modern düşüncələrinin və bu düşüncələrin nəql, söyləm poetikasının inikasıdır. İlk söz və ilk sözə bakış-münasibət, ilk söyləmlər, təsvirlər hamısı bedii təsəvvür və düşüncələrin inikasları idi; və hər inikas şekil və mazmun sistemleri gimi ədəbi-bədii sözün nəql strukturlarına aid modernizm şəkilləridir.

Bütün dastanlar iki üslub və forma poetikası üzərində yaranmışdır:

1) epik ifadə-söyləm üslubunda, 2) lirik ifadə ahəngi üzrə bədii lirizm üslubunda.

Dədə Qorqudun Ustadnamə tərzində söylədiyi hikmətnamənin özü- şeiriyyət ritmindədir:

`Allah-Allah` deməyicə- işlər onmaz,
Qadir Tanrı verməyincə- ər bayımaz.
Əzəldən yazılmasa-
qul başına bəla gəlməz.
Əcəl vədə irməyincə-
kimsə ölməz.
Ölən adam-dirilməz,
Çıxan can geri dönməz.
Bir yigidün Qaradağ yumrusunca malı olsa-
Yığar-dərər, tələb eylər,
Nəsibindən artuğın yiyə bilməz…

(Dədə Qorqud, Bakı, 1962: 2004, səh.19).

Bu söyləmlər müdrik sözlərin ifadə lirizmidir. Hər bir hikmətli mənalandırmada dərin və bitkin, çox yığcam liriz vardır. Dədə Qorqudun dilindən söylənən hər bir söz incə lirizm və düşücəli idrakizm ifadə edir. Dastan poetikasında idraki-düşüncəli, mənala doğuran ifadələrdə lirik səmimiyyət var. Ümumilikdə "Dastanlardakı lirizm bayatıdan, layladan, ağıdan, nəğmədən törəmişdir" (Əzimli Ə.,2008. Səh.71)

“Dədə Qorqud” dastanları bütün ifadə tərkiblərinə, dil strukturlarına görə fantastik dərəcədə təsirli dilə və oynaq üsluba malikdir. Dastanın söz söyləmi, nitq ifadəsi də ba strukturda canlı, cəlbedicidir. Dil, bədii-poetik ifadə sintaksisi ilə səs və söz bağlantıları dastanda türk poeziyasının ən tipik əlamətləri kimi diqqəti cəlb edir.

Dastanın poetika sistemində, bədii ifadə sintezində Söz başlıca obrazdır. Bu mənada, “Kitabi-Dədə Qorqud” dastanlarında poetik ranglər Sözün ifadə gücündən, təhkiyə dinamizmindən, obrazların daxili aləminin ifadə psixologizmindən asılıdır. Dastanda bədii sözün poetik linqivistikası dil faktlarının zənginliyinə, ifadə strukturuna görə tamam fərqli özəlliklərə malikdir; dünya ədəbiyyatında bugünədək bu cür ifadə tərzinə, forma, məzmun tipinə görə ikinci bir əsər olmayıb. Dastanın dili mükəmməl ifadə xüsusiyyətlərinə görə fərqlənir. Bədii sözün poetik siması canlı və dramatikdir.

Ozan Dədə Qorqudun dili- xalq-Millətin danışıq,söyləm,yaradıcılıq dilidir. Bədii ifadə linqivistikasına görə dünyada ənzəngin ifadə dilidir.

Dədə Qorqudun söylədiyi dastanlar poetika baxımından janra məxsus poetizm ifadə edir. Dastan poetizmində:

-Az söz işlənmişdir:

“Ulaşıban çaylar daşsa,-dəniz olmaz,

Təkəbbürlük eyləyəni Tanrı sevməz.

Könlün uca tutan ərdə dövlət (ağıl) olmaz”.

-mənalar parlaq poetizmlərlə tutarlı və sərbəst ifadə edilir.

-mətndə bədii obrazlılıq aktivləşir, təhkiyə yığcam, şairanə olur;

Bədii təsvir-tərənnümü və ifadə ovqatını artırır (Bax(Əimli Ə. Folklor cilası: Poetik hərəkət. Naxxçlvan, 2008, səh.69).

Bədii ifadə poetikasında dastan psixologizmi var. “Kitabi-Dədə Qorqud” dastanında bədii müqəddimə və onun struktur ifadə rəngləri xalq dilinin və düşüncəsinin, müdrikliyinin poetizmini yansıdır.

Burada poetik-psixoloji inikas-ifadələr dastana xas olan bədii müqəddimə özəlliklərinin inikasıdır. Sös və söz izləminin Dədə Qorqud dilindəki struktur əlamətləri də bu linqivistik poetikada ön xəttə çıxır.

Dastanın poetika sistemində, bədii ifadə sintezində Söz başlıca obrazdır. Bu mənada, “Kitabi-Dədə Qorqud” dastanlarında poetik ranglər Sözün ifadə gücündən, təhkiyə dinamizmindən, obrazların daxili aləminin ifadə psixologizmindən asılıdır. Dastanda bədii sözün poetik linqivistikası dil faktlarının zənginliyinə, ifadə strukturuna görə tamam fərqli özəlliklərə malikdir; dünya ədəbiyyatında bugünədək bu cür ifadə tərzinə, forma, məzmun tipinə görə ikinci bir əsər olmayıb. Dastanın dili mükəmməl ifadə xüsusiyyətlərinə görə fərqlənir. Bədii sözün poetik siması canlı və dramatikdir.

Dədə Qorqud dastanlarının dili bilavasitə bədii ifadə, səs, söz ritminin dili, obrazlı deyim, yığcam, qısa, lakin mənaca geniş, sürəkli təsiroyatma dili, əhvalat, şeir, mənzum-mənsur ifadə dilidir. Dastanın dili və üslbu xalq poetikası dili və üslubudur.

Dədə Qorqud Eposunun dili və üslubu bədii nişanlar və tərkiblər baxımından çoxsəsli, çoxsözlüdür. Bədii strukturolizmin ən aydın və ən sərbəst formasıdır, sonrakı dövrlərdə yazılı dilin strukturunda ağırlıq, ərəb-fars sözlərinin yükü altında oldu. Bədii poetika səs, söz, cümlə, üslub, məna, fikir, məzmun, forma, ölçü, nizam poetikası deməkdir. Dastanlarda sözlə onun ritmik ifadə stili bir-birinin içərisində, dastan dramatizminin poetik strukturundadır.

Həmid Araslınının nəşrindən (1962) sonra Eposu nəşr etdirənlərin çoxu sözlərin yazılış formasını dəyişmişlər: bu, Azərbaycan Türkcəsinin min beş yüz- 2000 illik tarixi dönəmlərinə və bugününe qarşı bir saygısızlıqdır.

Kitab portalında-Kitabxana-da "Kitabi-Dədə Qorqud"un müasir türkçəmiz adı ile təqdimi verilir. Bu cür lüzumsuz yazı-dil forması ilə dastanın poetikası, xalq ədəbi-bədii ifadə forması pozulmuşdur. Bununla Eposun Dastan ruhu, Dil ezemeti, üslubunun ruh yatımı sönmüş, solğunlaşmış haldadaır. Çox Teessüf!! “Kitabi-Dədə Qorqud”u dilləməyə ehtiyac yoxdur, onun özünəxas zərif, incə və canlı Xalq dili vardır:

Oğuz Türkcesinin ən ali ifadə dili, üslub, fikir və düşüncənin ən həyəcanlı və sakit, en düşüncəli və təsvirli, ən obrazlı-təşbehli və məntiqi cəhətdən ən bitkin və yığcam təsvir və tərənnümlü, ən hüznlü və en gümrah vesflər dilidir. Eposda Xalq Dil kültürünün en elmi ve ən şairanə bir aydınlığı vardır.

"Kitabi- Dede Qorqud"un özü en aydın ve şairane dildedir; bele deyək ki, müdrik və axarlı, dərya yükü qədər yüklü, göydəki ulduzlar qədər səsli və parlaq işıqları ilə insan ağlının heyrət nişanlarını nişanlayan, söz və məna nişanları üslub atı ilə yola çıxaran dildedir.

Məsələn:

“Bayındır xanın yigidləri Dirsə xanı qarşıldılar,

Gəturub qara otağa qondurdılar,

Qara keçə altına döşədilər,

Qara qoyun yaxnısından öninə gətürdilər.

“Bayındır xandan buyruq böylədir, xanım!”-dedilər… (Dədə Qorqud, 2006, səh.24).

Bu qarşılama və təqdim üsulunda olan münasibətdir. Burada sözlər hücum üslubundadır. Bayandır xanın amiranə üslubudur. Dirsə xanın əhvalında bir quruluq, əzmikarlıq, və vüqarlılıq vardır. Bu münasibətlə Dirsə xan özünü sındırmır və oranı tərk edir.

“Dirsə xan aydır: “Bayındır xan benim nə əksüklüyüm gördi? Qılucumdanmu gördi, süfrəmdənmi gördi? Bəndən alçaq kişiləri ağ otağa, qızıl otağa qondurdı?

Bənim suçum nə oldı kim, qara otağa qondurdı?”- dedi” (Dədə Qorqud, 2006, səh.24-25).

Hansı milletin belə gözəl dilli, möhtəşəm abidəsi var?! Əgər başqa bir milletin belə bir inci və mərcanlar qədər parlaq abidesi olsaydı, sözsüz ki, ona yüzmertebeli Abide qoyardı. Təəssüf ki, Bizde onu ayaqlar altına atma meylləri helə də davam edir. Bu, Dil abidəsidir, Epos abidəsidir, Böyük Ədəbiyyatın şah abidəsidir. Oğuz Türklərinin ağil və düşüncə, hiss ve duyğu, təsəvvür və təxəyyül gerçəkləri ilə canlanan Ağıl, Hikmət düyünlərini sergiləyən ədəbiyyat və Dil asimanında ən Parlaq ulduzlar topasıdır.

Bəs bu müasir Azerbaycan türkçesine uyğunlaşdırma--şekli nedir? Dilini sadələşdirməkmi istəmişlər. əgər oradakı sözləri anlamayan biri varsa, vay onun halına, çünki orada bütün sözlər bizim doğma anamız və atamızın aydın danışıq dilinə məzsus deyimlərdir. Xalq içərisində elə bir adam olmaz ki, o sözlərin mənalarını anlamamış olsun.

Kitabi-Dədə Qorqud söylədiyi dastanlar-əhvalatlar də bu hikmətin təzahürdür. Təsəvvürlər ve Sergiler, bədii keşifler, təsvir və tərənnümlər hamısı SÖZ sehrinə bağlıdır. Bu, bədii lirizmin Dede Qorqud dilinə xas olan söz və üslub axışının ən yatımlı dil poetizmidir. Dünyanın ən dərin lirizmə və epik simvollara malik “Yaradılış”, “Bilqamıs” dastanları da lirizm ve epizm simvolları ilə insanları heyrətə gətirmişdir.

Bəs Kimdir Dede Qorqud dilini anlamayan? Bu əllaməçiliyi xalqın gözünə dürtmək özü Azərbaycan xalq Türkcəsinii Öz-ünden uzaqlaşdırmaq hiyləisidir.

Aydın olanı anlamaq fəziləti varkən bu anlamazlıq yarlığı ilə belə üz göstərməyə nə gerək? Bizim xalqda o= yəni anlamaq yoxdurmu? Əlbəttə var. Bizim oxucular diger Türk xalqlarından fərqli olaraq, yüz-yüz illər bundan bundan əvvəl yazılmış Divan ədəbiyyatı nimunələrini də anlayır.

Yer üzerinde "Kitabi-Dede Qorqud"dan aydın dilli, aydın üzlublu ve aydın ideyalı abide varmı? Dədə Qorqud sözü özünden olan kitapdır: üslubu özündendir, və üslubu özündə olan üslubdur. Bu Öz xalk-millət ruhunun, dil və üslub mənsubluğunun Özüdür.

Dastanın dil yatımı da dünyanın ən aydın dilini-- Oğuzun-Azərbaycan Türkcəsinin incə bədii söyləm şəkillərini yansıtmıştır. Türk Dillerin o cür aydın poetik ve şairana söyleniş taktı olmayıb. Bu günkü türkçələr bele, onun ifade gücü karşısında dumanlı, qarmaqarşıq bir haldadır.

NƏTİCƏ OLARAQ:

Dünyada insanın ilkin ədəbi aləmi özünü idraketmə, anlma və gördüşlərini gözəllik və doğruluq bxımından ifadəetmək əməlidir. Ağıl və düşüncələrin idrak işığı da onun Söz və Hikmət ədəbinə aiddir. Dastanın hər cümləsində, hər təsvir və təhkiy axarında bunu aydın görmək olur.

Məsələn: **"Dirsə xanın xatunu qayıtdı, gerü döndü. Qatlanmadı. Qırx incə qızı boyuna aldı. Bədöy ata minib, oğlancığını istəyü getdi. Qışda-yazda qarı, buzu əriməyən Qazlıq dağına gəlib şıxdı. Alşaqdan uca yerlərə çapıb çıxdı. Baxc görsə, bir dərənin içinə qarğa-quzğun enər-çıxar. Qonar-qalxar. Bədöy atın öncələdi, ol tərəfə yürüdü"(**"Dirsə xan oğlu Buğacın boyu". "Kitabi-Dədə Qorqud", 1962, səh.23).

Bütün sözlər axar kimi axır, uçar kimi uçur, qoşar kimi qoşur; sözlərin her biri üslub yalına yatıb yol gedir: yatima qoşulur, yatıma yeni yatım verir: bir yatım: sözün səslənişidir, bir yatım, həsslərin hərəkətidir, bir yatım tələşın və rahatsızlığın coşqusudur, bir yatım hadisənin ruhunu öz ağuşuna almasıdır, bir yatım sözlərin qanad aşara ananın harayına-hayına güc verməsidir, bir yatım ümidin işığına qanad aşib uşmasıdır, bir yatım fikirlərin tələşıdır: hardan gələr o nişan?

Hardan axar o işıq ki, oğlu Buğacı nişan versin? Yatım yatım üstündən gələr…Əhvalatın özü hər sözlə bir nişan nişanlayır, nağıla nağıl ritmi verir, hadisənin ritmi ilə obrazın daxili çırpıntılarının ritmi bir axar üstündədir. Bütün bular vahid bir yatım üstündə hərəkət edir, ananın Ana üslubu yatımı üstündə. Təhkiyənin dili Ana dili kimi söylənir, ana qəlbi kimi göynəyir…

"Kitabi-Dədə Qorqud" min beş yüz—iki min il bundan öncəki Oğuz Türkcəsinin nişanlarını yansıdan bir abidə kimi, xalq bədii düşüncə elminin məhsuludur. Dünyada "Kitabi-Dədə Qorqud" qədər incə ifadə, yatımlı söyləm, ahəngdar qoşqu dili olan ikinci bir dastan tapmaq çətindir. Dastan poetika baxımından başdan-başa lirik dramatizm içərisindədir.

Bütün dastanlar nəzmlə söylənən əhvalat, hadisə və münasibətlərdən ibarətdir. Dədə Qorqud eposu da nəzm, poeziya nümunəsidir. Lirik əhvali-ruhiyə, ümumiyyətlə, sevgi, məhəbbət, eşk motivlərindən törəyər. Amma Dədə Qorqud dastanlarındakı bütün dramatik əhvalatlar, hətta, döyüş, faciə səhnələri bele lirik dramatizmə bürünmüşdür.

ƏDƏBİYYAT

KİTABİ-DƏDƏ QORQUD. BAKI, 2004, 376 səh.

1. **Adilov M. .Azərbaycan dilində sintaksis təkrarlar. Bakı, 1974; M.Adilov. xalq dilində və Füzuli şeirində alliterasiya. ADU-nun "Elmi Əsərlər"i (Dil və Ədəbiyyat seriyası), Bakı, 1977, № 3**
2. **Əzimli Əbülfəz. Folklor Cilası: Poetik Hərəkət. Naxçıvan, 2008.**
3. **Ergin Muharrem. Dədə Korkut Kitabı. 14. Baskı, Ankara: Boğaziçi yayınları. 1960.**
4. **Yildirim Dursun. "Türk Folklor Araşdırmalarının Problemləri". Türk Bitiği, Ankara: Akçağ Yayını.**
5. **Yıldız Naciye. Manas destanı (V.Radlov) ve Kırqız Kültürü İle İlgili Tespit ve Tehliller. Ahkara: Türk dil Kurumu Yayınları. 1995.**
6. **Türk halk ədəbiyatı. El kitabı, 6. Baskı. Editör M.Öcal. Grafiker. Yayıcılık,Ankara. 2008, 435 seh.**
7. **Vəliyev Kamil. Dastan poetikası. Bakı, "Yazıçı", 1984.—223 səh.**

QARABAĞ UĞRUNDA SÖZLƏ DÖYÜŞƏN ŞAİR

Doçent Doktor, AYGUN AHMADOVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi, Edebiyat öğretim teknolojisi bölümü

(ahmadovaa708@gmail.com) **ORCID: 0000-0002-2464-2513**

Özet

Azerbaycan Tüm Azerbaycan halkını hedef alan Hocalı soykırımı, hayal bile edilemeyecek bir vahşet ve insanlık dışı cezalandırma yöntemleriyle karakterize edilen, insanlık tarihindeki bir barbarlık eylemi olarak yerini almıştır. Aynı zamanda bu soykırım, insanlığa karşı işlenmiş tarihi bir suç teşkil etmektedir. Hocalı trajedisinin bir soykırım olduğu gerçeği, pek çok ülkenin ve uluslararası kuruluşun karar ve bildirilerinde de yer almaktadır. On üç ülke (parlamento düzeyinde), yirmi iki ABD eyaleti ve İslam İşbirliği Teşkilatı, Hocalı soykırımını resmen tanımıştır. Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi, 22 Nisan 2010 tarihli kararında, Hocalı'daki Azerbaycanlı sivil nüfusa yönelik katliamı "savaş suçu veya insanlığa karşı suç teşkil edebilecek nitelikte, bilhassa ağır eylemler" olarak nitelendirmiştir. Bugün, "Hocalı'ya Adalet!" kampanyası dünya genelinde yankı bulmakta ve uluslararası platformlardan insanları adaletsizliğe, baskıya, zorbalığa ve terörizme karşı durmaya çağırmaktadır. Amaç; Hocalı trajedisinin gerçek mahiyetini ortaya koymak, failleri ve onları destekleyenleri dünyaya ifşa etmek ve çifte standartlı bir tutum sergileyen devletler ile uluslararası kuruluşları adalet çağrısına kulak vermeye davet etmektir.

