



BİLİM



İŞBİRLİĞİ



İNOVASYON



SÜRDÜRÜLEBİLİR
GELECEK

5. ULUSLARARASI ŞİRVANŞAHLAR BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ

BAKÜ
AZERBAIJAN

KONGRE KİTABI



26-27 EYLÜL 2026



BAKÜ-AZERBAIJAN



BİLSEL
YAYINCILIK

<https://www.wosconkongreleri.com>

5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS BOOK

26–27 September 2026 Azerbaijan

**EDITOR
Prof. Dr. EBÜLFƏZ EZİMLİ**

ISBN: '978-625-8531-69-5'

**08.10.2026
by BILSEL PUBLISHING**

**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

5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS,

DATE and PLACE

26–27 September 2026 Azerbaijan

ORGANIZATION

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

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman of the Organizing Committee

Assoc. Prof. Dr. EBÜLFƏZ EZİMLİ

University Academician Representative

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Doç. Dr. Erdem AYYILDIZ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Members

Prof. Dr. Abdelkarim BOUA

Prof. ADJLANE Sabah

Prof.Dr. Elman Guliyev

Prof. Dr. Marinescu Valentina

Prof. Dr. Froilan D. Mobo

Doç. Dr. Mehmet Veysi BABAYİĞİT

Doç. Dr. Özlem ONUK NATONSKI

Assoc. Prof. Dr. Irina Teodora MANOLESCU

Assoc. Prof. Dr. Naseem Akhter

Assoc. Prof. Dr. Henry Akpojubaro Efegbere

Doç. Dr. Asaf Tolga ÜLGEN

Assoc. Prof. Dr. Valbona Habili Sauku

Doç. Dr. Irmak KARADUMAN ER

Assoc. Prof. Dr. Seyed Mehdi Talebi

Doç. Dr. Afina BARMANBAY

Dr. Ayça Yılmaz

Dr. Bahar ALTUNOK

Dr. Mustafa KAVGACI

Dr. Beloufa NABIL

Dr. Mansoor Ahmed

Dr. Drita AVDYLI

Dr. Ülker Baxşiyeva

PARTICIPANTS COUNTRY

Azerbaijan / Benin/India/Romania/ Nigeria/ Indonesia/ Pakistan/ Mongolia

SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Habil. Dr. Laura Diaconu Maxim,

**Alexandru Ioan Cuza University of Iasi,
Romania**

Prof. Dr. Özgür ALPARSLAN

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Prof. Dr. Gürçan YILDIRIM

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof.Dr. Gülsüm YALDIZ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof. Dr. Şükrü KARATAŞ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Froilan D. Mobo

Philippine Merchant Marine Academy

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**

Prof. Dr. Ardita Dylgjeri

**University of Elbasan “Aleksandër
Xhuvani” Albania**

Prof. Dr. Benahmed Abdelillah

University of Blida1, Algeria

Prof. Dr. Boualam Abderrahmane

**Higher Institute of Nursing and Health
Professions, Morocco**

Prof.Dr. Elman Guliyev

Azerbaycan Devlet Pedogoji

Prof. Dr. Hassan ZARIOUH

Mohammed I University, Oujda Morocco

Prof. Dr. Ivan Pavlovic

**Scientific Institute of Veterinary Medicine
of Serbia**

Prof. Dr. Iheanyi Omezurike Okonko

University Of Port Harcourt, Nigeria

Prof. Dr. Karim KREIT

Cadi Ayyad University, Morocco

Prof. Dr. Mohammed Waheeb

Hashemite University, Jordan

Prof. Dr.Nana Jincharadze

European University Georgia

Prof. Dr. Shemsije Demiri

**High Economic School- Gostivar North
Macedonia**

Prof. Dr. Tinatin Mshvidobadze

Gori State University (Georgia)

Prof. Dr.Valbon Ademi

University of Tetovo, North Macedonia

Prof. Dr. Valentina Marinescu

University of Bucharest

Doç. Dr. Irmak KARADUMAN ER

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Doç. Dr. Mutlu Melis ÖZGERİŞ,

Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Gülay KARAHAN

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Doç.Dr.Şahin ÇETİNKAYA

Aksaray Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan Gökhan GÜNDOĞDU

Anadolu Üniversitesi

Doç. Dr. Ufuk MERCAN YÜCEL

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

**Assoc. Prof. PhD. Irina Teodora
MANOLESCU**

**Alexandru Ioan Cuza University of Iasi,
Romania**

Assoc. Prof. Dr. Naseem Akhter

**Shaheed Benazir Bhutto Women
University, Pakistan**

**Assoc. Prof.Dr. Mohammad Jafar
Chamankar,**

Urmia University, Iran

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

Assoc. Prof. Dr. Mokhtar NEBAB

University of Boumerdes ALGERIA

Assoc. Prof. Gergana Gozanska Plovdiv

University “Paisii Hilendarski”, Bulgaria

Assoc. Prof. Ganaoui Maroua

**University of Chadli Ben Djedid El-tarf
and Souk Ahras university, Algeria**

Assoc. Prof. Dr. Abdullayeva Gultekin

Azerbaijan State Pedagogical University

**Assoc. Prof. Dr. Məmmədova Könül
Ələddin qızı**

ADPU-Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. John Noel S. Nisperos

**Don Mariano Marcos Memorial State
University- Philippines**

Assoc.Prof. Dr. Daniela Matušíková

University of Prešov, Slovakia

Assoc. Prof. Dr. Abderrahmane Raji

**Sultan Moulay Slimane
University,Morocco**

Asoc. Prof. Enida KUME

**Aleksander Moisiu” University, Durrës,
Albania**

Assoc. Prof. Dr. BELOUFA

Nabil,IHFR, Algeria

Doç.Dr. Ebülfəz Ezimli
Naxçıvan Devlet Universiteti
Assoc. Prof. Dr. Farida Safaraliyeva
Azerbaijan State Pedagogical University
Assoc. Prof. Dr. Kamal Koohi
University of Tabriz, Iran
Assoc. Prof. Dr. Ghizlane Bouazza
Ministry of Health, Morocco
Assoc. Prof. Dr. Postolache Victoria
Alecu Russo Balti State University,
Moldova
Dr. Cevriye ÖZDEMİR
Kayseri Üniversitesi
Dr. İpek ÇİMRİN
Çukurova Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi ZİLA ÖZLEM KIRBAŞ
Bayburt Üniversitesi
Dr. Özgür ERDAĞ
Kafkas Üniversitesi
Dr. Barış ERGÜL
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Dr. Fulya KAHRIMAN
Kocaeli Üniversitesi
Dr. Solomon Uchechukwu Eze