Hocalı soykırımı, Azerbaycan tarihine en korkunç ve trajik sayfalardan biri olarak geçmiştir. Hocalı trajedisi; Khatyn, Lidice ve Oradour'daki katliamlarla kıyaslanabilecek, insanlık tarihindeki kanlı bir olaydır. Azerbaycan halkı, iki yüzyıl boyunca Ermeni milliyetçi-şovenistlerinin sürekli etnik temizlik ve soykırım politikalarına maruz kalmıştır. Azerbaycanlılar ata topraklarından sürülerek mülteci ve ülke içinde yerinden edilmiş kişiler durumuna düşürülmüş; tüm bu süreçlere Ermeniler tarafından gerçekleştirilen katliamlar eşlik etmiştir. 25-26 Şubat 1992 gecesi, Ermeni silahlı kuvvetleri Hankendi'de konuşlu bulunan eski SSCB'ye ait 366. Motorize Piyade Alayı'nın personel ve askeri teçhizatının doğrudan katılımıyla Hankendi ile Askeran arasında yer alan Hocalı şehrini ele geçirmiş ve Azerbaycan halkına karşı soykırım gerçekleştirmiştir.

Anahtar kelimeler: işgal etmiş, maruz kalmış, tarihi gerçekler, siyasi yol

A POET FIGHTING WITH WORDS FOR KARABAK

Associate Professor, Aygun Ahmadova

Azerbaijan State Pedagogical University, Department of Literature Teaching Technology

(ahmadovaa708@gmail.com) ORCID: 0000-0002-2464-2513

Abstract

The Khojaly genocide, directed against the Azerbaijani people as a whole, stands as an act of savagery in human history, characterized by unimaginable cruelty and inhumane methods of punishment. At the same time, this genocide constitutes a historic crime against humanity. The fact that the Khojaly tragedy was a genocide is reflected in the decisions and resolutions of numerous countries and international organizations. Thirteen countries at the parliamentary level, twenty-two U.S. states, and the Organization of Islamic Cooperation have officially recognized the Khojaly genocide. In its ruling dated April 22, 2010, the European Court of Human Rights characterized the massacre of the Azerbaijani civilian population of Khojaly as "acts of particular gravity which may amount to war crimes or crimes against humanity." Today, the "Justice for Khojaly!" campaign resonates across the globe, calling upon people from international platforms to stand against injustice, oppression, tyranny, and terrorism. The aim is to reveal the true nature of the Khojaly tragedy, expose the perpetrators and their backers to the world, and urge those states and international organizations that have adopted a stance of double standards to heed the call for justice.

The Khojaly genocide has gone down in the history of Azerbaijan as one of its most horrific and tragic chapters. The Khojaly tragedy is a bloody event in the history of humanity, comparable to the massacres at Khatyn, Lidice, and Oradour. For two centuries, the Azerbaijani people have been subjected to continuous policies of ethnic cleansing and genocide by Armenian nationalist-chauvinists. Azerbaijanis have been expelled from their ancestral lands and turned into refugees and internally displaced persons; all of this has been accompanied by massacres perpetrated by Armenians. On the night of February 25–26, 1992, Armenian armed forces—with the direct participation of the personnel and military hardware of the former USSR's 366th Motorized Rifle Regiment, stationed in Khankendi seized the city of Khojaly, located between Khankendi and Askeran, and committed genocide against the Azerbaijani people.

Keywords: occupied, subjected to, historical facts, political path

Giriş

Bütövlükdə Azərbaycan xalqına qarşı yönəldilmiş Xocalı soyqırımı öz ağlasığmaz qəddarlığı və qeyri-insani cəza üsulları ilə bəşər tarixində bir vəhşilik aktıdır. Bu soyqırımı, eyni zamanda, bütün bəşəriyyətə qarşı tarixi bir cinayətdir. Xocalı faciəsinin soyqırımı olması faktı dünyanın bir çox ölkələrinin və beynəlxalq təşkilatların qərarlarında, qətnamələrində əksini tapır. Dünyanın 13 ölkəsi parlament səviyyəsində, ABŞ-ın 22 ştatı, İslam Əməkdaşlıq Təşkilatı Xocalı soyqırımını rəsmən tanıyıb. Avropa İnsan Haqları Məhkəməsi 2010-cu il 22 aprel tarixli qərarında Xocalının azərbaycanlılardan ibarət mülki əhalisinin qırılmasını "müharibə cinayətləri və ya insanlığa qarşı cinayətlər kimi qiymətləndirilə bilən xüsusilə ağır əməllər" kimi müəyyən edib. Bu gün "Xocalıya ədalət!" dünyanı gəzir, beynəlxalq kürsülərdən insanları haqsızlığa, zülmə və zülmkarlığa, terrorçuluğa qarşı mübarizəyə çağırır. Məqsəd Xocalı faciəsinin əsl mahiyyətini, cinayətkarları və onların havadarlarını dünyaya bəyan etmək, ikili standart mövqeyində dayanmış ayrı-ayrı dövlətləri, bəzi beynəlxalq təşkilatları haqqın səsinə səs verməyə çağırmaqdır. Həmçinin beynəlxalq qurumların bu faciə ilə əlaqədar və eləcə də insan hüquqları və azadlıqları haqqında qəbul edilmiş qərarlarına, müraciətlərinə hörmətlə yanaşmağa çağırmaq, həm beynəlxalq hüquq normaları çərçivəsində, həm də əxlaqlı, saf siyasi yanaşma yolu ilə Xocalı faciəsinə hüquqi və siyasi qiymət vermək istəyidir. XX əsr dünya tarixinin ən qəddar soyqırımı aktı olan Xocalı faciəsi haqqında tarixi həqiqətlərin beynəlxalq ictimaiyyətə çatdırılması istiqamətində bünövrəsini Ümummilli lider Heydər Əliyevin qoyduğu siyasi kurs bu gün Prezident İlham Əliyev tərəfindən uğurla davam etdirilir.

Xocalı soyqırımı Azərbaycan tarixinə ən dəhşətli və faciəli səhifələrdən biri kimi daxil olub. Xocalı faciəsi Xatın, Lidisa, Oradur soyqırımı kimi insanlıq tarixinə düşmüş qanlı bir hadisədir. Azərbaycan xalqı 200 il ərzində erməni millətçi-şovinistlərinin davamlı olaraq etnik təmizləmə, soyqırımı siyasətinə məruz qalıb. Azərbaycanlılar tarixi torpaqlarından qovulub, qaçqına, məcburi köçkünə çevrilib və bütün bunlar ermənilər tərəfindən törədilmiş kütləvi qırğınlarla müşayiət olunub. 1992-ci il fevralın 25-dən 26-na keçən gecə Ermənistan silahlı qüvvələri keçmiş SSRİ-nin Xankəndidə yerləşən 366-cı motoatıcı alayının şəxsi heyətinin və texnikasının bilavasitə iştirakı ilə Xankəndi ilə Əsgəran arasında yerləşən Xocalı şəhərini zəbt edərək, Azərbaycan xalqına qarşı soyqırımı həyata keçirdi.

Ələmdar Quluzadə XX əsrin 1990-cı illərindən Azərbaycan uşaq şeirinin inkişafında öz yaradıcılığı ilə seçilən qələm sahiblərimizdəndir. Ələmdar Quluzadənin çoxsahəli yaradıcılığında uşaq ədəbiyyatının özünəməxsus yeri var. Onun uşaq şeirləri səmimiliyi, dilinin rəvanlığı ilə diqqəti cəlb edir. Təbiətə, folklora, xalq yaradıcılığına, insanların psixologiyasına yaxından bələd olan şairin uşaqlar üçün qələmə aldığı şeir və nağıllarda bu xüsusiyyət özünü daha aydın şəkildə göstərir. Düz 30 il bu inamla yazan, bu inamla yaşayan şairin

uzaqgörənliyinə, cəsarətinə, qətiyyətinə heyrət etməmək mümkün deyil. Onun “Qürbətə düşən daş” (2008) nağıllar kitabına “Nağıl həqiqəti” adlı ön söz yazan mərhum folklorşünas alim Bəhlul Abdulla şairin yaradıcılığını bütövlükdə nağıla bənzədir və şairin uşaq dünyasını əks etdirən yazılarını da onun Qarabağnaməsinin bir hissəsi kimi dəyərləndirirdi və göz önündə sanki Xocalının dərd heykəli durur.Vətəni sevmək onu körpəlikdən tanımaqdan başlayır. Qarabağı görməyən, onun faciələrini böyüklərdən eşidən gənc nəslin yaddaşlarına hopdurmaqdan başlayır vətən eşqi:

Atam ilə anamın
Söhbəti Qarabağdı.
Deyirlər ki, o torpaq
Qolubağlı dustaqdı.

“Qoca dilənçi” nağılı-nağıl kimi həqiqətdir. Belə ki, fəlakət nəticəsində viran qalan (Xocalı faciəsini xatırladan) kənddə səksən yaşını ötmüş bir qocanı intihardan bir cavan oğlan xilas edir. Didərgin düşən qoca dilənçilik edir. Bir ildən sonra yadına düşür ki, onu xilas edən gənc bir ilə qayıtmasını tapşırmışdı. Qoca qayıdır. Xarabalığın yerində təzə, gözəl kənd görür. Qoca oğlandan soruşur ki, bu gözəl evlərdə kim yaşayır, oğlan cavab verir ki, öz camaatımız yaşayır. Bəhlul Abdulla yazırdı: “Sual olunur: Ələmdarın bir ilə istədiyi bəs nə üçün illərdi başa gəlmir? Oğulsan, cavab ver!”. Kaş Bəhlul müəllim bir ilə başa gələn gözəl Ağalı kəndinə köçən öz camaatımızı görəydi. Yəqin, deyərdi ki, Ələmdar Quluzadənin nağılı həqiqət olub. Şairin “Qarabağ oyunu”, “Şəhid şəhər”, “Mənə söz verin”, “Qadan mənə Qarabağ”, “614-cü şəhid” kitablarında toplanmış şeir və poemaları özünün poetik dillə ifadə etdiyi kimi qanıyla yazılan Qarabağnaməsidir. Qarabağ hadisələri, Xocalı faciəsi, didərgin düşən ellərimiz, xalqımız, şəhid olan qəhrəman oğullarımız, dağıdılan yurd yerlərimiz - Qarabağ faciəsi haqda poetik salnamədir. “Qarabağ oyunu” 1980-ci illərin sonu, 1990-cı illərin əvvəli Azərbaycan xalqının ictimai cəsarətinin ifadəsidir. Zaman-zaman bölünən, parcalanıb hissə-hissə qonşulara pay verilən vətən torpaqları, doğma elindən, bütövlüyündən ayrı düşən xalq yenidən Qarabağ fəlakətləri ilə qarşılaşmışdı. Bu da rus imperiyasının “oyunu” olduğunu, xalqın azadlıq istəyini boğmaq üçün erməni xəyanətindən istifadə etdiyini bilə-bilə dünya bu xalqa hay vermədi. Ələmdar Quluzadə “Qarabağ oyunu” adlandırdığı poemasında yaşadığı məqamın, zamanın ovqatı ilə özünə, xalqa, dosta, düşmənə-dünyaya dedi deyəcəyini. ədib, ilk didərginlərin, yer üzünə gələn “təzə yetim”lərin faciəsini Qarabağ oyununun bir gedişi kimi də səciyyələndirir. Müharibənin özülünü, bütün sonrakı faciələrin başlanğıcı olan, ən ağrılı, mənəvi və əxlaqi gerçəkliyi əks etdirən didərginliyi

bu poemada xalqın faciəsi səviyyəsində ümumiləşdirən şair həm də bu müsibətləri yana-yana yaşamış, dilləndirə bildiyi sızıltılarla ifadə etmişdir. Bu poemada demək olar ki, Qarabağ müharibəsinə qədər olan dövrün bütün siyasi oyunları içərisindəki prosesləri mərhələ-mərhələ izlənmiş, müharibəyə doğru aparan siyasi səbəbləri dərin vətəndaşlıq hissi ilə, ürək ağrısı ilə ümumiləşdirilmişdir. "Qarabağ oyunu" Azərbaycanın müstəqilliyinə gedən yolda keçdiyi faciəli dönəmlərin ilk mərhələsinin poetik-tarixi bir xronikası, xalqın didərginlik adlı müsibətinin şeirləşmiş kadrları və ən nəhayət, bir türk oğlunun Azərbaycan adlı can yanğılarıdır.

"Şəhid şəhər" poemasını şair qeyd etdiyi kimi 1992-ci il fevral ayının 26-na keçən gecə erməni və keçmiş Sovet İttifaqı hərbi birləşmələrinin bəşər tarixində misli görünməmiş cinayətinə, şərəfsizlərin xəyanətinə qurban gedən Xocalı şəhidlərinə, bütün Xocalı zavallılarına, eləcə də həmin gecə 88 yaşında qətlə yetirilən atasına həsr etmişdir. "Şəhid şəhər" poeması ədəbi hadisədir. Şəhid olmuş şəhərin bu şəhid fəryadı yurd-yuvaya, el-obaya sonsuz sədaqət hissi ilə dolu övlad məhəbbəti, əsrimizin bütün bir mərhələsidir"-deyə yazan Xalq şairi Nəriman Həsənzadə əsəri Azərbaycan haqqında epopeya kimi dəyərləndirmişdir. "614-cü şəhid" kitabında da Xocalı soyqırımını dünyaya hayqıran, zamana sözünü eşitdirmək üçün bəşər övladlarına üz tutan şair bu həqiqəti etiraf etməyə çağırır.

2007-ci ildə çap olunmuş "Boğça" adlı şeirlər kitabından götürülmüş bu nümunə şairin vətən sevgisi, vətən həsrəti uşaq dünyasında, körpə yaddaşında sadəlövhlüklə ifadə şəkli kimi görünsə də, "Atam deyir, o dağlar bir haray qoparacaq, Yollar Azərbaycanı Şuşaya aparacaq"-inamını heç vaxt itirməyən bir nəslin böyüməsində bir çox şairlərimiz kimi Ələmdar Quluzadənin də rolu olduğunu göstərir.

Ələmdar Quluzadənin 1990-cı illərin sonunda çap etdirdiyi "Alay komandiri" poemasında vətənimizin müstəqilliyi və ərazi bütövlüyü uğrunda mübarizədə qəhrəmancasına həlak olmuş Azərbaycanın Milli Qəhrəmanı, polkovnik leytenant Şirin Mirzəyevin mənalı həyatından, məsuliyyətindən, əzəli və əbədi torpaqlarımız uğrunda ölüm-dirim mübarizəsində qəhrəmancasına həlak olmuş bir sərkərdənin enisklopedik həyatından bəhs edir. Terrorçuluğa xüsusi meylli millət kimi özlərini dünyaya tanıtmış ermənilərin işləri düşəndə göstərdikləri simasızlıqları və mənəviyyatsızlıqları şairin "Alay komandiri" poemasında geniş yer verilib.

Yaradıcılığına gənc yaşlarında başlayan şairin ilk şeirlər kitabı "Dağların yaddaşı" adı ilə 1976-cı ildə çap olunmuşdur. Onun şeirləri ilk əvvəl "Azərbaycan gəncləri", "Ədəbiyyat və incəsənət" qəzetlərində və "Ulduz" jurnallarında dərc edilmişdir. "Dağların yaddaşı" adlı kitabında sonra Ələmdar Quluzadənin birbirinin ardınca

maraqlı kitabları dərc edilmişdir. “Tumurcuqlar”, “Beş qitənin uşaqları”, “Şəhid şəhər”, “Alay komandiri”, “Ömür-gün qabaqdadır”, “İsti ocaq”, “Mənə söz verin”, “Məhləmizin uşaqları”, “Dilotu”, “Ürəyindən keçəydim”, “Ətirşah ətri”, “Qadan mənə Qarabağ”, “Boğça”, “Qürbətə düşən daş” və s. kimi kitabları misal göstərmək olar.

Ələmdar Quluzadənin “Qürbətə düşən daş” kitabında vətənə, xalqa, əməyə, anaya, dosta sevgi mövzularında yazılmış nağılları (“Papaqçı”, “Dəmirçi Daşdəmir”, “Bar ağacı”, “Bənövşə”, “Yuva”, “Kiçik qardaş”, “Nökər alim”, “Göyərçin”) geniş yer almışdır. Bir sözlə yazıçı-şair Ələmdar Quluzadənin nağılları ilə yanaşı, onun şeirləri, poemaları, pyesləri də bütün yaş qrup oxucularında maraq doğurmaqla bərabər, onları vətənpərvər ruhda da tərbiyə etmişdir. Öz səmimiliyi və dilinin rəvanlığı ilə diqqət cəlb edən şair, folkloru, kənd həyatını, təbiət hadisələrini yaxşı bilməsi, həssas müşahidələri, predmetə uşaq gözü ilə baxmaq bacarığı onun şeirlərinin uğrunu təmin edən başlıca cəhətlər kimi yadda qalır. Ələmdar Quluzadənin şair qələmi uzun illərdir ki, aramsız işləyir. Neçə-neçə yurd həsrətli şeirləri, poemaları onun qələmindən keçərək oxucularını kövrəldib və düşündürüb.

Şairin söz yaradıcılığında Azərbaycan xalqının böyük kədəri və dərdi var. Qarabağ itkisilə bağlı bu mövzularda düşüncə xarakteri əsas yer tutur. Vətəni qorumaq kişi işidir, söyləyən sənətkarımız qəlbindən keçən ağrılı duyğu və düşüncələrini məhəbbətlə qələmə alaraq, eyni zamanda yüksək epik-lirik xarakterə malik olan ədəbiyyat inciləri ərsəyə gətirib. Azərbaycanın Milli Qəhrəmanı, polkovnik-leytenant Şirin Mirzəyevin və Vətən uğrunda mübarizədə şəhid olmuş digər igid döyüşçülərimizin əziz xatirəsinə həsr olunmuş “Alay komandiri” poemasında müəllif yaxından tanıdığı, döyüş bölgələrində dəfələrlə görüşdüyü, Vətənimizin müstəqilliyi və ərazi bütövlüyü uğrunda mübarizədə həlak olmuş Milli Qəhrəman Şirin Vəli oğlu Mirzəyevin mənalı həyatının, döyüş yolunun məyyən məqamlarını bədii lövhələrlə əks etdirib. Poemada müqəddəs əzəli və əbədi torpaqlarımız uğrunda ölüm-dirim müharibəsinə atılan oğullarımızla yanaşı, o zaman iqtidarda olan bəzi yüksək rütbəli məmurların biganəliyi, laqeyidliyi və səriştəsizliyi də sərt və tünd boyalarla öz əksini tapıb. Tarixə “Xocalı faciəsi” kimi həkk olunan ədibin “Alay komandiri” poemasının hər bir misrası erməni qəsibkarları tərəfindən vətənimizin başına gətirilən faciənin örnək misalıdır. Heç vaxt şöhrət arzusunda olmayan şairin yazdıqları sadəcə könlünün sirdaşına dönərək süzülən söz və duyğularının ifadəsi deyil, xalqımızın yaşadığı faciənin olduğu kimi qələmə almasıdır. Məhz bu səbəbə, əsər insanı mərdliyə, saflığa, halallığa, mübarizliyə, yaşayıb-yaratmağa səsləyir. Onu da xüsusi qeyd etmək lazımdır ki, “Biz od üstündə doğulduq”, “Öpün, bu qanlı torpağı” söyləyən və yaradıcılığı zəngin olan sənətkarın əsərlərində müharibənin təsir və əlamətləri özünü daim biruzə verir. Bu isə müəllifin vətən, yurd, torpaq sevgisi ilə bağlıdır. “Hər qaranlıq gecənin bir işıqlı səhəri var,

deyən şair, işıqlı səhərdə yetişən yeni, ziyalı nəsillərə rahatsız günlərimizin, yuxusuz gecələrimizin məhsulu olan bu torpağın fəryadını xalqımıza çatdıraraq, insanların qanı ilə dolu olan bu kitabın bir nüsxəsini isə məzarım üstə qoyulsun" kimi ifadələrlə səslənir.

Şairin 1990-ci illər yaradıcılığından bəlli olur ki, "torpaq" fəryadı ilə alışıb-yanan ədib, vətəninin, xalqının taleyindən çox nigarandır, amma sabaha, işıqlı gələcəyə ümidi böyükdür. Onun "Salam Xocalı dərdim" poeması bu baxımdan xüsusilə təsirli əsərdir. "Toyuna, bayramına bir vaxt salam verərdim-salam, Xocalı dərdim!" Deyən şairin naləsi qulaqlardan getmir və oxucusunu düşündürür.

Təbiət, məhəbbət, insan, narahat dünya, qanlı-qadalı müharibələr, Qarabağ ağrıları mövzularında nəşr etdirdiyi kitablarla geniş oxucu kütləsinin məhəbbətini qazanan, onların marağına səbəb olan Ələmdar Quluzadə uşaqların da sevimlisidir. Bu kitabda yazıçı birinci Qarabağ müharibəsinin ağrılı-acılı tarixindən bəhs etmişdir. Cəbhədəki vəziyyəti, xalqın düşmənə qarşı mübarizəsini, olduğu kimi qələmə alan şair o dövrün ictimai-siyasi vəziyyəti əsərdə öz layiqli əksini tapmışdır. Müharibə dövründə cəbhəyə könüllü olaraq gedən şəxslər çox idi. Yazıçı bu əsərində həmin bu vəziyyəti təbii-poetik boyalarla əks etdirmiş, cəbhəyə könüllü gedənlərin torpağı canı bahasına qoruyacağı gerçəyini oxucuya çatdırmışdır.

Ölümə könüllü gedən kişilər
Torpağı könüllü verməz qadası.

Yazıçı hər kəsi birliyə və səfərbərliyə səsləyirdi. Birlik olmaqla hər çətinliyi devirə biləcəyimizə bizi inanırdı. Müharibə dövründə böyük-kiçik, cavan-yaşlı demədən hər kəs bir ürək olmuşdu. Düşmənə boyun əymirdi. Yazıçı öz əsərində xalqın birliyini də əks etdirmişdi. Hamı əlindən gələni etməyə çalışırdı. Xalq ağrılı-acılı günlərini, keçmişini unutmur, unutmayacaqdır. Yazıçıda əsərində xalqın daim keçmişini xatırladığını və vətəninin hər şeydən öndə gəldiyini göstərir. Yazıçı dərhal hərəkətə keçməyin vacibliyini qeyd edirdi. Boş durmaq yersizdir. Əgər millət bir olmasa, öz torpağına sahib çıxmasa gec-tez yurdumuzdan ayrılacağımızdan narahat idi. Yazıçı torpaqlar azad olunmayana qədər azadlıqdan danışmağın yersiz olduğunu da vurğulayırdı.

Azadlıqdan danışma
Torpaq xilas olmasa,
Yurdunun hər qarışı
Azad nəfəs almasa.

Ə.Quluzadə əsərində xalq qəhərmanı Koroğlununda adını çəkir. Vətənin oğullarına Koroğlu kimi olmasalar onun bir əfsanə olacağını qeyd edirdi.

Düşmənə divan tutan
Sevgi dolu sinədi,
Sən Koroğlu olmasan
Koroğlu əfsanədi

Amma şair haqqın daim yerini tapacağına, xalqımızın əsla mübarizəni dayandırmayacağına ümidini itirmirdi. Ermənistan tərəfindən Azərbaycan Respublikasına qarşı başlanan müharibənin səbəbləri və nəticələrinin ümumi qiymətləndirilməsi və Xocalıdakı faciəvi hadisələrin bütün mövcud faktları qəti şəkildə sübut edir ki, Azərbaycanın bu şəhərində törədilmiş cinayətlər sıradan və təsadüfi hərəkət deyil, Ermənistanın sistemli zorakılıq siyasətinin tərkib hissəsi olub. Xocalıdakı mülki insanların məqsədyönlü qırğını, sadəcə, azərbaycanlı olduqları üçün onların kütləvi məhvinə yönəlmişdi.

Ələmdar Quluzadə əsasən, ötən əsrin 70-ci illərində ədəbiyyata gəlmiş və qələminin gücü ilə söz sənətində özünəməxsus cığır açmışdır. Çünki gənc şair dərk edirdi ki, üslub insanın özüdür, təkrar olunmayan fərdiliyidir, başqalarına oxşamamasıdır, bənzərsizliyidir, öz sözü, öz səsi, öz nəfəsi ilə başqalarından fərqlənmək manerasıdır. Şairin əsərlərində emosional təsirli, aforizm mahiyyətli misralar çoxdur. Zamanın tələblərinə uyğun gələn bu şeirlərin hamısında misralardakı sərrast söz sıralanması, onun bədii hörgüsü, sözün dəyərinin uca tutulması, oxucuların qəlbini oxşayan tutumlu poetik misraların ədəbi ifadəsidir. Şairin söz yaradıcılığında Azərbaycan xalqının böyük kədəri və dərdi var. Qarabağ itkisilə bağlı bu mövzularda düşüncə xarakteri əsas yer tutur. Vətəni qorumaq kişi işidir, söyləyən sənətkarımız qəlbindən keçən ağrılı duyğu və düşüncələrini məhəbbətlə qələmə alaraq, eyni zamanda yüksək epik-lirik xarakterə malik olan ədəbiyyat inciləri ərsəyə gətirib.

Bütövlükdə Azərbaycan xalqına qarşı yönəldilmiş Xocalı soyqırımı öz ağlasığmaz qəddarlığı və qeyri-insani cəza üsulları ilə bəşər tarixində bir vəhşilik aktıdır. Bu soyqırımı, eyni zamanda, bütün bəşəriyyətə qarşı tarixi bir cinayətdir. Ələmdar Quluzadənin yaradıcılığı bütövlükdə poetik Qarabağnamə kimi Azərbaycan ədəbiyyatı tarixində ağrılı bir mərhələnin bədii salnaməsidir. Onun poeziyası Azərbaycanın həm mənəvi, həm sosial, həm siyasi durumunun nəzmə çəkilmiş tarixidir.

KAYNAKLAR

1.Əhmədov T. Azərbaycan yazıçıları. V cild, Bakı, 1995, 640 s.

2.Quluzadə Ələmdar. Alay komandiri.- B.: Ozan, 1999.- 80s

3.Quluzadə Ələmdar. Şəhid şəhər.- B.: Ozan, 1998.- 67 s

4.Quluzadə Ələmdar. Qarabağ oyunu.-B.: Azərnəşr, 1993.- 48 s

5.Məzahir Süleymanzadə. 20 yanvar: Güllələnmiş qəzet: 1990-cı il 20 Yanvar faciəsinin 20 illiyinə həsr olunur.-

Bakı: Nurlan, 2010.-142, s.

6. Nazim Axundov. Qarabağ salnamələri. Bakı, "Yazıçı", 1989, s.7.

TƏRBİYƏ PROSESİNDƏ GENDER İDENTİKLİYİNİN NƏZƏRƏ ALINMASININ ÜSTÜNLÜKLƏRİ

Qocayeva Gülarə Məhəmməd

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin Ümumi pedaqogika

kafedrasının baş müəllimi, pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru

Xülasə

Elmi məqalədə gender identikliyi və onun məzmunu, onun üzə çıxarılması amilləri, pedaqogikada gender sosiallaşması məsələləri araşdırılmışdır. Müsbət gender sosiallaşmasını formalaşdırarkən psixoloji və pedaqoji şərtlərin nəzərə alınmasının vacibliyi vurğulanmışdır.

Tərbiyə prosesində gender identikliyinin nəzərə alınmasının üstünlükləri göstərilmişdir.

Açar sözlər: gender, identiklik, sosiallaşma, kişi, qadın , müəllim

Hər bir ayrı-ayrı təhsil müəssisəsində formalaşan pedaqoji sistem mürəkkəb gender sistemidir. Burada hər bir iştirakçı müəyyən bir cinsin daşıyıcısıdır, həmyaşıdlarının, müəllimlərin - həm də müəyyən bir cinsin daşıyıcılarının çox yönlü təsirinə məruz qalır. Bir sıra tədqiqatların təhlili göstərir ki, məktəbin fəal iştirak etdiyi qız və oğlanların gender sosiallaşması ictimai və özəl sferalarda gender qarşılıqlı əlaqəsinin patriarxal stereotiplərini bərpa etməkdə davam edir.Bu stereotiplər getdikcə müasir cəmiyyətdə mövcud olan real gender münasibətləri ilə ziddiyyət təşkil edir və uşağın fərdiliyinin inkişafına mane olur. Müəllimlərin şüurunda gender stereotipləri uşaqların şüurundan daha çox ifadə olunur.

Təhsil müəssisəsi səviyyəsində gender stratifikasiyası (cəmiyyətin cinsə əsaslanan bərabərsizliyə əsaslanan təbəqələşməsi) məktəbdə kişilər varsa, onların ən çox rəhbər vəzifələrdə olmasında özünü göstərir. Tələbələr hər gün görürlər ki, müdirlər kişi, tabeliyində olanlar isə qadındır. Bundan əlavə, müəllimin cinsi ilə məktəblilər, sonra tələbələr arasında bəzi fənlər müəyyən edilir. Belə ki, peşə seçimi də cinsdən asılı olaraq proqramlaşdırılır: kişilər üçün riyaziyyat, proqramlaşdırma, fizika, qadınlar üçün isə ədəbiyyat, xarici dillər, biologiya üstünlük təşkil edir. Müəllimlərin gender münasibətlərinin məzmuna, istifadə olunan texnologiyalara və onların tədris fəaliyyətinin nəticələrinə müəyyənedici təsirini təsdiqləyən çoxlu sayda rus və xarici tədqiqatlar mövcuddur.

Hər bir təhsil müəssisəsində və bütövlükdə təhsil sistemində mövcud olan “gizli” kurikulumun mövcudluğuna işarə edir. Bu, birincisi, müəssisənin özünün təşkili, o cümlədən iş yerində gender münasibətləri, müəllim peşəsinin gender təbəqələşməsi; ikincisi, tədris olunan fənlərin məzmunu; üçüncüsü, fərdi müəllimin tədris üslubudur.

"Gizli" kurrikulumun bu üç komponenti sadəcə olaraq gender stereotiplərini əks etdirmir, həm də gender bərabərsizliyini dəstəkləyir, kişi və dominantlara üstünlük verir, qadın və atipikləri aşağı qiymətləndirir.

Gizli kurikulum akademik fənlərin məzmununda da özünü göstərir. Dərsliklərin çoxsaylı gender təhlilləri qadın alimlərin töhfəsini və kişi dəyərlərinin üstünlüyünü nəzərə almadan aydın "tədris materialının androsentrizmini" göstərir. İngilis pedaqoqu K.R.Hooksa görə, "Məktəblilərdən və tələbələrdən sakit oturmaları, göstərişlərə əməl etmələri və diqqətlə dinləmələri gözlənilir. Məhz bu davranışı cəmiyyət adətən "qadın" kimi qiymətləndirir. Beləliklə, gənc oğlan özünü "qız kimi" aparmağa məcbur olur ki, bu da onun şəxsiyyətinə mənfi təsir göstərir. Nəticədə, gənc kişilərin qeyri-kafi akademik performansı kimi bir fenomen yaranır, çünki onlar öyrənmədə uğura bəzi hörmətsizlikləri həqiqətən kişi davranışının tərkib hissəsi hesab edirlər" (Hooks, 2016, s. 23).Bu münasibətin mümkün səbəbi təhsilin cəmiyyətdə yerinə yetirdiyi, öz sistemində ənənəvi şüur formalarını ötürən qoruma funksiyasıdır. Müəllimlər gənc nəslin gender sosiallaşmasının fəal agentləri kimi çıxış edir, tələbələrin gender təhsili və tərbiyəsini bilavasitə həyata keçirirlər, buna görə də müəllimlərin kişi və qadınların məqsədi, əmək bazarının gender strukturu haqqında fikirləri onların əhəmiyyəti haqqında fikirlərinə təsir göstərir.

Genderin sosiallaşması ilk növbədə əmək bölgüsü ilə müəyyənləşən gender rollarının ayrılmasında və fərqləndirilməsində özünü göstərir. Cinslər aid olduğu cəmiyyətə uyğun sosial-mədəni obrazları özlərinə nümunə seçir, öncə təlqin və yamsılama prosesi keçir, daha sonra isə həmin obrazlara yiyələnirlər. Gender sosiallaşmasında mədəni, psixoloji amilləri bioloji amillərlə qarışdırmaq məsələnin əsas mahiyyətindən yayınmaq deməkdir. Gender rollarının müəyyənləşməsi bioloji amillərlə deyil, gender kimliyi ilə bağlıdır.

Qeyd etdiyimiz kimi, gender identikliyinin üzə çıxmasında mühüm amil ailədir. Patriarxal cəmiyyətin daşıyıcıları olan valideynlər qızlarını daha çox himayə altında saxlayır, oğlanlarına daha çox sərbəstlik verir, onları daha çox iqtisadi baxımdan asılı olmamaq istiqamətində tərbiyə edirlər. Adətən oğlan uşaqlarının üzərinə daha böyük yük qoyularaq, qızları daha itaətkar, utancaq, qorxaq olaraq yetişdirirlər.

Müxtəlif Avropa ölkələrinin məktəblərində aparılan araşdırmalar göstərib ki, oğlanlar sinifdə müəllimlərdən daha çox diqqət alırlar. Sinifdə orta hesabla qızlara oğlanlara nisbətən 20% az vaxt verilir, onlar sinifdə müxtəlif eksperimentlərin nümayiş etdirilməsində daha çox iştirak edirlər, qızlara isə adətən eksperiment üçün protokol yazmaq tapşırılır. Kifayət qədər tədris vəsaiti və ya ləvazimat olmadığı hallarda oğlan uşaqları onları daha çox alır, yeri gəlmişkən, müəllimlər onlardan daha yüksək nəticələr gözləyir, xüsusən də mücərrəd təfəkkür tələb olunan yerlərdə onların işini daha yüksək qiymətləndirirlər.

Şagirdlər nizam-intizamı pozduqda müəllimlərin reaksiyaları da dəyişir. Məlumdur ki, bu mövzuda oğlanlar qızlara nisbətən daha çox problem yaradırlar. Normal şəraitdə belə, tez-tez müəllimlər ilk olaraq şərh verirlər. Bununla belə, məlumdur ki, qızlar tərəfindən törədilən kiçik intizam pozuntuları (məsələn, oturacaqdan qışqırmaq) müəllimlər tərəfindən aktiv şəkildə rədd edilməsinə səbəb olur, halbuki onlar oğlanların eyni hərəkətlərinə sadəcə diqqət yetirməyə bilərlər. Oğlanlar qızlardan daha çox tərifləlnirlər. Ancaq fərqlər təkcə kəmiyyət baxımından deyil, həm də keyfiyyət parametrlərində mövcuddur.

Birincilər biliklərinə və düzgün cavablarına, ikinciləri itaətkarlığa və çalışqanlığa görə tərifləlnirlər. Oğlanlar özlərini apara bilmədikləri üçün, qızlar isə cavablarında səhvlərə görə mühakimə olunurlar. Beləliklə, 4-5-ci siniflərdə aparılmış bir Amerika araşdırmasında, oğlanlar üçün nəzərdə tutulmuş müəllimlərin bütün təşviqlərinin 90%-nin (müsbət rəy) uğurlu intellektual fəaliyyətə görə mükafat olduğu aşkar edilmişdir.