Nnamdi Azikiwe University, Awka,
Nigeria
Dr. Anitha Rajasekaran
Botany, Bharathi Womens College , India
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. Vincent Abiodun Micheal,
The Federal Polytechnic, Bida, Nigeria
Dr. Israr Ali Khan
Institute of Numerical Sciences KUST,
Pakistan
Dr. Ananda Majumdar
Brander Garden After School Parents



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 26–27 September 2026 Azerbaijan

CONGRESS PROGRAM

Join Zoom Meeting ID: 824 3838 5542

Passcode: 512285

Join Zoom Meeting

<https://us06web.zoom.us/j/82438385542?pwd=2XqG06uZiA3N5Z7qLTkZQGXEdrOh4j.1>

PARTICIPATING COUNTRIES

Azerbaijan / Benin/India/Romania/ Nigeria/ Indonesia/ Pakistan/ Mongolia



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

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 kullanılabilirdir.
- ◆ Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir.

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



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026

TÜRKİYE Local Time: 09:00-10:45

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Murat ÇAKIR

SESSION-1 HALL-1

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Prof. Dr. Fatma BAŞAR	Kutahya Health Sciences University	WEARABLE TECHNOLOGIES IN WOMEN'S HEALTH: DIGITAL TRANSFORMATION FROM MENSTRUATION TO MENOPAUSE
Prof. Dr. Fatma BAŞAR	Kutahya Health Sciences University	VIRTUAL REALITY APPLICATIONS IN WOMEN'S HEALTH: INNOVATIVE APPROACHES TO CHILDBIRTH, PAIN MANAGEMENT, AND HEALTH EDUCATION
Uzm. Dr. Ayhan ÇERİ	Dr. Ali Kemal Belviranlı Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi,	ÇOCUK SAĞLIĞI VE HASTALIKLARINDA TELETIP UYGULAMALARI: GÜNCEL DURUM, FIRSATLAR VE SINIRLILIKLAR
Doç. Dr. Hatice DÖNMEZ	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	PERİNATAL Palyatif Bakım: Hemşirelik bakımında bütüncül ve aile merkezli bir yaklaşım
Doç. Dr. Hatice DÖNMEZ	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	Pediyatrik Palyatif Bakımda Ağrı ve Semptom Yönetiminde Multimodal Semptom Yönetimi
Prof. Dr. Murat ÇAKIR Prof. Dr. Tünay KARAN	Yozgat Bozok Üniversitesi	İSKEMİ-REPERFÜZYON HASARI İLE TRANSİENT RECEPTOR POTENTIAL VANİLLOİD 1 KANALLARININ İLİŞKİSİ
Prof. Dr. Murat ÇAKIR Prof. Dr. Tünay KARAN	Yozgat Bozok Üniversitesi	KANSER BİYOLOJİSİNDE TRANSİENT RECEPTOR POTENTIAL ANKYRİN 1 İYON KANALLARININ ROLÜ



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:00-10:30

HEAD OF SESSION: Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER

SESSION-1 HALL-2

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Prof. Dr, İbrahim İsmet ÖZTÜRK Dr. Öğr. Üyesi, Okan UÇAR	Tekirdağ Namık Kemal University	DENSITY FUNCTIONAL THEORY INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, ELECTRONIC, AND VIBRATIONAL PROPERTIES OF AN ANTIMONY(III) BROMIDE COMPLEX WITH 2- MERCAPTO-4-METHYLTHIAZOLE
Prof. Dr, İbrahim İsmet ÖZTÜRK Dr. Öğr. Üyesi, Okan UÇAR	Tekirdağ Namık Kemal University	COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF THE ELECTRONIC AND REACTIVITY PROPERTIES OF 2-ACETYLTHIOPHENE-N-ETHYL THIOSEMICARBAZONE
Dr., SümeYra YAMÇIÇIER Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER Prof. Dr., Cihan Kürkçü	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi	TETRAGONAL HİDRÜRÜNÜN YAPISAL, MEKANİK, ELEKTRONİK VE OPTİK DAVRANIŞININ İLK İLKELER YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI
Dr., SümeYra YAMÇIÇIER Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER Prof. Dr., Cihan Kürkçü	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi	BİLEŞİĞİNİN MEKANİK STABİLİTESİ, İZOTROPIK DAVRANIŞI VE ELEKTRONİK YAPISININ YOĞUNLUK FONKSİYONELİ TEORİSİ İLE MODELLENMESİ
Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD Doç. Dr. Yahya NAS	Şırnak Üniversitesi	SEBZE BİTKİLERİNDE MELATONİN: BÜYÜME, ABİYOTİK STRES TOLERANSI, ÜRÜN KALİTESİ VE HASAT SONRASI FİZYOLOJİDE ÇOK İŞLEVİLİ BİR DÜZENLEYİCİ
Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD Doç. Dr. Yahya NAS	Şırnak Üniversitesi	BAHÇE BİTKİLERİNDE NANOTEKNOLOJİ: GÜNCEL GELİŞMELER VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:00-10:30

HEAD OF SESSION: Asst. Prof. Dr. Ercüment ÖZTÜRK

SESSION-1 HALL-3

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Arş. Gör. Mehmet Can SEKANLI / Prof. Dr. Okan BİNGÖL	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,	100 kW ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMDE GERİLİM ÇUKURUNUN DİNAMİK PERFORMANSA ETKİSİNİN ANALİZİ
Arş. Gör. Mehmet Can SEKANLI / Prof. Dr. Okan BİNGÖL	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,	100 kW ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMİN FARKLI ŞEBEKE FREKANSI SAPMALARİ ALTINDA DİNAMİK PERFORMANS ANALİZİ
Felid ÖKMEN Prof. Dr., Mehmet KAYA Prof. Dr., Murat Demir AYDIN	Iğdır Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi, Erzurum Teknik Üniversitesi	ELEKTROEĞİRME İLE ÜRETİLEN PAN VE PVA NANOLİFLERİN OPTİMUM İŞLEM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ
Ali İhsan YILMAZ Dr. Öğr. Üyesi Burakhan CUBUKCU	Bilecik Seyh Edebali University	REFERANS NESNESİ KULLANILARAK VE KULLANILMADAN TEK GÖRÜNTÜDEN YİYECEK TANIMA VE KALORİ TAHMİNİ
Dr. Kerim SÖNMEZ Asst. Prof. Dr. Ercüment ÖZTÜRK Prof. Dr. Tuğrul ÇAVDAR	Karadeniz Technical University	DIGITAL TWIN-ASSISTED INTELLIGENT FORECASTING AND EARLY WARNING SYSTEM FOR AIR QUALITY