Qızlar bu cür təşviqlərin 80%-dən azını alıblar. İntellektual fəaliyyətdəki uğursuzluqlar üçün mənfi rəy oğlanlar üçün 30%, qızlar üçün isə 75% təşkil edib. Belə ki, müəllimlərin qızlara gizli formada göstərdiyi diqqətin kəmiyyət və keyfiyyəti onların ikinci dərəcəli rollarda olduğunu və sinifdə daha vacib insanların olduğunu başa düşür.

Müəllimlər müxtəlif cinsdən olan şagirdlərin dərsə nail olmamasını belə izah edirlər: qızlar - bacarıqsızlıq, oğlanlar - zəhmət və səyin olmaması ilə. Bu fərqlilik vacibdir, çünki qabiliyyətiniz çatışmırsa, gərgin iş və əlavə səy problemi həll etməyəcək. Nəticə etibarı ilə qızlar işləməyə daha az həvəsləndirilir və status-kvonu təbii qəbul etməyə təşviq olunurlar. Oğlanlar uğur qazanmaq üçün daha çox çalışmağa təşviq edilir. Müəllimlərin cinslərinə görə fərdi tədris və ünsiyyət üslubunda ciddi fərqlər var. Qadın müəllimlər kişi müəllimlərlə müqayisədə emosiyalarını daha açıq göstərir, nitqləri daha parlaq, daha təxəyyüllü, öz həyatlarından nümunələrlə zəngindir.

Qadınlar daha çox şifahi olmayan ünsiyyət vasitələrindən istifadə edir, münaqişəli situasiyaların həllində daha nəzakətli olurlar (“onlarla istənilən mövzuda ünsiyyət qura bilərsiniz, lakin onlar çox zaman həddən artıq emosional olurlar”; “qadınlar nadir hallarda rəsmi kostyum geyinirlər”; qadın müəllim səmimi ünsiyyətə və şəxsi problemlərin müzakirəsinə daha çox kömək edir”, “onların çoxu tələbələri öz övladları kimi qəbul edirlər, onların tərbiyəsinə cavabdehdirlər”).

Eyni zamanda, qeyri-standart vəziyyətlərdə onlar daha impulsiv və təmkinsizdirlər (“qadın müəllimlər həm xarici görünüşdə, həm də digər cəhətdən “dağıla” bilərlər: çox vaxt bu, onların əhval-ruhiyyəsi, şəxsi və peşəkar problemləri ilə bağlıdır”).

Qadın müəllimlər, ümumiyyətlə, tədris prosesinə daha yaradıcı yanaşırlar: onlar daha tez-tez dərslərin strukturunu dəyişir, əyani vəsaitlərdən daha çox istifadə edir, tədris metodlarını daha çevik birləşdirib birləşdirirlər, daha tez-tez inteqrasiya olunmuş dərsləri, dərsləri qeyri-məşğələ şəraitində keçirirlər.

Kişi müəllimlər duyğularını nümayiş etdirməkdə daha təmkinlidirlər, əsasən təhsil mövzusu çərçivəsində daha az danışırlar, lakin eyni zamanda uşaqlarla uğurla əlaqə qururlar və yumor hissi ilə sinifdə müsbət atmosferi qoruyurlar "kişilər tez-tez zarafatlaşırlar, onlar təraşsız işə gəlməyə icazə verirlər, çünki onlar üçün əsas ideyadır, həyata keçirmə prosesində paltarında gördüklərini unudurlar..."; "kişi müəllimlər öz aləmlərində "yaşayırlar", xüsusi münasibətlərin və etiket qaydaları qurulduğu yerlərdə"; "kişilər-müəllimlər cəzalandırmadan və ya mühakimə etməzdən əvvəl emosiyaları daha yaxşı idarə etməyi və mümkün nəticələr haqqında düşünməyi bacarırlar".

Kişi müəllimlər nizam-intizamla bağlı daha az çətinlik çəkirlər "kişi müəllim məktəbdə nadirdir, o, tez-tez şagirdlərə "sən" deyə müraciət edir, şagirdlər belə deyirlər"; "kişi müəllimlər şagirdlərin xarici görünüşünə az fikir verirlər, onları təhqir etmirlər.

Kişilər dərsin məqsədini daha dəqiq müəyyənləşdirir, tədris materialını və test materiallarını şagirdlərin xüsusiyyətlərinə daha yaxşı uyğunlaşdırırlar. Onlar tarixi hadisələri, elmi faktları və ya hadisələri qiymətləndirməkdə daha obyektiv olurlar "məktəbdə kişilər məktəblilərlə tədqiqat aparmağa, eksperimentlər aparmağa daha çox meyllidirlər ki, bu da tədris materialının daha obyektiv qiymətləndirilməsinə və sübuta yetirilməsinə kömək edir"; "kişi müəllimlər, demək olar ki, yox dərəcəsindədirlər. sinifdə mövzudan yayın, faktları aydın ifadə edin"; "dərsdə formallığa az əhəmiyyət verin".

Müasir ümumtəhsil məktəbinin paradoksu ondan ibarətdir ki, kurrikulumun və akademik fənlərin məzmununun açıq-aydın texnokratik və təbiətşünaslıq yönümlü olması, yəni əsasən kişi təmayüllü olmasıdır. Qadın müəllimlərin əksəriyyəti bu strateji xətti həyata keçirməlidir.

"Kişi" təhsil standartını həyata keçirən qadın müəllimlər qızlara daha yaxın olan bütün tələbələrə tələblər qoyurlar: çalışqanlıq, əzmkarlıq, nizam-intizam. Məktəb tələbləri məşqlərin hərtərəfli yerinə yetirilməsinə, təfərrüatların işlənməsinə yönəldilmişdir, tapşırıqlarda yüksək zəhmət və az yaradıcılıq nisbəti var. Bütün bunlar qızları daha əlverişli mövqeyə qoyur, çünki qadınlar adətən yeni, tipik, formal olmayan, lakin çalışqanlıq və hərtərəflilik tələb edən daha yaxşı tapşırıqları yerinə yetirirlər. Tapşırığın ilkin izahı kişi intellektinə xas olan axtarış mərhələsini aradan qaldırır. Problemin həlli prinsipini daha yaxşı başa düşmək və yadda saxlamaq üçün oğlan hər şeyi öz ağlı ilə başa düşməlidir.

Müəllimlərin təhsildə gender problemlərinin həllinə göstərdiyi yanaşmadan asılı olaraq, bütün müəllimlər bir neçə qrupa bölünür: biodeterminizm tərəfdarları (13%) cinslər arasındakı fərqlərin bioloji cəhətdən müəyyən edildiyinə inanır və "ideal"ı təsvir edərkən tamamilə fərqli keyfiyyətləri önə çəkirlər. tələbə; z struktur funksionalizm tərəfdarları (40%) oğlan və qızlarda müxtəlif keyfiyyətləri inkişaf etdirməyin zəruri olduğunu iddia edirlər, çünki gələcəkdə onlar cəmiyyətdə müxtəlif funksiyaları yerinə yetirəcəklər;

-20% müəllim "cinssiz pedaqogika"nın tərəfdarıdır, hesab edir ki, oğlan və qızlar arasında təhsildə heç bir fərq yoxdur və olmamalıdır, bu da təhsildə cinslərin bərabərliyini elan edən sovet pedaqogikasının ideyalarına uyğundur;

-gender pedaqogikasının tərəfdarları (19%) müxtəlif cinsdən olan tələbələr arasında fərqləri inkar etmir, tələbələrə fərdi yanaşmaya üstünlük verirlər (Eşel, 2005, s. 83).

Yuxarıda göstərilən bütün faktlar və bəzi digərləri gələcək müəllimlərin universitetdə təhsil aldıqları müddətdə məktəblilərdə gender təhsilinə hazırlığının və bu hazırlığın tərkib hissəsi kimi müəllimlərin gender səriştəsinin inkişaf etdirilməsinin zəruriliyini göstərir. Müasir məktəbin ən mühüm vəzifələrindən biri gənc nəslin sosiallaşmasıdır ki, bu dövrdə səmərəli şəxsi inkişaf üçün şərait yaradılır. Tələbələrin gələcəyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən onun növlərindən biri gender sosiallaşmasıdır.

Pedaqogikada gender sosiallaşması oğlan və qızlarda kişilik və qadınlıq haqqında təsəvvürlərin yaradılması, onların fərdiliyini təkmilləşdirməyə yönəlmiş və gender-rol davranışının formalaşmasına və inkişafına yönəlmiş ikitərəfli sosial-pedaqoji proses kimi başa düşülür.Onun mahiyyəti odur ki, oğlan və qızlar müəyyən bir cəmiyyətin həyat şəraitində inkişaf edərək, orada qəbul edilən gender rollarını və gender münasibətləri mədəniyyətini mənimsəyib təkrar istehsal edirlər.(Diegelmann, 1995, s.16).

Şəxsiyyətin gender sosiallaşması prosesində həlledici rol oynayan ən mühüm təhsil müəssisəsi məktəbdir. Burada tələbələr gender münasibətlərinə dair müxtəlif dərslər alırlar. Lakin bir sıra alimlərin fikrincə İ.S. Kona, A.V. Mudrik, R.Sabirova və başqalarının fikrincə məktəbdə təhsil alanların cinsinə biganədir. "Pedaqoji sistemin dörd elementi – məqsədləri, məzmunu, metodikası və tədris formaları ənənəvi olaraq "cinssiz"dir" (Azərbaycanda qadın məsələsi (XX əsrin 90-cı illərindən bu günə qədər, 2012, s.11).

L.V. Ştylevaya görə, ümumilikdə pedaqogika və təhsil bir pedaqoji hadisə kimi, şagirdlərin gender sosiallaşması məsələlərində öz mövqelərini dərk etməli və tənzimləməlidirlər, çünki məktəb tərəfindən təkrarlanan qadınlıq və kişiliyə dair ciddi standartlar dəyişən sosial hadisələr dünyasında şagirdlərin effektiv sosiallaşmasına obyektiv maneə olur (Лопаткина, 2012, с. 89)

Gender sosiallaşmasının ənənəvi mexanizmi sayəsində assimilyasiya kişiliyin və qadınlığın dominant stereotiplərinin tənqidsiz qavranılması ilə şüursuz səviyyədə baş verir. Qeyd edək ki, cəmiyyətdə gender münasibətlərindəki geridönməz sosial dəyişikliklər kişilik və qadınlıq mədəni stereotiplərində dəyişikliklərə səbəb olur ki, bu da gənclərin gender sosiallaşması üçün bələdçi olmaqla hazırda çox ziddiyyətlidir. Müasir kişilik və qadınlıq ideallarında, birincisi, həm ənənəvi, həm də müasir xüsusiyyətlər bir-birinə qarışır, ikincisi, fərdi variasiyaların müxtəlifliyini əvvəlkindən daha dolğun şəkildə nəzərə alır.

Eyni zamanda, məktəb qadınlıq və kişiliklə bağlı çoxəsrlik patriarxal stereotipləri və ənənəvi mədəniyyət standartlarını bərpa etməyə davam edir. Oğlanlar ilk növbədə fəallıq, rasionallıq, əzmkarlıq və təmkinlə tərbiyə olunurlar; qızlarda - çeviklik, emosionallıq, dəqiqlik, asılılıq, dözümlülük. Kişilik və qadınlığın bu normativ idealları məktəblilərin fərdiliyinin və şəxsi potensialının inkişafına mane olur və bütün sənayeləşmiş ölkələrin, o cümlədən müasir cəmiyyətin həyatında baş verən dəyişikliklərlə getdikcə daha çox ziddiyyət təşkil edir:

1. Ənənəvi gender təbəqələşməsinin parçalanması, qadın və kişi rollarının polaritesinin zəifləməsinə gətirib çıxarır.

2.Kişilik və qadınlıq mədəni stereotiplərinin dəyişdirilməsi.

3. Evlilik və ailə münasibətlərində dəyişikliklər.

4. Qadınlara qarşı ənənəvi cinsiyyətçi münasibətlərin azalması.

Bu dəyişikliklərlə əlaqədar olaraq pedaqogika tələbələrin gender sosiallaşmasında öz mövqeyini tənzimləməlidir. Təsadüfi deyil ki, son illərdə gender təhsili getdikcə xarici və yerli müəllimlər arasında müzakirə obyektinə çevrilir (Lətifov, Mustafa, & Camalova, 2018, s.29).

“Gender təhsili “oğlan və qız” arasındakı ziddiyyət mövqeyinə əsaslanmamalıdır, uşağın şəxsiyyətinin inkişafı üçün yeni imkanlar axtarmaq lazımdır” - S.Şaronova vurğulayır (Пушкарева, 2001, с.25-32).Buna görə də pedaqoji biliklərin gender pedaqogikası adlanan yeni sahəsi getdikcə daha çox inkişaf edir. O, gender yanaşmasının tətbiqinə əsaslanır ki, bu da genderdən asılı olmayaraq bərabər insan hüquqları prinsipi kimi eqalitarizmə əsaslanan gender-rol qarşılıqlı əlaqəsinin uyğunlaşdırılmasını nəzərdə tutur.

Gender yanaşmasının dəyəri ondan ibarətdir ki, bu, uşağın cinsi şəxsiyyətinin təzahürünə fərdi yanaşmadır, kişi və qadının davranışındakı fərqlərin bioloji deyil, sosial amillərlə müəyyən edildiyinə inanır (Feingold, 1994, s. 21).

Şəxsiyyətin sərbəst inkişafı və fərdiliyin formalaşması tarixən formalaşmış gender stereotipləri tərəfindən əngəllənir. Onlar, İ.S. Kletsina, kişiləri və qadınları hökmranlıq və asılılıqda özünü göstərən davranış nümunəsi

yaratmağa təşviq edir. Təhsilə gender yanaşması əvvəlcədən müəyyən edilmiş kişi və qadın xüsusiyyətlərindən uzaqlaşmağa imkan verir və tələbələrə ənənəvi gender stereotipləri ilə məhdudlaşmayan fərdi inkişaf yollarını göstərir (Попова, 2001, с.40-48).

Beləliklə, gender şəxsiyyətinin fərdiləşdirilməsi və hər bir şagird tərəfindən bu və ya digər şəxsiyyət modelinin yaradılmasının subyektiv mənalarını və mənalarını öyrənmək vəzifəsi yaranır. Bununla əlaqədar olaraq, pedaqoji elm tezliklə qız və oğlanların, oğlan və qızların tərbiyəsi üçün psixoloji və pedaqoji şəraiti dərk etməli olacaq ki, bu da fərdi xüsusiyyətlərin müsbət inkişafına kömək edəcək, bu da öz növbəsində uşağa fəal pedaqoji yardımı nəzərdə tutur. gender identifikasiyası və özünü həyata keçirmə ilə bağlı problemlərin həlli.

Gender şəxsiyyəti hər iki cinsdə üç yaşa qədər müəyyən edilir. Üç yaşına qədər uşaq ətrafındakı insanların cinsini aydın şəkildə ayırd edə bilir, lakin onlar arasındakı fərqin nə olduğunu bilmir. 6-7 yaşa qədər uşaqlar gender sabitliyinə nail olurlar - cinsin sabit olduğunu və dəyişdirilə bilməyəcəyini başa düşürlər. Bu, uşaqların fəaliyyətində və münasibətlərində cinsi diferensiallaşmanın sürətlə artması ilə üst-üstə düşür: oğlanlar və qızlar öz istəkləri ilə onlara müxtəlif oyunlar və partnyorlar seçirlər, müxtəlif maraqlarini inkişaf etdirirlər.

Dövlət Təhsil Standartı əsas vəzifələr arasında uşaqların yaş və fərdi xüsusiyyətlərinə uyğun sosial-mədəni mühitin formalaşdırılmasını qeyd edir.

Gender identikliyi özünü müəyyən bir cinsə aid etmək, bu cinsə xas olan norma və qaydaları mənimsəmək və davranışlarında nümayiş etdirməkdir.

Müasir pedaqogikada "gender uyğunsuzluğu" kimi bir anlayış meydana çıxdı. Kiçik yaşlı məktəblilərin gender uyğunsuzluğunun səbəbləri bunlardır: müasir valideynlərin məşğulluğu, uşaqların tərbiyəsinə kifayət qədər diqqət yetirilməməsi, tək valideynli ailələrdə uşaqların tərbiyəsi, təhsil müəssisələrində şagirdlərin gender xüsusiyyətlərinə diqqət yetirilməməsi.

Beləliklə, ibtidai məktəbdə gender təhsili kiçik yaşlı məktəblilərdə gender təhsilinin formalaşması üçün zəruridir. O, həmçinin oğlan və qızlar arasında ünsiyyətdə olan maneələri aradan qaldırmağa, onlar arasında düzgün münasibətlər qurmağa kömək edir.

Yaşayış yerindən və ətraf mühitdən asılı olmayaraq, artıq həyatın ilk altı ilində oğlan və qızların davranışlarında müəyyən fərqlər müşahidə olunur. 6-8 yaşlı qızlar mülayim və sakitdir, oğlanlar isə aktivdir və daha çox diqqət tələb edir. Üstəlik, oğlanlar daha aqressiv davranırlar. Aqressiya yaşından asılı olmayaraq kişiləri qadınlardan həmişə fərqləndirən davranış növüdür. Oğlanlar daim yüksək nailiyyətlərə diqqət yetirir və qızlara nisbətən özlərinə güvənirlər. Qızlar arasındakı fərq incəlik və həlimlikdir. Qızlar daha çox sığallanır, oğlanlar isə daha aktiv olduqları üçün mükafatlandırılırlar. Uşaqların davranışındakı başqa bir fərq, oğlan və

qızların qrup qarşılıqlı əlaqəsinin tamamilə fərqli yollarının olmasıdır. Qrupdakı qızlar ilk növbədə kimin kimə və necə davranmasına diqqət yetirirlər. Qrup birliyini artırmaq və yaxşı münasibətləri qorumaq üçün söhbətdən istifadə edirlər. "Pozitiv" olmaq və dostlarla yaxşı münasibətlər saxlamaq qızların əsas vəzifəsidir.

Öz məqsədlərinə çatmaq üçün qızlar qrupda harmoniya səviyyəsini artırır, münaqişələrdən qaçmağa və öz üstünlüyünə diqqət yetirməyə çalışırlar. Birbaşa oğlan qruplarında bütün diqqət hər bir qrup üzvünün fərdi üstünlüklərinə yönəldilir. Oğlanlar söhbətdən özlərini tərifləmək, "ərazilərini" qorumaq üçün istifadə edirlər. Özünü təsdiq etmək onların vəzifəsidir. Oğlanlar əmrlər, təhdidlər və öyünmələrlə yollarını tuturlar. Oğlanların oyunları və fəaliyyətləri vurğulanmış kişi xarakteri daşıyır: idman, müharibə, macəra. Onların rol modelləri filmlərin və serialların cəsarətli və cəsur qəhrəmanlarıdır. Məhz bu yaşda oğlanlar atasına yaxın olmağa, onunla ümumi maraqlara malik olmağa xüsusi ehtiyac duyurlar. Xüsusən də bu yaşda atanın ailədən getməsi oğlanlar üçün xüsusilə ağır olur. Əgər ata yoxdursa, deməli, onun yerinə idman bölməsində məşqçi, kişi müəllim ola biləcək bir fiqur lazımdır.

Ətrafdakı qızlar ədəbi və real həyatdakı "şahzadələri" müzakirə edir, sevimli rəssamlarının portretlərini toplamağa başlayır, böyüklər üçün çox vaxt primitiv görünən arzularını, mahnı və şeirlərini yazdıqları dəftərlərə başlayırlar. Bu yaşda qızlar analarının davranışını kopyalayır və qadın olmağı öyrənirlər. Qızlar diqqətli olmağı öyrənirlər və ilk növbədə başqaları haqqında düşünmək ehtiyacını erkən dərk edirlər. İnsan münasibətləri əsas dəyərə çevrilir. Qızlar insanlarla yaxşı münasibətlərə dəyər verməyi və saxlamağı öyrənirlər. Erkən yaşlarından davranışlarının başqalarına necə təsir etdiyini daim çaşdırırlar. Qızları və analarını ilə və ya kuklalarla oynayan qızlar əməkdaşlıq etmək qabiliyyətini inkişaf etdirir. Fəal və rəqabətli oyunlarda isə qrup ünsiyyət bacarıqlarından daha çox şəxsi keyfiyyətləri təkmilləşdirirlər.

Oğlanlar üçün isə əksinədir. Onlar qadınlıq təzahürlərini (zəiflik, göz yaşları) boğmalıdırlar - əks halda həmyaşıdları onları "qız" kimi satacaqlar. Kişi olmaq anasından fərqli olmaqdır və oğlanlar qadına xas olan hər şeydən öz fərqlərini dərk edərək şəxsiyyət hissini inkişaf etdirirlər. Onlar şəfqət, mərhəmət, qayğı və uyğunluğu dəf edirlər. Başqaları ilə münasibətlərə o qədər də əhəmiyyət vermirlər. Yeganə vacib olan onların son nəticəyə necə təsir etməsidir. Oğlanların oyunları tamamilə fərqli bir davranış növü öyrədir. Oğlanların oyunları həmişə münaqişə və rəqabət ehtiva edir. Oğlanlar münaqişə vəziyyətlərinin düzgün həllinin vacibliyini anlayır və onların həlli bacarıqlarını öyrənirlər. Rəqiblərlə döyüşməyi və onlarla oynamağı öyrənirlər. Oyunlarda oğlanlar lider və təşkilatçı bacarıqlarına yiyələnirlər. Onlar kişi iyerarxiyasında status uğrunda mübarizə aparmağı öyrənirlər. Kollektiv idman oyunları oğlanlar üçün çox vacibdir. Qızlar üçün oyunda qalib gəlmək vacib deyil,

çünki yaxşı münasibətləri qorumaq onlar üçün öz üstünlüklərini təsdiqləməkdən daha vacibdir. Ünsiyyət bacarıqlarını təkmilləşdirərək, qaliblərə fikir vermədən bir-birini tamamlamağı öyrənirlər.

Qız qruplarında münaqişələrin yaranması üçün praktiki olaraq heç bir səbəb yoxdur, çünki onlar homojendirlər və oyun qaydaları o qədər primitivdir ki, onları pozmaq çətindir. Qızlar və oğlanlar münasibətləri fərqli şəkildə qurduqlarına görə uşaq qruplarında münasibətlər fərqli şəkildə inkişaf edir. Məsələn, danışmağa başlamazdan əvvəl bir qız əvvəlki həmsöhbətin dediklərinə işarə edəcək və əvvəlkindən tamamilə fərqli öz fikrini ifadə edəcəkdir. Oğlanlar utanmadan bir-birinin sözünü kəsir, bir-birinin üstünə qışqırmağa çalışırlar. Qızlar yumşaq bir şəkildə işarə edir və dostlarını ünsiyyət prosesinə cəlb edirlər. Oğlanlar sadəcə olaraq məlumat verir və insanlara bunu-filan etməyi əmr edirlər. Qızlar bir-birlərini nəzakətlə dinləyirlər, arabir mehriban, təsdiqedici sözlər söyləyirlər. Oğlanlar daha çox həmsöhbətini ələ salır, bir-birinin sözünü kəsir və başqalarının tələblərini nəzərə almaqdan imtina edərək dərhal öz hekayələrini danışmağa çalışırlar.

Münaqişə yarananda qızlar onu hamarlaşdırmağa və razılığa gəlməyə çalışır, oğlanlar isə hədə-qorxu və fiziki güc tətbiq etməklə yaranan ziddiyyətləri həll edirlər. İdman komandalarında göründüyü kimi oğlanlar qruplarda uğurla və effektiv işləyirlər. Oğlan qruplarında heç kim başqalarının hissləri ilə maraqlanmır, qaydalara son dərəcə ciddi riayət etməklə dəstəklənir. Həm qızlar, həm də oğlanlar üçün cinsdən asılı olaraq maraqların ayrılması dövrü rol standartları və münasibətlər sistemində öz müqəddəratını təyin etmə vaxtıdır. Amma məhz bu inkişaf əks cinsə marağın yaranması, bir növ arvadbazlıqda özünü göstərir. Oğlan qıza onu başqa qızlardan ayırdığını göstərməli və həmyaşıdlarının qınağına səbəb olmadan onun diqqətini özünə çəkməlidir.

Qız da öz növbəsində həmyaşıdlarının qınağına səbəb olmadan buna cavab verməlidir. Bu daxili ziddiyyətli vəzifələr oğlanların xarici təcavüzkar hərəkətləri və qızların müdafiə hərəkətləri sistemi ilə həll olunur. Oğlanlar üçün qızların saçını çəkmək diqqəti cəlb etmək üçün ənənəvi üsuldur. Bu, xuliqanlıqdan onunla fərqlənir ki, bu, həmişə ictimai yerlərdə baş verir və hətta çox həyasız görünsə belə, qəzəb və ya incitmək istəyi daşımır. Qızların özləri tez-tez oğlanları bu cür diqqət nümayiş etdirməyə təhrik edir, onları hər şəkildə ələ salırlar. Qızlar şikayətləri ilə başqalarına göstərilən diqqəti bildirirlər. Onun olmaması qızın özünü aşağı və cəlbedici hiss etməsinə səbəb ola bilər. Davranışları çox fərqli olan oğlan və qızlar bir araya gəldikdə, oğlanlar həmişə hökmranlığı ələ keçirməyi bacarırlar.

Qızlar həmyaşıdlar qrupunda heç də passiv deyillər, lakin qarışıq qrupda onlar həmişə özlərini ikinci dərəcəli rollarda tapırlar, oğlanlara qaydaları təyin etməyə və əsas rolu oynamağa imkan verirlər. Oyunlarda oğlanlar idman və rəqabətli oyunlar vasitəsilə birgə hərəkət etməyi öyrənirlər. Onlar lider mövqe əldə etməyə

çalışırlar. Qızlar yaxşı münasibətləri inkişaf etdirmək və saxlamaqla qarşılıqlı əlaqə qurmağı öyrənirlər. Cinsdən asılı olaraq maraqların bölünməsi dövründə davranış xüsusiyyətləri böyüklərdə narahatlığa və uşaqları "nəzərə" çağırmaq istəyinə səbəb olur. Valideynlər və müəllimlər oğlan və qızlar arasında ünsiyyətə kobud şəkildə müdaxilə etməməlidirlər, çünki onlar uşaqların təbii inkişaf mərhələsindən tam və tam keçməsinə mane ola bilərlər.

Tədqiqatçı T. A. Repina qeyd edir ki, "məktəbəqədər yaşda aparıcı fəaliyyət oyun olduğu üçün onu yaşlı məktəbəqədər uşaqlarda gender şəxsiyyətinin formalaşmasının şərtlərindən və vasitələrindən biri hesab etmək olar" (Цыганкова ,2009, s.56).

Rol oyunu uşaqdan maddi məhsul tələb etməməsi ilə xarakterizə olunur. Onunla bağlı hər şey "inanma" kimi görünür. Oyun kişi və qadın davranış keyfiyyətlərinin müsbət stereotiplərini gücləndirir və uşağın cəmiyyətdəki gələcək roluna emosional müsbət münasibətin əsasını qoyur. Uşaqların rollu oyunların tətbiqinə pedaqoji rəhbərlik sayəsində müəllim uşaqlarda müəyyən sosial rollara müsbət münasibət, habelə müəyyən bir cinsin nümayəndəsi kimi özlərinə müsbət münasibət formalaşdırmaq üçün şərait yaradır. Tez-tez olur ki, oğlan və qızlar birgə fəaliyyətləri necə təşkil etməyi bilmirlər və fərqli oyunlara meyllidirlər.

T.A.Repina deyir ki, həyatın yeddinci ilində uşaqlar üçün oyun fəaliyyətinin təşkili prosesində məktəbəqədər təhsil müəssisəsi müəllimi kişiliyin və qadınlığın tam inkişafını təmin edən xüsusiyyətləri nəzərə almalıdır:

− çoxlu sayda oyun iştirakçısını təmin etmək;

− iyerarxiyanın aydınlığı (hakimiyyət-tabeçilik) üzərində düşünmək;

− oyun rəqabət qabiliyyətini və korporativ ruhu inkişaf etdirmək;

− oyun zamanı liderlik uğrunda mübarizədə oğlanların fiziki güc nümayiş etdirmə imkanlarını nəzərdən keçirmək;

− oyunun rəqabət aspekti üzərində düşünün (Ağalarov və b., 2018, s.373).

Oğlan və qızların gender şəxsiyyətinin formalaşması yalnız birgə mühitdə mümkündür ki, burada oğlan və qızlar ünsiyyət qurmaq, oynamaq və birlikdə işləmək imkanına malikdirlər, lakin eyni zamanda onlar öz fərdi xüsusiyyətlərini, habelə xüsusiyyətlərini göstərə bilərlər. Uşaqların davranışını və onların fəaliyyətinin nəticələrini (rəsm, modelləşdirmə, aplikasiya, sənətkarlıq, dizayn və s.) qiymətləndirərkən müəllim qızların intonasiyaya, qiymətləndirmə formasına və onun aşkarlığına son dərəcə həssas olduğunu xatırlamalıdır. Qızlar üçün digər uşaqların, valideynlərin və s. yanında heyran olmaq çox vacibdir. Oğlan üçün ən əhəmiyyətlisi onun

bu sahədə nailiyyət əldə etməsinin göstəricisidir: salam deməyi, ağzını fırçalamağı öyrənmək, dişlər, bir şey dizayn etmək və s.

Oğlanın əldə edə bildiyi hər bir bacarıq və nəticə onun şəxsi inkişafına müsbət təsir göstərir, ona özü ilə fəxr etməyə və yeni nailiyyətlər üçün səy göstərməyə imkan verir. Ancaq oğlanlar arasında belə bir tendensiya var ki, hər hansı bir fəaliyyət növündə nəticə əldə edərək məmnuniyyət və sevinc qazanaraq eyni şeyi təkrarlamağa hazırdırlar ki, bu da onlara bu nailiyyətlərdə möhkəmlənməyə imkan verir, lakin bu, düzgün başa düşməyi tələb edir. Rutin anları təşkil edərkən müəllim bütün uşaqların maraqlı bir şey tapmasını və başqalarını narahat etməməsini təmin etməlidir.

Birbaşa təhsil fəaliyyəti, əgər müəllim edə bilsə, məqsədyönlü şəkildə gender şəxsiyyətinin formalaşmasına kömək edəcəkdir:

− müxtəlif gender qruplarına obyektiv tələblər qoymaq;

− qadın və kişi cins qruplarının uşaqların diqqətinin konsentrasiyasındakı fərqi nəzərə alın (bəzilərinin materialı qavramağa və yadda saxlamağa hazır olması, digərlərinin isə materialın başlanmasından sonra 9 dəqiqə ərzində diqqəti gücləndirməyə hazır olmaması, buna görə də birbaşa maarifləndirici fəaliyyətlər başlayır);

− müxtəlif qruplar üçün paylama materiallarını fərqləndirmək;

− müxtəlif cins tipli uşaqların axtarış qabiliyyətinə güvənmək.

Qarışıq uşaq qruplarında iş gender növləri və cinsi-rol üstünlükləri nəzərə alınmaqla strukturlaşdırılmalıdır. Kişi qrupunda diqqət vizual məlumat, ümumiləşdirmə və nəticələrə yönəldilməlidir. Qadın qrupunda xüsusi məlumat vizual materialdan istifadə edərək yaxşı mənimsənilir. Valideynlərlə sıx əməkdaşlıq və uşaqların gender tərbiyəsi ilə bağlı maarifləndirmə işinin təşkili vacibdir.

Uşaq tərbiyə müəssisəsinin vəzifəsi valideynlərə oğlan və qızlar üçün cinsi identifikasiyanın inkişafının əhəmiyyətini izah etmək üçün rollu oyunların inkişafı üzrə məsləhətlər, söhbətlər, mühazirələr proqramı təklif etmək və valideynlərə uşaqlarla əməkdaşlıq etməyi öyrətməkdir.

Müsbət gender sosiallaşmasını formalaşdırarkən aşağıdakı psixoloji və pedaqoji şərtləri nəzərə almaq lazımdır:

1) uşaqlarda gender rollarını yerinə yetirmək üçün situasiyaların yaradılması;

2) uşaqların gender özünü tanımasına yönəlmiş mövzu-inkişaf mühitinin təşkili;

3) uşaqların gender sosiallaşması problemlərini həll etmək üçün müəllimlərin hazırlanması.

Məktəbəqədər uşaqlıq dövrü uşağın zehni inkişaf şəraitindəki dəyişikliklərlə əlaqələndirilir. Böyüklərlə münasibətlər dəyişir. Valideynlər böyüdükcə övladına olan tələbləri də artır. Bir çox böyüklər məktəbəqədər uşağın idrak fəaliyyətini məqsədyönlü şəkildə təşkil edir, yaddaşı, təfəkkürünü və qavrayışını inkişaf etdirir. Onlar müxtəlif fəaliyyət növlərini mənimsəməyə kömək edir. Uşağın böyüklərə münasibəti dəyişir. Yetkin bir uşaq üçün nümunədir, uşaq hər şeydə onu kopyalayır. Yetkin insan öz hərəkətlərinin qiymətləndirilməsi mənbəyidir. Daha çox dərəcədə, məktəbəqədər uşağın davranışına nəzarət edən bir yetkinin müsbət qiymətləndirilməsidir. Yetkinlərin qiymətləndirməsi uşağın özünə hörmətinin inkişafını və onun istəklərinin səviyyəsini müəyyən edir.

Uşağın həmyaşıdları ilə münasibətləri dəyişir. Məsələn, həyatın beşinci ilində "uşaq cəmiyyəti" yaranır, uşaqlar bir-biri ilə ünsiyyətə ehtiyac duyurlar. Məktəbəqədər uşaq birgə fəaliyyətlərdə başqalarını nəzərə almağa məcburdur. Uşaq birgə fəaliyyətlərdə iştirak etmək istəyirsə, öz nöqteyi-nəzərini təslim etməli və ya müdafiə etməlidir. Həmyaşıdları ilə bərabərlik özünü ifadə etmək üçün ilkin şərtlər yaradır.

Uşaq davranış xüsusiyyətlərindən, ünsiyyət formalarından, biliklərindən, bacarıqlarından və zehni inkişafından asılı olan bir status qazanır.

Ədəbiyyat

1.Azərbaycanda qadın məsələsi (XX əsrin 90-cı illərindən bu günə qədər) (2012). Bakı: "Təknur".

2.Diegelmann, K. (1995). *Frauen in technischen Studiengängen - Studium und Berufsperspektiven*. Darmstadt.

3.Eşel, E. (2005). Kadın ve Erkek Beyninin Farklılıkları. *Klinik Psikofarmakoloji Bülteni*, 15, 138-152.

4.Feingold, A. (1994). Gender differences in personality: a meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 116, 429-456.

5.Hooks, K. R. (2016). *Single-Gender Education at an Urban Middle School* (Doktora tezi). Walden Üniversitesi.

6.Lətifov, İ., Mustafa, Ş. & Camalova, R. (2018). *Kimya fənni üzrə dərslik (10-cu sinif)*. Bakı nəşr.

7.Ağalarov, P. və b. (2018). *Ümumi tarix dərsliyi (11-ci sinif)*. Şərq-Qərb.

8.Лопаткина, О. С. (2012). Деятельность педагога-воспитателя... *Праблемы выхавання*, 4, 142.

9.Попова, Л. В. (2001). Что нужно знать воспитателям... *Гендерный подход в дошкольной педагогике*, 40-48.

10.Пушкарева, Н. Л. (2001). Гендерная асимметрия... *Гендерный подход в дошкольной педагогике*, 25-32.

11.Цыганкова, Г. П. (2009). *Психология гендерного воспитания*. Минск.

THE BENEFITS OF CONSIDERING GENDER IDENTITY IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Gulara Mahammad Gojayeva

Senior Lecturer, Department of General Pedagogy,

Azerbaijan State Pedagogical University;

PhD in Pedagogy

Abstract

This scientific article examines gender identity and its content, the factors influencing its emergence, and issues regarding gender socialization in pedagogy. It emphasizes the importance of taking psychological and pedagogical conditions into account when fostering positive gender socialization.