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:00-10:30

HEAD OF SESSION: Dr. Öğr. Üyesi Eren BOZYILAN

SESSION-1 HALL-4

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan MARAŞ	Selçuk Üniversitesi	SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNDE YAPAY ZEKÂ, MOBİL UYGULAMA VE UZAKTAN EĞİTİM KULLANIM DÜZEYİNİN AKADEMİK BAŞARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: ÖN BULGULAR
Şükrü Salih Toprak Hatice Toprak	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	PARKİNSON TANILI HASTADA DİYABETİK AYAK TEDAVİSİ; OLGU SUNUMU
Dr. Öğr. Üyesi, Agit ŞİMŞEK Uzm. Dkt. Burcu SARIGÜZEL	İnönü Üniversitesi, Özel Sağlık Meslek Hizmet Birimi	PARKİNSON HASTALARINDA KONUŞMA VE SES BOZUKLUKLARININ AKUSTİK ANALİZİ
Mert Can KITOĞLU	Gaziantep Üniversitesi	BRUKSİZM YÖNETİMİNDE OKLÜZAL SPLİNT TEKNOLOJİLERİNDEKİ GELİŞMELER: DİJİTAL VE GELENEKSEL YÖNTEMLERİN KAPSAMLI BİR İNCELEMESİ
Dr. Öğr. Üyesi Eren BOZYILAN Dr. Öğr. Üyesi Süleyman BİLGİN	Adıyaman Üniversitesi	ESPORCULARDA YARIŞMA ÖNCESİ FİZİKSEL ISINMANIN BİLİŞSEL VE OYUN PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: FİZYOLOJİK MEKANİZMALAR VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR
Dr. Öğr. Üyesi Süleyman BİLGİN Dr. Öğr. Üyesi Eren BOZYILAN	Adıyaman Üniversitesi	ESPORCULARDA AKUT EGZERSİZİN FİZYOLOJİK VE BİLİŞSEL PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: MEKANİZMALAR, DOZ-CEVAP İLİŞKİSİ VE PERFORMANSA YANSIMALARI



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:00-10:30

HEAD OF SESSION: Doç. Dr. Mehmet Cüneyt GÖKÇE

SESSION-1 HALL-5

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
<i>Yüksek Lisans Öğrencisi, Hatice Nur BENLİ Doçent Doktor, Hafize ER TÜRKÜRESİN</i>	<i>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi</i>	<i>TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ ÇERÇEVESİNDE 2005, 2018 VE 2024 SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETİM PROGRAMLARININ DEĞERLER EĞİTİMİ AÇISINDAN İNCELENMESİ</i>
<i>Yüksek Lisans Öğrencisi, Ayşegül ÖZDEMİR Doçent Doktor, Hafize ER TÜRKÜRESİN</i>	<i>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi</i>	<i>SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETMENLERİNİN TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETİM PROGRAMINA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ</i>
<i>Doç. Dr. Mehmet Cüneyt GÖKÇE</i>	<i>Mardin Artuklu Üniversitesi</i>	<i>KUR'ÂN-I KERİM'DE HZ. PEYGAMBER'İN (S.A.S.) DUALARI</i>
<i>Dr. Öğr. Üyesi, Fatma ERTEN</i>	<i>Karabük Üniversitesi</i>	<i>TANZİMAT DÖNEMİNDE OSMANLI MEKTEPLERİNDE ÇOCUK OLMAK</i>



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:00-10:30

HEAD OF SESSION: Prof.Dr. Abdullah ÖZDEMİR

SESSION-1 HALL-6

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Prof.Dr. Abdullah ÖZDEMİR Prof.Dr. Hatice EROL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	OECD ÜLKELERİNDE JEOPOLİTİK RİSKİN MAKROEKONOMİK BELİRLEYİCİLERİ: PANEL VERİ ANALİZİ (2000–2024)
Dr.Öğr.Üyesi HATİCE BAŞKAYA Prof.Dr. Abdullah ÖZDEMİR	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	TÜRKİYE’DE BANKA BİLANÇOLARINDA DOLARİZASYONUN DİNAMİKLERİ: DÖVİZ KURU VE FAİZ ORANLARIYLA İLİŞKİSİ
Professor Dr. Laura Diaconu (Maxim)	“Alexandru Ioan Cuza” University of Iasi, Romania	ENERGY TRANSITION AND INDUSTRIAL COMPETITIVENESS IN EUROPE: COSTS, INVESTMENT AND PRODUCTIVITY
Dr. Öğr. Üyesi Gülhan DENİZ	Yozgat Bozok Üniversitesi	DİJİTAL FİNANS KULLANIMI İLE RESMİ TASARRUF DAVRANIŞI ARASINDAKİ İLİŞKİ: ULUSLARARASI BİR ANALİZ
DR. MUHAMMAD FAISAL	Allama Iqbal Open University, Islamabad, Pakistan	NATIONAL AI DATA GOVERNANCE, DATA TRUSTS AND SECURE AI EXCHANGE



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:00-10:30

HEAD OF SESSION: Prof. Dr., Ömerul Faruk DURSUN

SESSION-1 HALL-7

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Öğretim Görevlisi Erdem SOYLU Öğretim Görevlisi Emre Safa TENGİLİMOĞLU	Gümüşhane Üniversitesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARINDA LİTYUM-İYON BATARYALARIN SALGILADIĞI TOKSİK GAZ REJİMLERİ, SAHADAKİ CANLILAR ÜZERİNDEKİ BİYOLOJİK ETKİLERİ VE İLK MÜDAHALE EKİPLERİ İÇİN ZORUNLU SOLUNUM KORUMA PROTOKOLLERİ
Öğretim Görevlisi Emre Safa TENGİLİMOĞLU Öğretim Görevlisi Erdem SOYLU	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Gümüşhane Üniversitesi,Kürtün MYO	GÖKDELEN YANGINLARINDA SABİT SULU BORU SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ VE HONG KONG 2025 WANG FUK COURT (WONK CUNK) YANGINI İNCELEMESİ
İnş. Müh. Yaren ALTUNBAY Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK	Keçiören Belediyesi, Munzur Üniversitesi	YERALTI BARAJLARI PROJELERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
Dr, Ufuk YÜKSELER Prof. Dr., Ömerul Faruk DURSUN	İller Bankası A.Ş., İnönü Üniversitesi	YÜKSEK BASINÇLI CONDUİT SİSTEMLERİNDE HAVALANDIRMA VERİMİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ
Dr, Ufuk YÜKSELER Prof. Dr., Ömerul Faruk DURSUN	İller Bankası A.Ş., İnönü Üniversitesi	SU KAYIPLARINDA ALTYAPI VE TEKNOLOJİNİN ROLÜ
Dr. Öğr. Üyesi Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	YAPISAL SAĞLIK İZLEMEDE KENDİNİ ALGILAYAN BETON TEKNOLOJİLERİ: ALGILAMA MEKANİZMALARI, UYGULAMALAR VE GÜNCEL ZORLUKLAR



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:00-10:30

HEAD OF SESSION: Dr., Serap ERDOĞAN

SESSION-1 HALL-8

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Öğr. Gör. Ayşenur KUŞKAPAN UÇAR	İstanbul Esenyurt Üniversitesi,	TOPLUMSAL GÜZELLİK ALGISI VE ÖZDEĞER İLİŞKİSİ: THE UGLY STEPSISTER FİLMİ ÜZERİNDEN GÖSTERGEBİLİMSSEL ANALİZ
Dr., Merve DENİZ DEMİREL	Bağımsız Araştırmacı,	KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA DİJİTAL RESTORASYONUN ÖNEMİ
Arş.Gör.Dr., Serap ERDOĞAN	Marmara Üniversitesi	WEDGWEED SERAMİKLERİNİN JASPERWARE, QUEEN'S WARE PORTLAND VAZOSU ÜZERİNDEN İNCELENMESİ
Arş. Gör. Gökçe ÖZTURAN Doç. Dr. Cengiz ŞAHİN	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	PROPAGANDA YÖNTEMİ OLARAK VİDEO OYUNLARI: 2013-2023 YILLARI ARASINDAKİ POPÜLER VİDEO OYUNLARININ İNCELENMESİ



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:30-11:30

HEAD OF SESSION: Pəri Paşayeva

SESSION-2 HALL-9

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Sahilə İbrahimova	Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti	AZƏRBAYCANDA YAZI MƏDƏNİYYƏTİNİN FORMALAŞMA TARİXİ
Doçent Doktor, AYGUN AHMADOVA	Azərbaycan Devlet Pedaqoji Universiteti	AZƏRBAYCAN ÇOCUK EDEBİYATININ TARİHSEL-KÜLTÜREL TEMELLƏRİ 20. YÜZYILIN 80'LƏRİ
Arzu Kərimova	Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti	OXU SÜRƏTİ VƏ OXU ANLAYIŞININ FORMALAŞDIRILMASI
Pəri Paşayeva	Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti	TƏLİM STRATEGİYƏLƏRİ VƏ TƏLİM NƏTİCƏLƏRİ: NƏZƏRİ VƏ PRAKTİK ASPEKTLƏR
Dr. Tarana AKBARİ	Azərbaycan Devlet Pedagoji Universiteti	NEURO-PEDAGOGICAL AND HYGIENIC EVALUATION OF COGNITIVE SATURATION AND ATTENTION DECLINE IN PRIMARY SCHOOL CHILDREN
Gunel Shefiyeva	Azerbaijan State Pedagogical University,	FIGURATIVE LANGUAGE IN CONTEMPORARY ENGLISH
Gültəkin Atəş qızı Abdullayeva	Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti,	ŞİRVANŞAHLAR DÖVLƏTİNİN AZƏRBAYCAN TARİXİNDƏ ROLU



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:30-11:30

HEAD OF SESSION: PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ

SESSION-2 HALL-10

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ	<i>Naxçıvan Dövlət Universiteti</i>	BÜTÖV AZƏRBAYCAN ƏDƏBİYYATI: MƏHƏMMƏDƏMİN DİSLUZDA DİVAN POETİZMİ VƏ YENİ MÖVZU-İDEYA ÖZƏLLİKLƏRİ
PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ İMAM DİKMEN	<i>Naxçıvan Dövlət Universiteti</i>	NÜBÜVVƏT VƏ İMAMƏT İŞİQLƏRİ: “ALLAHIN BƏŞƏRİYYƏT ÜZƏRİNDƏKİ HÖCCƏTİ” VƏ ELMİN QAPISI HZ.ƏLİ (Ə) FƏZİLƏTLƏRİ
<i>Guler Suleymanova</i>	<i>Azerbaijan State Pedagogical University</i>	THE ORTHOEPIC SYSTEM OF MODERN AZERBAIJANI: PHONETIC LAWS, NORMATIVE DIVERGENCES, AND CODIFICATION STANDARDS
<i>Sereenen Altan-Uya</i>	<i>Mongolia</i>	THE ORIGIN OF MONGOLIA CHOIR
<i>Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA</i>	<i>Azərbaycan Devlet Pedaqoji Universiteti</i>	MÜASİR ANTROPOLOGİYADA GERONTOLOGİYANIN SOSİAL-PSİXOLOJİ İSTİQAMƏTLƏRİ
<i>Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA</i>	<i>Azərbaycan Devlet Pedaqoji Universiteti</i>	KOTƏKAMÜL PROSESİNİN MÜASİR TEXNİKİ-SİNƏRGETİK KONSEPSİYALARI
<i>Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT</i>	<i>Technical University of Civil Engineering Bucharest</i>	AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT CLIMBING MOUNTAINS BY MELISSA DENNISON