The benefits of considering gender identity within the educational process are highlighted.

Keywords: gender, identity, socialization, male, female, teacher

MİRZƏ İBRAHİMOVUN HƏYATI VƏ HEKAYƏ YARADICILIĞI

THE LİFE AND STORY CREATİVİTY OF MİRZA IBRAHİMOV

Prof. Dr. Elman Quliyev

Azərbaycan, Bakı

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti

Türkoloji mərkəzin Türk ədəbiyyatı bölməsinin müdiri

Orcid: 0000-0001-5413-9479

elman.guliyev1958@gmail.com

ÖZET

M. İbrahimova ədəbi mühitdə iri həcmli əsərləri ilə yanaşı istedadlı söz ustası kimi şöhrət qazandıran , həm də hekayələri olmuşdur.İlk hekayələrində M. İbrahimov adamların mübarizə yollarını ,fəaliyyətini izləyir, səciyyəvi halları əks etdirirdi. Yazıçı 1929-cu ildə qələmə aldığı "Zəhra" hekayəsində savadsızlığa qarşı mübarizəni və bunun nəticəsində mövhumat və köhnə fikirli başlarda yeniliyin yarandığını təsvir edir.

Anahtar kelimeler: M.İbrahimov, yaradıcılıq, həyat, hekayə, nəsr

ABSTRACT

M. Ibrahimova, along with her large-scale works, has also gained fame in the literary world as a talented wordsmith, and her stories. In her first stories, M. Ibrahimov followed the ways of people's struggle, their activities, and reflected typical situations. In the story "Zahra", written in 1929, the writer describes the struggle against illiteracy and the emergence of innovation in superstitious and old-fashioned minds as a result.

Keywords: M.Ibrahimov, creativity, life, story, prose

GİRİŞ

Xalq yazıçısı və akademik Mirzə İbrahimov 15 oktyabr 1911-ci ildə Cənubi Azərbaycanın Sərab mahalının Evə kəndində kasıb kəndli ailəsində anadan olmuşdur. Anasının və kiçik bacısının ehtiyac səbəbindən dünyalarını dəyişməsindən sonra Əjdər kişi 1918-ci ildə iki kiçik yaşlı oğlu ilə bərabər işləmək üçün Bakıya gəlir. Bir il çəkmir ki, 8 yaşlı Mirzə atasını və qardaşını itirir. O, Balaxanı və Zabrat qəsəbələrində muzdurluq etməklə çörək pulu qazanır. Fabrik-zavod məktəbində təhsilini tamamladıqdan sonra Neft-Sənaye Texnikumuna daxil olur. 1930-cu ildə "Qazılan buruq" adlı ilk şeiri "Aprel alovları" məcmuəsində dərc edilir. Mirzə İbrahimov 1931-1933-cü illərdə Azərbaycan Dövlət Elmi-Tədqiqat İnstitutunun ikiillik hazırlıq şöbəsində təhsil alır.1933-1935-ci illərdə Naxçıvan MTS siyasi şöbəsinə "Surət" qəzetinin baş redaktoru vəzifəsinə göndərilir. Naxçıvandakı müşahidələr əsasında 1935-ci ildə "Həyat" pyesini yazmışdır. Mirzə İbrahimov 1935-1937-ci illərdə Sank -Peterburq (keçmiş Leninqrad) şəhərində yerləşən SSPİ Elmlər Akademiyasının Şərqşünaslıq İnstitutunun aspiranturasında təhsil alır.1938-1942-ci illərdə Bakıda müxtəlif dövlət qurumlarında çalışır. O, 1941-1942 ci illərdə Təbriz şəhərində çıxan "Vətən yolunda" qəzetinin məsul redakoru işləmişdir. 1945-ci ildə yeni təsis edlmiş Azərbaycan SSP EA-nın ilk həqiqi üzvlərindən biri olmuşdur. M. İbrahimov 1948-54-cü illərdə Azərbaycan Yazıçılar İttifaqının İdarə Heyətinin birinci katibi, 1954-1958-ci illərdə Azərbaycan Respublikası Ali Soveti Rəyasət Heyətinin sədri vəzifəsində işləmişdir. O, 1970-1986-cı illərdə Azərbaycan Yazıçılar İttifaqı İdarə Heyətini sədri olmuşdur. 1938-1989-cu illərin müxtəlif dövrlərində dəfələrlə millət vəkili statusu əldə etmişdir. Xidmətlərinə görə 1981-ci ldə Sosialist Əməyi Qəhrəmanı adı almışdır.

Mirzə İbrahimov 17 dekabr 1993-cü ildə Bakıda vəfat etmişdir. Qəbri Fəxri xiyabandadır.

M. İbrahimova ədəbi mühitdə iri həcmli əsərləri ilə yanaşı istedadlı söz ustası kimi şöhrət qazandıran , həm də hekayələri olmuşdur.İlk hekayələrində M. İbrahimov adamların mübarizə yollarını ,fəaliyyətini izləyir, səciyyəvi halları əks etdirirdi. Yazıçı 1929-cu ildə qələmə aldığı "Zəhra" hekayəsində savadsızlığa qarşı mübarizəni və bunun nəticəsində mövhumat və köhnə fikirli başlarda yeniliyin yarandığını təsvir edir.

"Qaçaq " hekayəsində 30-cu illərdə Azərbaycan kəndi üçün səciyyəvi olan bir məsələ - kənddə gedən sinfi mübarizə ön plana çəkilir. Hekayənin ideya – bədii istiqamətini də bu mübarizə təşkil edir.

Ədəbiyyatımızın əsas mövzularından biri Cənubi Azərbaycan həsrəti , 40-cı illərdə Cənubi Azərbaycanda baş vermiş milli-demokratik hərəkatın və s. göstərilməsidir. Poeziyada Səməd Vurğun, S.Rüstəm, Məmməd Araz, B.Vahabzadə, S.Tahir, N.Həsənzadə, S.Rüstəmxanlı , R.Zəka və onlarca başqa şairlərin bu mövzuya dəfələrlə müraciəti ədəbiyyatımızda Cənubi Azərbaycan inkişafının göstəricisidir. Nəsr sahəsində də istər Azərbaycan ədəbiyyatında, istərsə də digər xalqların ədəbyyatında Cənub mövzusu ayrı-ayrı

sənətkarları məşğul etmişdir. Sevunsun “Tehran” , M.S.Ordubadinin “Dumanlı Təbriz”, Makulinin “Səttərxan” romanları bu mövzu ilə əlaqədar yazılmışdır.Bu mövzunun bədii və elmi cəhətdən düzgün inikasını xalq yazıçısı M. İbrahimovun dərin, geniş və yüksək ideyalı yaradıcılığında da görə bilirik. Yazıçı İran Azərbaycanında baş verən hadisələri qələmə alaraq “Cənub hekayələri” başlıqları altında geniş oxucu kütləsinə təqdim etdi. “Cənub hekayələri”nin mövzusu o tayda yaşayan azərbaycanlıların həyatından alınmışdır. “Cənub hekayələri”nin mövzusunu yazıçı özünün 1941-1946-cı illərdə Cənubi Azərbaycanda şahidi olduğu tarixi hadisələrdən götürmüşdür. Müəllif bu hekayələrdən birinci növbədə cənublu həmvətənlərimizin inqilabi ideallara sədaqət və rəğbətini göstərir. Silsilədə tamamilə orijinal yaradıcılıq metoduna əl atılır. Bu əsərlərdə mövcud quruluşa qarşı mübarizə qəhrəmanları yazıçının başqa müsbət qəhrəmanlarından fərqlənir. Bu isə M. İbrahimov yaradıcılığında təkrarsızlıq, bənzərsizlik yaradır. Elə buna görə “Cənub hekayələri” ədibin yaradıcılığında əsas yer tutur. Müəllif “Cənub hekayələri”ndə xalqların demokratiya uğrunda mübarizəsini əks etdirir. Mübarizənin əsas səbəblərini açıqlamağa çalışır. Mövcud tarixi şəraiti insanların taleləri ilə bağlayır. Bunun nəticəsidir ki, zəhmətkeşlərə məhəbbət, azadlığa rəğbət “Cənub hekayələri”nin pafosuna çevrilir.

“Cənub hekayələri”nə daxil olan birinci hekayə “Azad”dır. “Azad” hekayəsinin əsas qəhrəmanları Azad və Fərdadır. Müəllif hər iki obrazı eyni mühitlə, eyni mübarizə yolu ilə bağlayır. Lakin ilk əvvəllərdən Azad və Fərda mürəkkəb ictimai-siyasi şəraitdən tam baş çıxara bilmirlər. Xüsusilə Fərda yaşadığı mühitlə barışmasa da, dövrün qanunları onu təmin etməsə də onun üsyankarlığı oxucunun bütün tələblərini ödəmir: “Bu nə güzəran, bu nə dirrikdir? Azad! İşləməyə yer yox , danişgahda oxumağa imkan yox, oğurluqmu edim, qardaş?”

Əsərdə az sonra Fərdanın həyata baxışlarında müəyyən dəyişikliklər yarandığının şahidi oluruq . Həmin baxışlar xalq üçün iz qoyub getməkdən – ağac əkməkdən, yol çəkməkdən və s. uzağa gedə bilmir. Lakin M. İbrahimov həmin baxışlar fonunda Fərdanın yetkinləşməsini, həyatın tam mənasını başa döşməsini , ən nəhayət isə inqilabi təşkilatda fəaliyyətini böyük inandırıcılıqla qələmə alır. Fərdanın inqilabi mühitə düşməsi onun həyatının qaynar dövrünü təşkil edir. Əsərdə xalqını azadlığa çıxarmaq üçün mübarizə yolu seçən, qəlbi güclü ehtiraslarla çırpınan obrazlardan biri Azaddır. Onu hamı Sükuti kimi tanıyır. Çünki o, İranda xalqların zülm və istibdad içində yaşamasına adi hal kimi baxır. Onda həyəcan və narazılıq müşahidə edilmir. Sonradan Cənubi Azərbaycan milli-azadlıq hərəkatına qoşulduqdan sonra Azadda böyük dəyişikliklər baş verir.

Əsərin əvvəlində “ həyatın mənası nədir? “ sualına cavab tapmayan Azad bu sualın cavabını Vətənin azadlığı naminə qaldırılmış silahda, əbədi səadətdə görür.

Azadın ölümü səhnəsinin təsviri əsərdə xüsusi ideya-bədii məna daşıyır. Gənc çağlarında xalq yolunda aldığı güllədən ölüm ayağına düşən azad “tez öldüm”- deyə fəryad qoparsa da, bu onun öz ölümü üçün

heyfsiləndiyi təəssüratına gəlmir. Çünki Azad yenidən mübarizəyə qoşulmaq, yenidən düşmənlərlə üz-üzə gəlmək istəyir və- : "Anam, yurdum, doğma Azərbaycan, məni bağışla! Sənə az fayda verdim, az yaşadım, tez öldüm!... Əziz qardaşlarım, mənim qəbrimi uca bir yerdə qazarsınız... Elə bir yerdə qazarsınız ki. oradan Azərbaycanın geniş çölləri, duru çayları, güllü çəmənləri və bağları görünsün... Həm də o yeri böyük bir yol kənarında seçərsiniz "- deyir.

Göründüyü kimi, ölümü ilə yaşamaq hüququ qazanan Azadın geniş hadisələr fonunda verilməsi hekayənin siyasi kəsərini və bədii təsirini artırır.

Üç müxtəlif hadisəni özündə birləşdirən "Tonqal başında" hekayəsi ideyası, romantik qayəsi, müasir dövrlə bağlılığı etibarilə başqa əsərlərdən seçilir. Əsərin mütərəqqi ideyası vardır. "Xalq yolunda ürəyini od kimi yandırmaq, məşələ çevirmək!" Hadisələrin mərkəzində Kərim kişi dayanır. Kərimlə çiyin -çiyinə vuruşan fədailər Vətən və azadlıq uğrunda mübarizə aparırlar.Kərim kişinin dilindən verilən hər üç hekayət xalqın səadət və azadlığından bəhs edir. Göstərilən cəhət hekayədə vahid süjet xəttinin yaradılmasına xidmət edir. Hekayənin həmin forma əlamətləri M. İbrahimovu böyük ədəbi ənənələr ilə bağlayır. Əsərin estetik təhlili və müqayisəli şərhindən sonra bir daha inanırsan ki, insan həmişə yeni mübarizələrə can atır. Hekayədə dil materiallarından ustalıqla və yerli-yerində istifadə edilməsi əsərin bədii və estetik dəyərini yüksəldir.Əsərdə xalq ruhunun sarsılmazlığı, ölməzliyi əfsanə və nağıl səhnələrdə təcəssüm etdirilir.

M. İbrahimov böyük sənətkarlıqla "Tonqal başında" hekayəsində mövzunu həyatın tələb etdiyi kəskinlikdə saxlayır, əks etdirdiyi insanlara ürəklə yanaşır. Bu ona görə belədir ki, ədib təsvir etdiyi hadisələri beynində, qanında yaşadır və böyük vətəndaşlıq , yazıçı cəsarəti ilə məsələləri hamarlaya, eyni zamanda mövzunu xalqın mübarizəsi ilə bağlaya bilir. Odur ki, yazıçı:"... həqiqi sənət zəmanə ilə , xalqın həyatı və mübarizəsi ilə bağlı olmalıdır"- prinsipini yüksək qiymətləndirir. Silsiləyə daxil olan "On iki dekabr"ın mövzusu M. İbrahimovun tarixi gün kimi yaşadığı hadisələrdən götürülmüşdür. Yazıçının qəlbini fərəh hissi ilə dolduran bu hadisənin tarixi 1945-ci ilin 12 dekabr günü ilə bağlanır. İnqilabın baş verdiyi məkanda-Təbrizdə milli-demokratik hərəkatının zəmanəmizin ən görkəmli tarixi hadisələri ilə əlaqələndirilməsi və siyasət dünyasının ən mütərəqqi mahiyyət daşıyan hadisələrilə birləşdirilməsi məhz M. İbrahimov qələminin qüdrəti ilə yeni mahiyyət qazana bilmişdir. Hekayədə istibdad boyunduruğu altında əzilən Cənubi Azərbaycan xalqının azad xalqlar sırasına çıxması tarixi şəraitə uyğun şəkildə göstərilmişdir. Müəllif həmin xalqların sarsılmaz ruh və qüdrətli mənlik hisslərinə inam yaratmaqla oxucusuna yeni mənəvi keyfiyyət təlqin edə bilmişdir.

KAYNAKLAR

1. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cilddə, I cild, Bakı: Yazıçı, 1978, 512 s.
2. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cilddə, II cild, Bakı: Yazıçı, 1978, 504 s.
3. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cilddə, III cild, Bakı: Yazıçı, 1979, 592 s.
4. İbrahimov M. Əsərləri , 10 cilddə, IV cild, Bakı: Yazıçı, 1979, 596 s.
5. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cilddə, V cild, Bakı: Yazıçı, 1980, 339 s.
6. Məmmədov X. Ədəbiyyatşünaslıq abidəsi / Ədəbiyyat qəzeti, 11 noyabr, 2005, №45, səh.1

ZOOM YORGUNLUĞUNUN DİL KÜLTÜRÜNE ETKİSİ

B/m., Lale MUSAYEVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi, Azerbaycan dili ve öğretim teknolojisi bölümü,

lala.musayeva.adpu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7701-5716

Özet

Son yıllarda dijital teknolojilerin ve çevrimiçi iletişim platformalarının yaygınlaşması, eğitim, bilim ve mesleki faaliyetlerde iletişim biçimlerinin önemli ölçüde değişmesine yol açmıştır. Özellikle Zoom, Microsoft Teams, Google Meet ve diğer video konferans platformalarının yaygın kullanımı, uzaktan eğitimin ve iş süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Bununla birlikte, uzun süreli video konferanslara katılım sonucunda ortaya çıkan psikolojik ve fizyolojik gerginlik, bilimsel literatürde "Zoom yorgunluğu" (Zoom Fatigue) kavramıyla ifade edilmektedir. Bu fenomen yalnızca bireylerin duygusal durumunu ve bilişsel faaliyetlerini değil, aynı zamanda onların konuşma davranışını, iletişim kalitesini ve dil kültürünü de ciddi biçimde etkilemektedir. Araştırmalar, uzun süre video konferanslara katılan kişilerde dikkatin azalması, bilişsel yüklenmenin artması, duygusal tükenme ve iletişimsel pasiflik gözlemlendiğini göstermektedir. Bu durumlar, konuşma sürecinde söz varlığının sınırlanmasına, konuşmanın doğaçlamalılığının azalmasına, sözdizimsel yapının basitleşmesine ve ifade araçlarının yoksullaşmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak, iletişim sırasında dil normlarına uyum zayıflamakta; konuşmanın mantıksallığı, tutarlılığı ve ifade gücü düşmektedir. Özellikle yükseköğretim kurumlarında ve bilimsel ortamda yürütülen çevrimiçi dersler ve seminerler sırasında öğretim elemanlarının ve öğrencilerin konuşma kültüründe belirli değişiklikler gözlemlenmektedir. Sözlü konuşmada duraklamaların artması, düşüncenin eksik ifadesi, tekrarların çoğalması ve sözel olmayan araçların sınırlı kullanımı, iletişim sürecinin verimliliğini azaltmaktadır. Zoom yorgunluğu, dil kültürünü sosyal-psikolojik açıdan da etkilemektedir. Video konferans sırasında katılımcıların aynı anda hem kendi görüntülerini izlemesi hem de diğer katılımcıların tepkilerini kontrol altında tutması, ek bilişsel yük oluşturmaktadır. Bu durum, konuşmanın doğal akıcılığını zayıflatmakta; iletişim sırasında duygusal ifade gücünün ve tonlamanın azalmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, teknik sorunlar, internet bağlantısındaki kesintiler ve ses kalitesinin zayıflaması, konuşmanın algılanmasını zorlaştırmakta ve iletişim sürecinde anlaşmazlıklara yol açmaktadır. Özellikle yabancı dil ve ana dili öğretiminde Zoom yorgunluğu, öğretmenlerin ve öğrencilerin iletişimsel etkinliğini zayıflatmakta, karşılıklı konuşma faaliyetinin yoğunluğunu azaltmakta ve dil becerilerinin gelişim hızını olumsuz yönde etkilemektedir. Öğretmenlerin uzun süreli çevrimiçi dersler sırasında ses tonunun monotonlaşması, öğrencilerin ise yanıt vermekten kaçınması ve pasif dinleyici konumuna geçmesi, dil

kültürünün gelişimini engelleyen etkenler arasında değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, dijital iletişim sırasında kısa ifadelerin, kısaltmaların ve resmî olmayan üslup unsurlarının artması, edebî dil normlarının korunmasına yönelik ek zorluklar yaratmaktadır. Çağdaş pedagojik yaklaşımlar, Zoom yorgunluğunun olumsuz etkilerinin azaltılması için ders süresinin optimize edilmesini, etkileşimli yöntemlerin kullanımının yaygınlaştırılmasını, video konferansların aralarla düzenlenmesini ve sözel olmayan iletişim olanaklarının artırılmasını önermektedir. Aynı zamanda dijital iletişim kültürünün oluşturulması, öğretmenlerin ve öğrencilerin dijital okuryazarlığının geliştirilmesi, konuşma etiği kurallarının çevrimiçi ortamda uygulanması ve psikolojik refahın desteklenmesi, dil kültürünün korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bakımdan Zoom yorgunluğu yalnızca psikolojik ve fizyolojik bir sorun değil, aynı zamanda çağdaş dijital toplumda dil kültürünün gelişimini etkileyen önemli bir dilbilimsel-pedagojik ve iletişimsel etken olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar kelimeler: Zoom yorgunluğu, dil kültürü, dijital iletişim, video konferans, çevrimiçi eğitim, iletişimsel yeterlik, konuşma etiği