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:30-11:30

HEAD OF SESSION: PhD Petronela Daniela FERARU

SESSION-2 HALL-11

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Himmatul Aliyah Indah Naila Zulfa Nabilati Naela Makhasin Rhessa Maulida Mahya Akmelia	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	DİGİTAL BRANDİNG OF CULİNARY PRODUCTS İN PEMALANG
Nindi Aulia Fika Dea Lova Ismi Nurhanifah Cahya Amelia Dwi Tika Wulan Sari	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	CREATİVE PRODUCT DEVELOPMENT İN TOURİSM: STRENGTHENİNG LOCAL İDENTİTY AND CREATİVE ECONOMY İN PEMALANG REGENCY
Tabik Asghar Ramadhani M. Abdul Latif Muhamad Haikal Adzimil Anam Ghatfan Alhamda Rahman Muhammad Hidayatullah	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	PEMALANG HALAL FOOD INDUSTRIAL AREA: A STRATEGIC CONCEPT FOR DEVELOPING AN INTEGRATED HALAL FOOD MANUFACTURING HUB
Miftakhudin Muhammad Nazih Haniif Irfandi Rizqullah Sauqi Masda Qama Adhi Wira Pradana Sugiyantoro	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	HALAL CULİNARY TOURİSM AS A CREATİVE ECONOMY STRATEGY FOR STRENGTHENİNG LOCAL CULİNARY POTENTIAL İN BATANG REGENCY
Syihabud Din Nafal Fikri May Naila Khoiroh M. Nasrul Rusydi Al Arzaqinaa	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	HALAL CREATİVE PRODUCTS İN PEMALANG: DEVELOPING LOCAL CRAFTS THROUGH HALAL VALUES, CULTURAL İDENTİTY, AND CREATİVE ECONOMY
Fina Himatul KHUSNA Eva KHAERİYAH Kamilah FIDINI Novi MARİSKA Hernawati	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	DEVELOPİNG THE HALAL İNDUSTRY ECOSYSTEM İN PEMALANG REGENCY: OPPORTUNITİES AND CHALLENGES İN CERTİFİCATİON, İNSTİTUTİONAL SUPPORT, AND DİGİTALİZATİON
PhD Petronela Daniela FERARU	National College Iaşi and “Ion Neculce” High School, Târgu Frumos, Romania	ARTIFICIAL İNTELLIGENCE AND SOCIAL CHANGE: BETWEEN İNNOVATİON, İNEQUALİTY, AND THE RECONFIGURATİON OF HUMAN RELATİONS
PhD Petronela Daniela FERARU	National College Iaşi and “Ion Neculce” High School, Târgu Frumos, Romania	İDENTİTY, TRADİTİON, AND CULTURAL ADAPTATİON İN CONTEMPORARY SOCIETY: A SOCIOCULTURAL ANTHROPOLOGICAL PERSPECTİVE



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:30-11:30

HEAD OF SESSION: Mr. Ajay Kumar

SESSION-2 HALL-12

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Naeza Fara Diba Muhammad Reza Kurniawan Zahrotul Milatina Nabilatul Fauziyah Anasta Nafsi	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	STRENGTHENING THE HALAL INDUSTRY ECOSYSTEM IN BATANG REGENCY: POTENTIAL, CHALLENGES, AND LOCAL DEVELOPMENT STRATEGIES
Sabrina ZAHROH Ika Ismatul HAWA Syaliva Dhu SA'ATIN Mutia Aira RAMADHANİ Adellia Saniyatuz ZAHRO	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	BATIK RIFAIYAH AS A CULTURAL-BASED CRAFT SUBSECTOR IN THE CREATIVE ECONOMY
Anasta Nafsi Naeza Faradiba Nabilatul Fauziyah Zahrotul Milatina Reza Kurniawan	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	CREATIVE ECONOMY DEVELOPMENT IN BATANG REGENCY, CENTRAL JAVA: LOCAL POTENTIAL, CHALLENGES, AND DEVELOPMENT OPPORTUNITIES
Kamilah FIDINI Eva KHAERiyAH Fina HIMATUL KHUSNA Novi MARISKA Hernawati	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	GOVERNMENT AND MSME COLLABORATION IN PEMALANG: TOWARD AN INCLUSIVE AND SUSTAINABLE LOCAL CREATIVE ECONOMY
Muhammad Reza KURNIAWAN Zahrotul MILATINA Naeza Fara DIBA Nabilatul FAUZIAH Anasta NAFSI	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	DIGITAL MARKETING FOR MSMES IN BATANG, CENTRAL JAVA: STRATEGIES, OPPORTUNITIES, AND CHALLENGES
Nafal FIKRI May Naila KHOIROH Syihabud DIN M. Nasrul Rusydi Al ARZAQINAA	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF CRAFTS IN PEMALANG: CULTURAL HERITAGE, LOCAL SKILLS, AND COMMUNITY ECONOMIC LIFE
Mr. Ajay Kumar	Public Relations Officer Government of Himachal Pradesh (India)	THE DARK SIDE OF SOCIAL MEDIA JOURNALISM: MISINFORMATION, UNVERIFIED REPORTING AND THE EROSION OF PUBLIC TRUST IN INDIA



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 09:30-11:30

HEAD OF SESSION: Dr. Nisha Chauhan

SESSION-2 HALL-13

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Aini Anjali Putri Kamalia Nasywa Awaliyah Inda Millata Afna Naila Septiani Rani Suci Rahmadani	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	DIGITAL TRANSFORMATION UMKM
Dr. Nisha Chauhan	Hindi Rajkiya Kanya Maha Vidyalya, Shimla Himachal Pradesh (India)	TURKISH-HİNDİ LINGUISTIC CONTACT: A HISTORICAL STUDY OF LEXICAL BORROWING AND SEMANTIC ADAPTATION
Mrs. Shailza	Government Degree College Rakkar, Kangra	ROLE OF WOMEN IN PANCHAYATI RAJ INSTITUTIONS: A COMPARATIVE STUDY OF CHAMBA AND HAMIRPUR DISTRICTS OF HIMACHAL PRADESH
Sauqi Masda KAMA Adhi Wira Pradana SUGIANTORO Muhammad Nazih HANIIF Irfandi RIZQULLAH4, MIFTAKHUDIN	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	CULINARY AS CULTURAL IDENTITY OF BATANG: LOCAL HISTORY, COMMUNITY IDENTITY, AND INDIGENOUS KNOWLEDGE
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	REGIONAL CREATIVE ECONOMY POLICY IN BATANG REGENCY: STRATEGIES FOR MSME DEVELOPMENT, TOURISM INTEGRATION, AND SUSTAINABLE ECONOMIC GROWTH
Sukma Fathimah Az-Zahro' Meita Nadya Aulya Nisa Amalia Sari Aulia Rahmawati Azizil Lichasanah	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	CONCEPT AND ARCHITECTURE OF HALAL HUB IN BATANG REGENCY
Syaliva Dhu SA'ATIN Sabrina ZAHROH Mutia Aira RAMADHANI Adellia Saniyatuz ZAHRO Ika Ismatul HAWA	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	BATIK RIFA'IYAH AND CULTURAL HERITAGE OF THE BATANG COMMUNITY
Inda Millata Afna Naila Septiani, Nasywa Awaliyah Aini Anjali Putri Kamalia Rani Suci Rahmadani	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	PRODUCT INNOVATION BATANG



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

26.09.2026

TÜRKİYE Local Time: 09:30-11:30

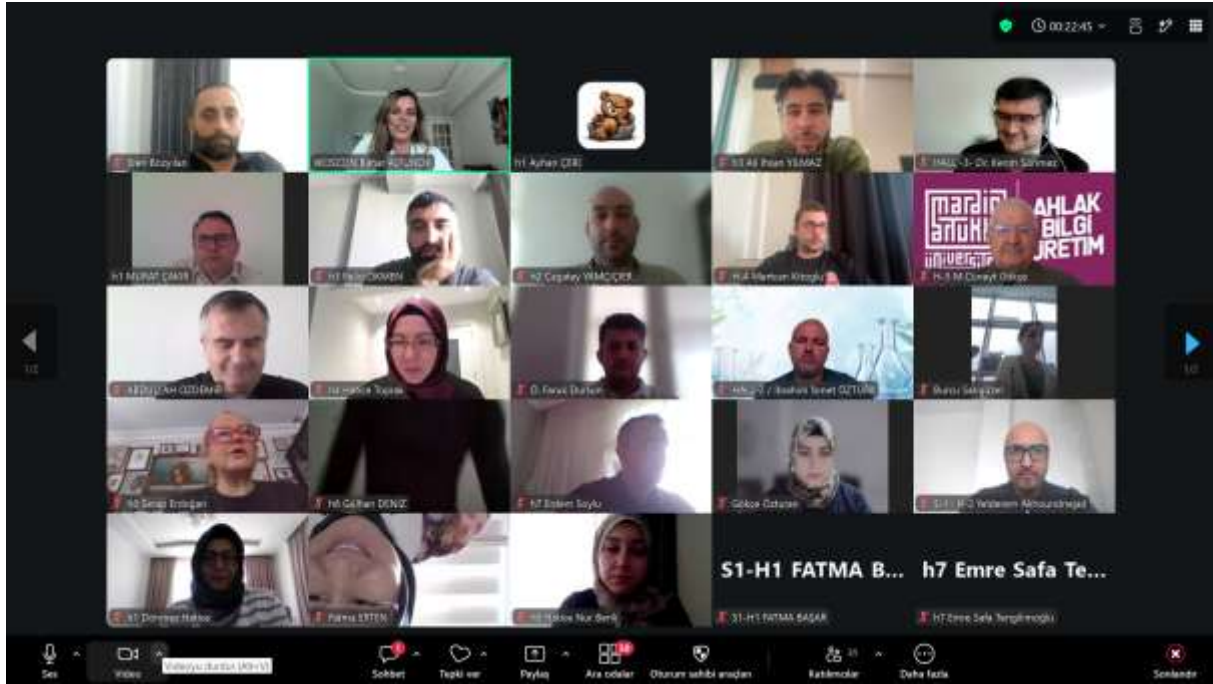
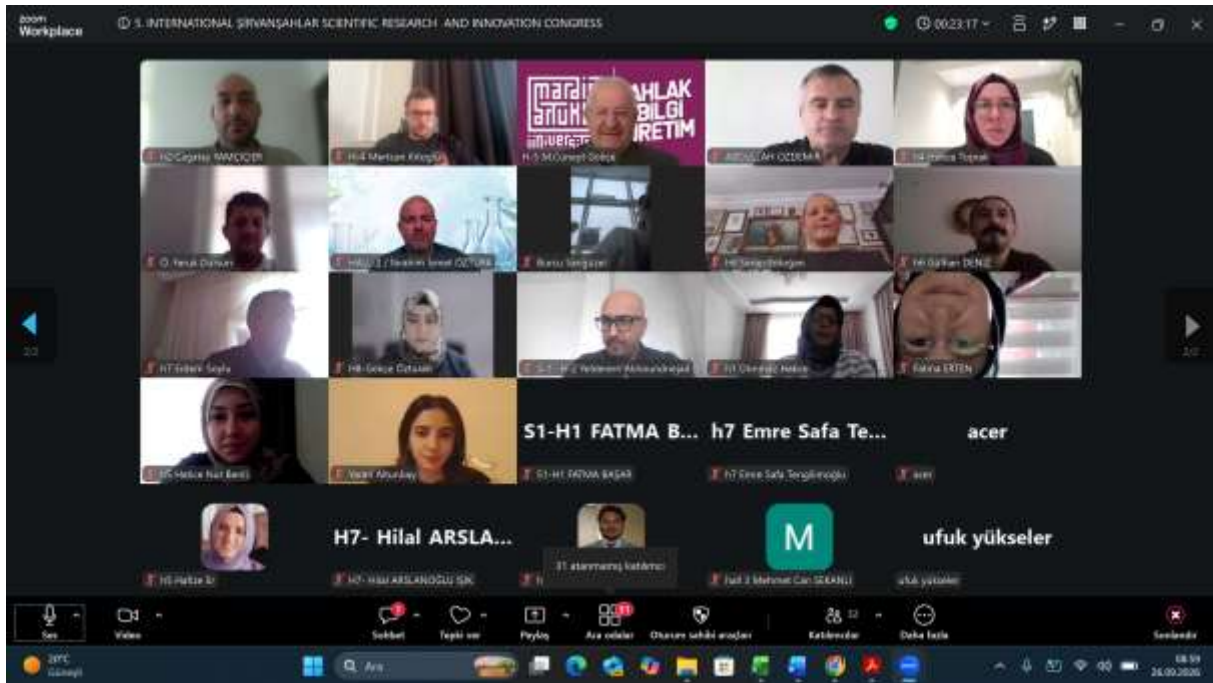
HEAD OF SESSION: Moses Adeolu AGOI