THE IMPACT OF ZOOM FATIGUE ON LANGUAGE CULTURE

Senior lecturer, Lala MUSAYEVA

Azerbaijan State Pedagogical University, Department of Azerbaijani Language and Educational Technology, lala.musayeva.adpu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7701-5716

Abstract

In recent years, the widespread dissemination of digital technologies and online communication platforms has led to a significant transformation in the forms of communication within education, science, and professional activity. In particular, the extensive adoption of Zoom, Microsoft Teams, Google Meet, and other video conferencing platforms has become an integral part of distance education and work processes. Concurrently, the psychological and physiological strain resulting from participation in prolonged video conferences is expressed in the scholarly literature through the concept of "Zoom Fatigue." This phenomenon exerts a serious impact not only on individuals' emotional states and cognitive activity, but also on their speech behaviour, communication quality, and language culture. Research demonstrates that individuals who participate in prolonged video conferences exhibit reduced attention, increased cognitive load, emotional exhaustion, and communicative passivity. These conditions lead to a restriction of vocabulary in the speech process, a decrease in the spontaneity of speech, a simplification of syntactic structure, and an impoverishment of expressive means. Consequently, adherence to language norms during communication weakens, and the logicality, coherence, and expressiveness of speech decline. Particularly during online lectures and seminars conducted in higher education institutions and scholarly environments, certain changes are observed in the speech culture of instructors and students. The increase in pauses in oral speech, incomplete expression of thought, proliferation of repetitions, and limited use of non-verbal means reduce the effectiveness of the communication process. Zoom fatigue also affects language culture from a socio-psychological perspective. During a video conference, participants simultaneously monitoring both their own image and the reactions of other participants creates an additional cognitive load. This situation weakens the natural fluency of speech and leads to a reduction in emotional expressiveness and intonation during communication. Furthermore, technical problems, interruptions in internet connectivity, and deterioration in sound quality complicate the perception of speech and create misunderstandings in the communication process. Particularly in foreign language and native language instruction, Zoom fatigue weakens the communicative activity of teachers and students, reduces the intensity of reciprocal speech activity, and negatively affects the pace of language skill development. The monotony of teachers' vocal tone during prolonged online lessons, and students' avoidance of responding and transition to a

passive listener position, are considered among the factors hindering the development of language culture. At the same time, the increase in short expressions, abbreviations, and informal stylistic elements during digital communication creates additional challenges for the preservation of literary language norms. Contemporary pedagogical approaches recommend optimizing lesson duration, expanding the use of interactive methods, organizing video conferences with intervals, and enhancing non-verbal communication opportunities in order to mitigate the negative effects of Zoom fatigue. Simultaneously, the formation of a digital communication culture, the development of teachers' and students' digital literacy, the application of speech ethics rules in the online environment, and the support of psychological well-being are of great importance for the preservation of language culture. In this regard, Zoom fatigue should be evaluated not merely as a psychological and physiological problem, but also as a significant linguo-pedagogical and communicative factor influencing the development of language culture in contemporary digital society.

Keywords: Zoom fatigue, language culture, digital communication, video conferencing, online education, communicative competence, speech ethics

NİZAMİ GƏNCƏVİNİN “SİRLƏR XƏZİNƏSİ” POEMASINDA “DÜNYANIN MƏŞƏQQƏTİ” (XIII SÖHBƏT) BÖLMƏSİNİN NƏZƏRİ TƏHLİLİ

Ulduz Fərhad Qəhrəmanova, filologiya üzrə fəlsəfə doktoru,

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, “Ədəbiyyat” kafedrasında dosent

ulduzkahraman1@gmail.com,

Orcid İD: 0009-0003-4418-9319

Abstrakt:

Şair Nizami “Sirlər xəzinəsi” poemasının “Dünyanın məşəqqəti” adlı XIII məqalətində ilk misralarından dünyaya qoca, qəlbi dar dünya deyə müraciət etmişdir. Şair poemanın bu bölməsində Məşriq (Şərq) və Məğribi (ərəb dilində Qərb) maraqlı müqayisəsini aparır. Şairə görə Məşriq (Şərq, ərəb dilində günçıxan deməkdir) əzəldən kainata qızılı səpib, səxavət günəşini doğub, altunu (qızılı) çoxdur deyə borc verir. Məğrib isə (ərəb dilində günbatan deməkdir, Qərb) əzəldən dünyaya qızılı vermir. Məğrib isə səxavət günəşini dünyada boğub, altunu (qızılı) yoxdur adı altında axşam borc alır. Şair deyir ki, can mülkünün şahı da altun qucan olubdur. Sonra qızılquş kimi əlindən uçubdur. Misralarla tanış olanda məlum olur ki, şair Nizami qızılın Şərqdə hasil olduğunu, şərqlilərin səxavətli olduğunu deyir. Şairə görə, səxavətli Şərqlilər qızılı qərblilərə verirlər. Qərblər isə xəsisdir, qızılı yığıb saxlayırlar. Misralardakı Günəş Şərqin simvolik obrazıdır. Misralardakı can mülkünün şahı Qərb burada simvolik obrazdır.

Açar sözlər: “Sirlər xəzinəsi” poeması, dünya, Şərq, Qərb, qızıl

A THEORETİCAL ANALYSİS OF THE SECTİON "THE TRİBULATİONS OF THE WORLD" (13TH DİSCOURSE) İN NİZAMİ GANJAVİ'S POEM *THE TREASURY OF MYSTERİES*

Ulduz Farhad Kahramanova, PhD in Philology,

Associate Professor at the Department of Literature, Azerbaijan State Pedagogical University

ORCID ID: 0009-0003-4418-9319

Abstract:

In the 13th discourse of his poem *The Treasury of Mysteries*, titled "The Tribulations of the World," the poet Nizami addresses the world—right from the opening lines—as an aged entity with a narrow heart. In this section, the poet draws an interesting comparison between the *Mashriq* (the East) and the *Maghrib* (the West). According to the poet, the *Mashriq* (meaning "sunrise" in Arabic) has scattered gold across the universe since time immemorial and caused the sun of generosity to rise; possessing an abundance of gold, it acts as a lender. Conversely, the *Maghrib* (meaning "sunset" or West in Arabic) has never bestowed gold upon the world; instead, it stifles the sun of generosity and borrows gold at nightfall, claiming to possess none itself. The poet observes that even the sovereign of the realm of the soul once embraced gold, only to see it fly away from his grasp like a falcon. Upon examining the verses, it becomes evident that the poet Nizami states that gold originates in the East and that Easterners are generous. According to the poet, these generous Easterners bestow gold upon Westerners. Westerners, however, are miserly; they hoard the gold. The Sun in the verses serves as a symbolic representation of the East. The West—depicted as the "sovereign of the realm of the soul"—also appears here as a symbolic figure.

Keywords: *The Treasury of Mysteries* (poem), world, East, West, gold

Şair Nizami "Sirlər xəzinəsi" poemasının "Dünyanın məşəqqəti" adlı XIII məqalətində ilk misralarından dünyaya qoca, qəlbi dar dünya deyə müraciət etmişdir. Şair İnsanoğlunu dünyanın boyasına inanmamağa, təzə gəlin sanmağı aldanmamağı tövsiyə edir. Şair deyir ki, qocalıqda cavantək görünən insanın əlindəki çələng deyil, inan ki, əlindəki od-atəşdir. Bu dünyanın çeşməsinə aldanma, onun qoynunda ilğım (optik görünən su mənzərəsi) çağlar. Dünya malını yığıb əli dolu haqq dünyasına gedirsən. Bəyəm sən bu dünyaya əlidolu gəlmişdin ki, əlidolu da gedirsən? deyə şair İnsanoğluna sual edir:

"Yığdın dünya malını, bəli, dolu gedəsən,

Əlidolu gəlmişdin, əlidolu gedəsən?" (5, s.105)

Bu dünyadan əlidolu, varlı köçən sanmasın ki, şər-xətadan canını qurtarıb. Bu dünyadan pul-parasız köçənlər hər xətadan canını haqq dünyasında qurtarıb:

"Varla köçən sanma ki, şər-xatadan qurtarıb,

Pul-parasız köçənlər hər xatadan qurtarıb” (5, s.105)

Nə qədər qazansan da, udsan da var-dövlət bir gün əlindən çıxacaq. Axırda sənə verilənlər sənin əlindən alınacaqdır. Bu dünya qisasını qiyamətə qoymaz. Hamıdan qisasını almaq istəyər:

“Qiyamətə qoyarmı qalsın qisas bu dünya?

İstəyir ki, hamıdan alsın qisas bu dünya” (5, s.105)

İnsanoğlu, sən doqquz qapılı fələktək mis, qızılla yanma. Zər eşqi ilə gülüb qızılgül kimi açma. İnsanoğlu canı çıxana kimi qır-qızıl yığmasın. İnsanoğlunun hərisliyi öz canını cahanda oda yaxdırar. Cahandakı canını oda yaxmaxdan qorumaq istəyirsənsə, səxavətli olmağı bacarmalısan. Qızıl üstündə qəlbi qanatmaq lazım deyil.

İnsanoğlu əzəl gündən qızıla can atmasa yaxşıdır. Şair poemanın bu bölməsində Məşriq (Şərq) və Məğribi (ərəb dilində Qərb) maraqlı müqayisəsini aparır. Şairə görə Məşriq (Şərq, ərəb dilində günçıxan deməkdir) əzəldən kainata qızılı səpib, səxavət günəşini doğub, altunu (qızılı) çoxdur deyə borc verir. Məğrib isə (ərəb dilində günbatan deməkdir, Qərb) əzəldən dünyaya qızılı vermir. Məğrib isə səxavət günəşini dünyada boğub, altunu (qızılı) yoxdur adı altında axşam borc alır. Şair deyir ki, can mülkünün şahı da altun qucan olubdur. Sonra qızılquş kimi əlindən uçubdur.

Şairə görə, altun eşqi insanoğlunun canını mum (şam) kimi əritməməlidir. Nə qədər alışsan da, yansan da qızıla, pula uymamalısan, aciz qula dönməməlisən:

“Məşriq səpib əzəldən kainata qızılı,

Məğrib etssin dünyaya, neçün əta qızılı?

Məşriq doğub səxavət günəşini dünyanın,

Məğrib boğub səxavət günəşini dünyanın.

Məşriq səhər borc verir, çoxdur deyə altunu,

Məğrib axşam borc alır, yoxdur deyə altunu” (5, s.106)

Misralarla tanış olanda məlum olur ki, şair Nizami qızılın Şərqdə hasil olduğunu, şərqlilərin səxavətli olduğunu deyir. Şairə görə, səxavətli Şərqlilər qızılı qərblilərə verirlər. Qərblər isə xəsisdir, qızılı yığıb saxlayırlar. Misralardakı Günəş Şərqin simvolik obrazıdır. Misralardakı can mülkünün şahı Qərb burada simvolik obrazdır.

Poemanın XIII bölməsinə aid olan “Hacı və sufi” hekayətində də şair Nizami dünya ilə bağlı deyir:

“Dünya xata doğmağa yaranıbdır əzəldən,

Xatakarı boğmağa yaranıbdır əzəldən” (5, s.107)

Şairə görə, dünya əzəldən xətalıdır, dünya xətakarları boğmağa yaranıbdır.

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.

LİNQVİSTİK TƏHLİLİN FƏNDAXİLİ VƏ FƏNLƏRARASI İNTEQRASİYANIN QURULMASINDA ROLU

Rəhilə Hümmətova

f.ü.f.d., dosent, Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti Filologiya fakültəsi Azərbaycan dili və onun tədrisi texnologiyası bölümü, rahilahummetova@gmail.com

ORCİD 0000-0003-2521-6361

ÖZET

Dilçilik üzrə verilmiş biliklərin mənimsənilməsi, bacarığa çevrilməsi spesifik metod olan linqvistik təhlillə sıx bağlıdır. Tələbə dilçilik üzrə həm müstəqil tədqiqatçı, həm də hərtərəfli, günün tələblərinə cavab verən müəllim olmaq istəyirsə, linqvistik təhlilə, onun nəzəri-metodoloji əsaslarına yiyələnməli, linqvistik təhlilin növləri üzrə təhliletmə qabiliyyətinə sahiblənməlidir. Linqvistik təhlilin sadə formaları ibtidai siniflərdən başlanır. Yuxarı siniflərdə isə dilçiliyin bölmələri üzrə linqvistik təhlillər aparılır. Linqvistik təhlil nəzəri dilçiliyin bölmələrini daha dərindən dərk etməyə yönəldilmiş əsas metod kimi tətbiq edilir. Bu da imkan yaradır ki, dilçiliyin şöbələri üzrə dərin bilik əldə edən, zəruri bacarıqlara yiyələnən şagirdlər linqvistik təhlilin mahiyyəti, məzmunu, elmi-metodik əsasları haqqında mükəmməl bilik və bacarıqlara sahib olsun. Sosial müstəvidə baş verən proseslər təhsilin inkişafında xüsusi tələblər irəli sürür. Cəmiyyətə daha çox mövzunu öyrənən yox, öyrəndiklərini tətbiq etməyi bacaran insan lazımdır. Linqvistik təhlilə bu cür yanaşsaq, onun praktik əhəmiyyətinin nə qədər böyük olduğunu sübut etmiş olarıq. Məqalədə linqvistik təhlilin inteqrativ əsaslı təlim prosesindəki rolu, aparılma mexanizmi müəyyənləşdirilib, inteqrativlik prinsipi müasir dərsin əsas tələbi kimi qabarıq verilib. Linqvistik təhlilin fəndaxili, fənlərarası, xüsusilə ədəbiyyat fənni ilə inteqrasiyanın qurulmasındakı rolu konkret nümunələrlə əksini tapıb. Məqalədə sözlərin leksik-semantik xüsusiyyətlərinin mənimsədilməsi morfologiya və leksikologiyanın tərkibində, inteqrativliyə əsaslanaraq tədrisi məsələsi önə çəkilib. Çünki bu bölmələrdə sözün leksik-qrammatik mənası qarşılıqlı mənimsədilərsə, onların fərqi, qarşılıqlı münasibəti daha dərindən dərk edilər. Məqalədə təlim prosesində qarşıya çıxan problemlərin həllinə pedaqoji-psixoloji və metodik baxımdan yanaşılıb, təhsilalanların nitqinin düzgün, dəqiq ifadə olunmasında sözdən, onun məna çalarlarından səmərəli istifadənin əhəmiyyəti leksik təhlil müstəvisində həll edilib. Bu amil təhsilalanların təfəkkürlərinin, nitq mədəniyyətinin formalaşmasına, leksikonlarının zənginləşdirilməsinə, bədii təsvir, ifadə vasitələri haqqında təsəvvürlərinin genişlənməsinə, konkretləşlməsininə təminat verər. Məqalədə səslərin yaratdığı emosional-ekspressiv ovqat, yüksək poetik siqlət əksini tapıb, elmi üslubla bədii üslubun harmoniyası yaradılıb.

Açar sözlər: linqvistik təhlil, inteqrasiya, fəndaxili əlaqə

THE ROLE OF LINGUISTIC ANALYSIS IN BUILDING INTERDISCIPLINARY AND INTERDISCIPLINARY INTEGRATION

Rahila Hummatova

PhD in Philology, Associate Professor,

Department of Azerbaijani Language and Teaching Technology, Faculty of Philology, Azerbaijan State Pedagogical University; rahilahummetova@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2521-6361

ABSTRACT

The acquisition and transformation of linguistic knowledge into skills is closely linked to linguistic analysis, which is a specific method. If a student wants to be both an independent researcher in linguistics and a comprehensive teacher who meets the requirements of the day, he must master linguistic analysis, its theoretical and methodological bases, and have the ability to analyze the types of linguistic analysis. Simple forms of linguistic analysis begin in the elementary grades. In the upper grades, linguistic analysis is conducted by sections of linguistics. Linguistic analysis is used as the main method aimed at a deeper understanding of the sections of theoretical linguistics. This allows students who have acquired in-depth knowledge of linguistics departments and have the necessary skills to have excellent knowledge and skills about the essence, content, scientific and methodological bases of linguistic analysis. The processes taking place in the social sphere place special demands on the development of education. Society needs someone who is able to apply what they learn, not just learn more. If we approach linguistic analysis in this way, we can prove how great its practical significance is. The article defines the role of linguistic analysis in the process of integrative learning, the mechanism of its implementation, and emphasizes the principle of integrative as the main requirement of modern education. The role of linguistic analysis in the integration of interdisciplinary, interdisciplinary, especially with the subject of literature is reflected in concrete examples. The article focuses on the teaching of lexical-semantic features of words in morphology and lexicology, based on integrative. Because if the lexical-grammatical meaning of the word is mastered in these sections, their differences and mutual relations will be understood more deeply. The article approaches the solution of problems encountered in the learning process from a pedagogical-psychological and methodological point of view, the importance of effective use of words and their shades of meaning in the correct and accurate expression of students' speech is solved in the field of lexical analysis. This factor ensures the formation of students' thinking, speech culture, enrichment of lexicons, broadening and concretization of their ideas about artistic description and means of expression. The article reflects the emotional-expressive mood created by the voices, the high poetic gesture, and creates a harmony of scientific style with artistic style.