SESSION-2 HALL-14

AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Mutia Aira RAMADHANI Ika Ismatul HAWA Sabrina ZAHROH Syalya Dhu SA'ATIN Adellia Saniyatuz ZAHRO	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	<i>THE RELATIONSHIP BETWEEN ISLAM AND BATİK TRADITION IN PEKALONGAN</i>
Zahrotul Milatina Muhammad Reza Kurniawan Naeza Fara Diba Nabilatul Fauziyah, Anasta Nafsi	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	<i>PRODUCT INNOVATION BASED ON LOCAL POTENTIAL: STRENGTHENING THE COMPETITIVENESS OF CREATIVE PRODUCTS IN BATANG REGENCY</i>
Nisa Amalia, Meita Nadya Aulya Sari Aulia Rahmawati Sukma Fathimah Az-Zahro Azizil Lichasanah	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	<i>CREAT ECOSYSTEM DEVELOPMENT IN BATANG REGENCY: A QUADRUPLE HELIX APPROACH FOR SUSTAINABLE LOCAL CREAT ECONOMY</i>
Adellia Saniyatuz ZAHRO Ika Ismatul HAWA Syalya Dhu SA'ATIN Mutia Aira RAMADHANI Sabrina ZAHROH	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	<i>DIGITALIZATION OF THE BATİK INDUSTRY: PRESERVING CULTURAL HERITAGE THROUGH TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT</i>
Gouthon Gilchrist Fabrice Dioubaté Mohamed Lamine Houessou Frédéric Maman Sabiratu Diop Moustapha Gbaguidi Arnould	General Lansana Conté University of Sonfonia– Conakry (UGLC-SC), Republic of Guinea, University of Abomey- Calavi, Republic of Benin. University of Abomey- Calavi, Republic of Benin	<i>FACTORS INFLUENCING THE ACCEPTANCE OF FAMILY PLANNING AMONG ADOLESCENT GIRLS AND YOUNG WOMEN IN THE MUNICIPALITY OF DJOUGOU (BENIN)</i>
Ghathfaan Alhamda Rahman Muhammad Hidayatullah M. Abdul Latif Tabik Asghar Ramadhani Haikal Adzimil Anam	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	<i>THE DEVELOPMENT OF A HALAL FOOD INDUSTRIAL AREA IN PEMALANG REGENCY: CONCEPT, ECONOMIC POTENTIAL, AND STRATEGIC FRAMEWORK</i>
Nasywa Awalayah Naila Septiani, Inda Millata Afna Aini Anjali Putri Kamalia Rani Suci Rahmadani	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia	<i>CRAFTS AS A DRIVER OF BATANG'S CREATIVE ECONOMY</i>
Moses Adeolu AGOI Oluwakemi Racheal OSHINOWO Adebayo Samuel ADEOGUN Christiana Toyin ODUWOLE	Lagos State University of Education, Lagos Nigeria	<i>ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN EDUCATIONAL WORKFORCE MANAGEMENT: TEACHER ANALYTICS AND PROFESSIONAL DEVELOPMENT</i>



5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26-27 September 2026 Azerbaijan





5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan

The screenshot shows a Zoom meeting interface. On the left, a presentation slide is displayed with the following text:

* Kuduz ve arkadaşlarının (2026) çalışmasında, menopoz döneminde sensör ve yapay zekâ teknolojilerinin kullanım alanlarının genişlediği, ancak çoklu veri entegrasyonunun halen geliştirilmesi gereken önemli bir alan olduğu belirtilmiştir.

On the right, four participants are visible in their respective video windows:

- Top left: A woman wearing a headscarf.
- Top right: A woman with long dark hair.
- Bottom left: A man with glasses.
- Bottom right: A man with glasses.

The Zoom toolbar at the bottom includes icons for chat, video, screen sharing, and other standard features. The WOSCON logo is visible in the top right corner of the meeting window.

The screenshot shows a Zoom meeting interface. On the left, a presentation slide titled "Computational Workflow" is displayed. The slide contains six numbered steps:

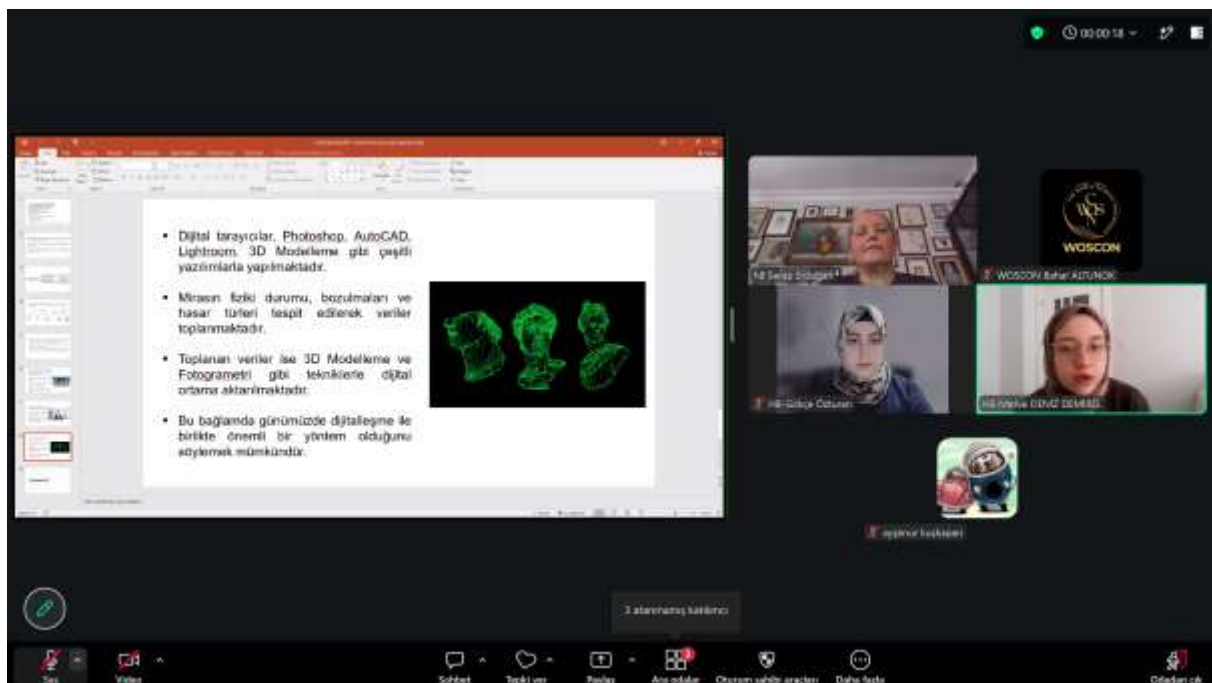
1. Literature Cif
2. Geometry optimization
3. DFT level
4. Electronic analysis
5. Spectroscopy
6. MEP

At the bottom of the slide, it says: "Software: Gaussian 16W • Visualizer: GaussView 6.0.16".