Keywords: linguistic analysis, integration, interdisciplinary communication

“İNTİBAH” ROMANI TÜRK ƏDƏBİYYATININ BƏDİİ NÜMUNƏSİ KİMİ

Aynur Zahir qızı Bədəlova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin müəllimi

https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-9288-6218

badalovaaynurrr@gmail.com

Xülasə

Namiq Kamal XIX əsr türk ədəbiyyatının inkişafında mühüm rol oynayan sənətkarlardan biri kimi nəsr yaradıcılığında dövrün ictimai və mənəvi həyatına geniş yer vermişdir. Onun “İntibah” romanı türk ədəbiyyatında roman janrının inkişafında müstəsna əhəmiyyət daşıyan əsərlərdən biridir. Əsərdə insan xarakterinin formalaşması, sevgi və ailə münasibətləri, sosial mühit, insanın daxili aləmində baş verən dəyişikliklər geniş şəkildə təsvir edilmişdir. Əsərin mərkəzində Əli bəyin Məhpeykər və Dilaşubla münasibətləri dayanır. Romanda hadisələrin inkişafı obrazların psixoloji vəziyyəti və qarşılıqlı münasibətləri ilə sıx şəkildə bağlıdır. Namiq Kamal yeni formalaşan türk romanının imkanlarından istifadə etməklə həm insanın taleyini, həm də dövrün mənəvi və sosial xüsusiyyətlərini təqdim edir. Məqalədə “İntibah” romanının türk ədəbiyyatındakı mövqeyi, mövzu və ideya xüsusiyyətləri, obrazlar sistemi, psixoloji və bədii xüsusiyyətləri araşdırılır. Eyni zamanda əsərin roman janrının inkişafında rolu və Tənzimat dövrünün bədii-estetik xüsusiyyətlərini əks etdirməsi məsələsinə diqqət yetirilir.

Açar sözlər: roman, obraz, bədii xüsusiyyət, süjet.

Abstract

Namık Kemal is one of the important representatives of nineteenth-century Turkish literature who contributed significantly to the development of prose. His novel “Intibah” occupies an important place in the development of the novel genre in Turkish literature. Published in 1876, the novel deals with the complexity of human character, love relationships, the influence of family and social environment on individual life, moral responsibility and the consequences of wrong choices. The relations of Ali Bey with Mehpeyker and Dilaşub constitute the central part of the novel. Through these relations, the writer reveals different aspects of human character and psychological change. The development of events is closely connected with the psychological states of the characters and their relationships with one another. Namık Kemal uses the possibilities of the emerging Turkish novel to present both the individual destiny of the characters and the moral and social characteristics of the period. The article examines the position of “Intibah” in Turkish literature, its thematic and ideological features, characterization, psychological aspects and artistic characteristics. It also focuses on the role of the novel in the development of the genre and its reflection of the literary and aesthetic characteristics of the Tanzimat period.

Keywords: novel, character, artistic feature, plot.

Giriş

Namiq Kamal XIX əsr türk ədəbiyyatının inkişafında mühüm xidmətləri olan sənətkarlardan biridir. Tənzimat dövründə türk ədəbiyyatında yeni janrların meydana gəlməsi və Qərb ədəbiyyatı ilə əlaqələrin genişlənməsi ədəbi prosesdə ciddi dəyişikliklər yaratmışdır. Roman da həmin dövrdə türk ədəbiyyatına daxil olan və qısa müddət ərzində inkişaf etməyə başlayan janrlardan biri olmuşdur. Türk ədəbiyyatının romanla tanışlığı 1860-cı illərdən etibarən daha geniş xarakter almış, tərcümə əsərlərinin ardınca yerli roman nümunələri meydana çıxmışdır. Bu baxımdan Namiq Kamalın "İntibah" romanı xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Tədqiqatlarda əsər türk ədəbiyyatının ilk ədəbi romanı kimi qiymətləndirilir. [7.]

"İntibah" romanı 1876-cı ildə nəşr edilmişdir. Əsər Namiq Kamalın sürgün illərində formalaşdırdığı roman yaradıcılığının mühüm nümunəsidir. Tədqiqatçılar romanın yaranmasını Tənzimat dövrünün ədəbi axtarışları ilə əlaqələndirirlər. Əsərin meydana gəldiyi dövrdə roman janrı türk ədəbiyyatında hələ yeni formalaşırdı. [11.] Buna görə "İntibah" həm yeni roman düşüncəsinin xüsusiyyətlərini, həm də əvvəlki ədəbi ənənənin təsirlərini özündə birləşdirir.

Namiq Kamal roman janrını yalnız hadisələrin nəql edilməsi vasitəsi kimi qəbul etmir. Əsərdə insan xarakterinin açılması, qəhrəmanların daxili vəziyyətlərinin göstərilməsi və onların yaşadığı mühitin təsiri də mühüm yer tutur. Sonrakı araşdırmalarda qeyd edildiyi kimi, yazıçı "İntibah"da obrazların psixoloji dəyişmələrini göstərməyə və onları yalnız bir xüsusiyyətlə məhdudlaşdırmamağa çalışmışdır. Bununla yanaşı, əsərdə məkanın obrazların davranışına təsiri də müşahidə olunur.

Romanın əsas hadisələri Əli bəyin həyatında baş verən dəyişikliklər ətrafında cərəyan edir. Gənc yaşında həyat təcrübəsi kifayət qədər formalaşmayan Əli bəyin Məhpeykərlə tanışlığı onun həyatının istiqamətini dəyişir. Bu münasibət sonradan Dilaşub obrazının meydana çıxması ilə daha da mürəkkəbləşir. Beləliklə, əsərin süjet xəttində üç əsas obrazın münasibətləri mühüm yer tutur. Onların hər biri hadisələrin inkişafına təsir etməklə yanaşı, romanın ideya məzmununun müəyyənləşməsində də iştirak edir.

Əli bəy obrazı əsərin mərkəzi obrazıdır. Onun xarakterində təcrübəsizlik, hisslərin təsiri altında qərar vermək, tərəddüd və sonradan peşmanlıq kimi xüsusiyyətlər müşahidə olunur. Yazıçı qəhrəmanın həyatında baş verən dəyişiklikləri birbaşa təqdim etməklə kifayətlənmir, onun müxtəlif hadisələr qarşısında keçirdiyi hissləri və verdiyi qərarları da göstərir. Əli bəyin xarakterinin hadisələrin inkişafı ilə dəyişməsi romanın psixoloji xüsusiyyətlərini müəyyən edən əsas amillərdəndir.

Əli bəyin Məhpeykərlə münasibəti romanın əsas konfliktlərindən birini yaradır. Məhpeykər obrazı mürəkkəb xarakteri ilə seçilir. Onun davranışlarında güclü iradə, qısqanclıq, ehtiras və intiqam hissləri mühüm yer tutur.

Məhpeykər süjetin inkişafına təsir edən əsas obrazlardan biridir. Onun Əli bəyə münasibəti məhəbbətlə yanaşı, sahib olmaq və itirmək qorxusu ilə də bağlıdır. Bu xüsusiyyətlər obrazın psixoloji mürəkkəbliyini artırır. Məhpeykərin davranışlarının əsasını təşkil edən qısqanclıq əsərdə hadisələrin faciəvi istiqamət almasına səbəb olan amillərdən biridir. Bu məsələ müasir tədqiqatlarda da ayrıca araşdırılmışdır. Bir araşdırmada romandakı Ali bəy, Məhpeykər, Dilaşub və Abdullah Əfəndi münasibətlərinin qısqanclıq ətrafında formalaşan bir neçə qarşıdurma yaratdığı qeyd edilir. Tədqiqatçı əsərdəki qısqanclığın obrazların davranışlarını dəyişdirən və hadisələri faciəvi nəticəyə aparan psixoloji amil kimi çıxış etdiyini göstərir.

Dilaşub obrazı isə Məhpeykərdən fərqli xarakter xüsusiyyətləri ilə təqdim olunur. Onun Əli bəyə münasibətində sədaqət və fədakarlıq əsas yer tutur. Ədəbiyyatşünaslıqda Məhpeykər və Dilaşub obrazlarının qarşılaşdırılması romanın əsas xüsusiyyətlərindən biri kimi qiymətləndirilir. Bu obrazlardan biri mənəvi baxımdan boş, digəri isə ideal qadın tipinin təmsilçisi kimi təqdim olunur. Lakin Dilaşub obrazını yalnız "yaxşı qadın", Məhpeykər obrazını isə yalnız "pis qadın" kimi qiymətləndirmək romanın bədii xüsusiyyətlərini tam şəkildə əhatə etmir. Çünki hər iki obrazın hadisələrin inkişafında fərqli yeri vardır. Məhpeykərin fəallığı süjetin dramatik gərginliyini artırır, Dilaşubun sədaqəti isə Əli bəyin həyatında mənəvi qarşıdurmanı daha aydın göstərir. Bu baxımdan qadın obrazları romanın ideya məzmununun formalaşmasında mühüm rol oynayır.

Romanda Fatma xanım obrazı da xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Əli bəyin anası kimi onun oğlunun həyatına müdaxiləsi və onu qorumaq cəhdi əsərdə ailə münasibətlərinin təqdimatına imkan yaradır. Əli bəyin həyatında ata obrazının yoxluğu da onun xarakterinin formalaşmasına təsir edən amillərdən biri kimi göstərilir. Müasir tədqiqatlardan birində romanın əsas məsələlərindən biri məhz ata itkisi, ana-oğul münasibəti və Əli bəyin fərdiləşmə prosesi ilə əlaqələndirilmişdir. Bu xüsusiyyət "İntibah" romanında ailə münasibətlərinin yalnız məişət məsələsi olmadığını göstərir. Ailə və sosial mühit Əli bəyin həyatında mühüm rol oynayır. Onun verdiyi qərarlar bir tərəfdən şəxsi hissləri ilə, digər tərəfdən isə ətrafındakı insanların təsiri ilə bağlıdır. Yazıçı beləliklə insan xarakterinin formalaşmasında mühitin rolunu da göstərir.

"İntibah" romanında mənəvi məsələ də əsas istiqamətlərdən biridir. Namiq Kamalın yaradıcılığında əxlaq anlayışının mühüm yer tutması romanın ideya məzmununda da özünü göstərir. Tədqiqatçılar "İntibah"da əxlaq probleminin ictimai məsələ kimi təqdim edildiyini qeyd edirlər. Bu baxımdan roman Tənzimat dövründə dəyişən həyat tərzinin doğurduğu mənəvi problemlərin bədii ifadəsi kimi də qiymətləndirilə bilər.

Romanın adının özü də əsərin ideya istiqamətinə diqqət yetirməyə imkan verir. "İntibah" sözü oyanış və dərk etmə mənası daşıyır. Əsərdə Əli bəyin yaşadığı hadisələr nəticəsində həyat haqqında müəyyən həqiqətləri dərk

etməsi romanın adının məzmunla əlaqəsini göstərir. Bu baxımdan əsəri insanın həyat təcrübəsi nəticəsində müəyyən həqiqətlərə gəlməsi kimi də nəzərdən keçirmək mümkündür.

"İntibah" romanının mühüm xüsusiyyətlərindən biri də müəllif mövqeyidir. Yazıçı hadisələrin gedişinə münasibət bildirir, obrazların davranışlarını qiymətləndirir və oxucunun hadisələrə münasibətinin formalaşmasına təsir göstərir. Bu xüsusiyyət Tənzimat romanlarının didaktik xarakteri ilə də əlaqəlidir. "İntibah"ın müəllifyalnız hadisələri nəql edən mövqedə qalmır, müəyyən məqamlarda obrazların davranışına münasibətini də bildirir. Bu məsələ romanın strukturunda müəllif müdaxiləsinin mühüm yer tutduğunu göstərir.

Əsərin bədii xüsusiyyətləri sırasında məkanın istifadəsi də diqqəti cəlb edir. Romanda məkanın obrazların psixoloji vəziyyətinə və hadisələrin inkişafına təsiri də müşahidə edilir. Bu xüsusiyyət "İntibah"ın roman janrının imkanlarını mənimsəmək istiqamətindəki axtarışlarını göstərir. Tədqiqatlarda əsərdə məkan mövzusu ayrıca araşdırılmış və Tənzimat dövrünün dəyişən sosial və mədəni mühiti ilə əlaqələndirilmişdir. [5.]

"İntibah" romanında ənənə ilə yeniliyin qarşılıqlı münasibəti də özünü göstərir. Roman Qərb ədəbiyyatının təsiri ilə meydana çıxan yeni janrın nümunəsi olsa da, onun daxilində Divan və xalq ədəbiyyatının müəyyən təsirlərinə rast gəlinir. Bu xüsusiyyət əsərin keçid dövrünün məhsulu olduğunu göstərir. Tədqiqatlarda da "İntibah"da ənənəvi nəqletmə üsullarının və Divan və xalq ədəbiyyatından gələn bəzi elementlərin qorunduğu qeyd edilir. Bu baxımdan "İntibah" romanını yalnız Qərb romanının türk ədəbiyyatına birbaşa tətbiq kimi qiymətləndirmək doğru olmaz. Namiq Kamal yeni janrın imkanlarından istifadə etməklə mövcud ədəbi təcrübəni də əsərə daxil etmişdir. Nəticədə roman həm yeni bədii düşüncənin, həm də əvvəlki ədəbi ənənənin xüsusiyyətlərini özündə birləşdirən keçid xarakterli əsər kimi meydana çıxmışdır.

Romanın başqa bir xüsusiyyəti onun yalnız məhəbbət süjeti ilə məhdudlaşmamasıdır. Əsərin siyasi və ictimai məzmunu ilə bağlı aparılan araşdırmalarda "İntibah"ın daha geniş məna daşıdığı irəli sürülür. Esra Kürüm əsəri Əli bəyin həyat qarşısında "oyanışı" ilə yanaşı, Osmanlı cəmiyyətinin yeni sivilizasiya ilə qarşılaşması fonunda da şərh edir. [9.] Bu yanaşma romanın məzmununu yalnız fərdi məhəbbət hadisəsi ilə məhdudlaşdırmamağa imkan verir.

Beləliklə, "İntibah" romanında fərdi talelər və dövrün sosial-mənəvi xüsusiyyətləri bir-birindən ayrı şəkildə təqdim edilmir. Əli bəyin yaşadığı hadisələr onun şəxsi xarakteri ilə yanaşı, onu əhatə edən mühitin xüsusiyyətlərini də göstərir. Məhpeykər, Dilaşub, Fatma xanım və digər obrazların hər biri əsərin müxtəlif ideya istiqamətlərinin açılmasına xidmət edir.

Namiq Kamalın roman yaradıcılığı türk nəsrinin inkişafında yeni mərhələnin başlanğıcı kimi qiymətləndirilə bilər. "İntibah" bu mərhələdə roman janrının imkanlarının öyrənildiyini, obraz yaratmaq, hadisələri qurmaq,

müəllif mövqeyini müəyyənləşdirmək və insan psixologiyasını təqdim etmək sahəsində yeni axtarışların aparıldığını göstərir. Bu səbəbdən əsər roman poetikasının inkişafı baxımından da əhəmiyyətlidir. Namiq Kamal bu əsər vasitəsilə türk nəsrinin inkişafına yeni istiqamət vermiş və sonrakı roman yaradıcılığı üçün mühüm zəmin yaratmışdır.

Ədəbiyyat

1. Kamal, N. İntibah. İstanbul, 1876.
2. Akyüz, K. Modern Türk Edebiyatının Ana Çizgileri 1860–1923. İstanbul: İnkılâp Kitabevi, 1995.
3. Bakırcıoğlu, M. Z. Başlangıçtan Günümüze Türk Romanı. İstanbul: Ötüken Yayınları, 1981.
4. Dino, G. Türk Romanının Doğuşu. İstanbul: Agora Kitaplığı, 1978.
5. Akdeniz, S. "İntibah Romanında Mekân Kullanımı". Dokuz Eylül Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi, 2012, C. 1, № 1, s. 3–21.
6. Polat, A. "Namık Kemal'de Ahlaki Kaygı Temelli Metinleştirme: İntibah ve Ahlâk-ı Alâî". Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim Dergisi, 2017, C. 6, № 3.
7. Kaplan, Z. "İlk Edebî Roman İntibah'taki Ebedî Çatışma: Kadın Psikolojisi, Anneden Kopma ve Oğlun Bireyleşme Mücadelesi". Kesit Akademi Dergisi, 2017, № 9.
8. Öztürk, D. "İlk Edebî Roman İntibah'taki Bazı Teknik Sorunlar". Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2020, C. 9, № 2.
9. Kürüm, E. "'Sergüzeşt-i Ali Bey Yahut Sergüzeşt-i Âli-i Osman' Siyasi Bir Roman Olarak İntibah". Türkiyat Mecmuası, 2021, C. 31, № 1, s. 281–299.
10. Aşır, A. S., Gökçek, F. "İntibah'ta Anlatıcının Konumu ve Bakış Açısı". YAZIT Kültür Bilimleri Dergisi, 2022, C. 2, № 2, s. 159–174.
11. Çamur, S. "Namık Kemal'in İntibah Romanında Toplumsal Etkileşim Biçimleri". GAB Akademi, 2023, C. 3, № 2.