On the right, three participants are visible in their respective video windows:

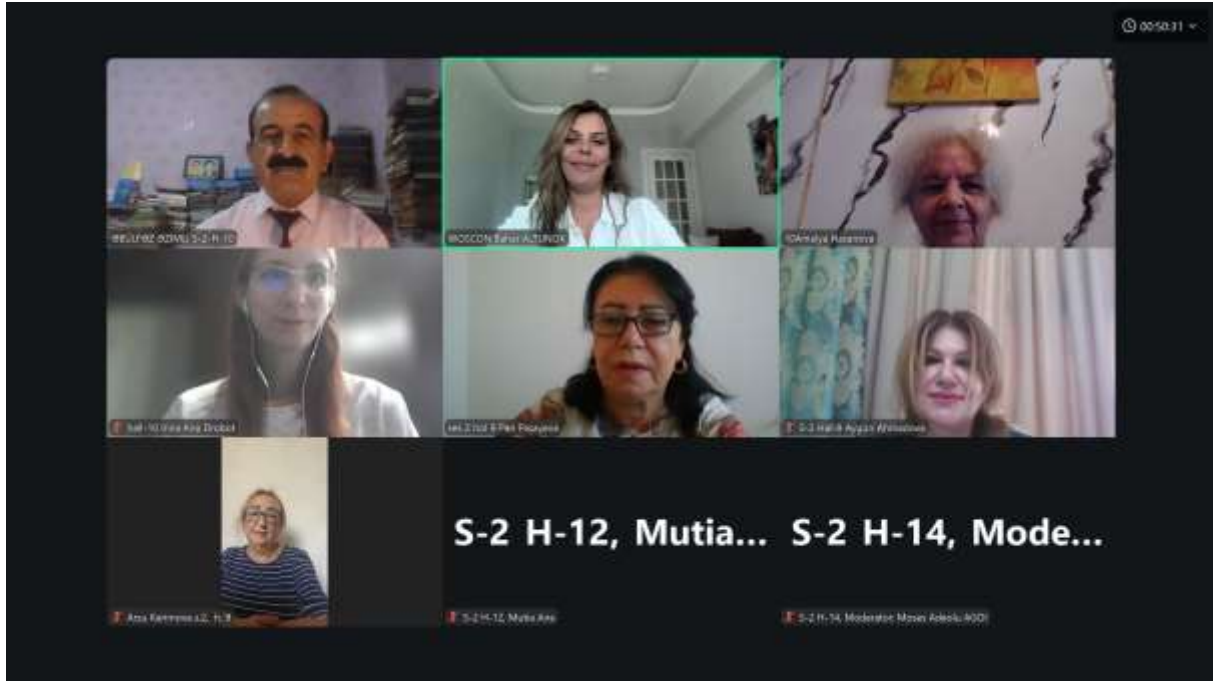
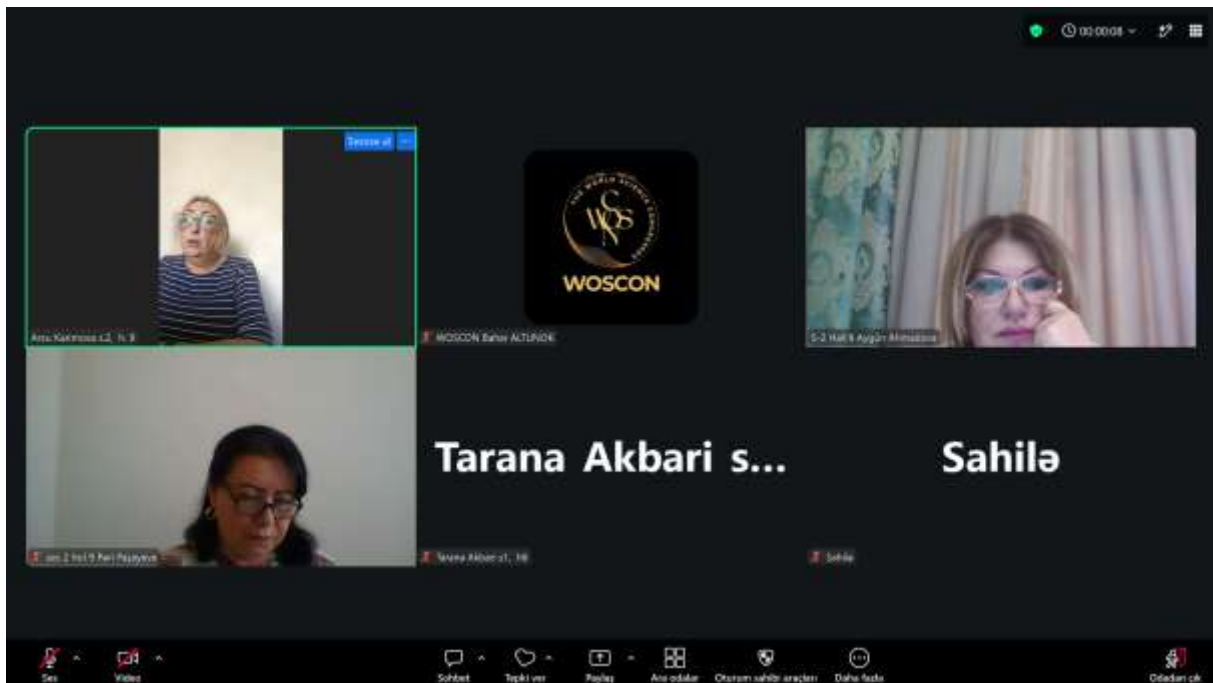
- Top left: A man with a beard.
- Top right: A woman with long dark hair.
- Bottom left: A man with a beard.

The Zoom toolbar at the bottom includes icons for chat, video, screen sharing, and other standard features. The WOSCON logo is visible in the top right corner of the meeting window.





5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
26–27 September 2026 Azerbaijan



İÇİNDEKİLER/CONTENTS

VIRTUAL REALITY APPLICATIONS IN WOMEN'S HEALTH: INNOVATIVE APPROACHES TO CHILDBIRTH, PAIN MANAGEMENT AND HEALTH EDUCATION.....	10
KADIN SAĞLIĞINDA SANAL GERÇEKLİK UYGULAMALARI: DOĞUM, AĞRI YÖNETİMİ VE SAĞLIK EĞİTİMİNDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR.....	12
WEARABLE TECHNOLOGIES IN WOMEN'S HEALTH: DIGITAL TRANSFORMATION FROM MENSTRUATION TO MENOPAUSE.....	19
ÇOCUK SAĞLIĞI VE HASTALIKLARINDA TELETIP UYGULAMALARI: GÜNCEL DURUM, FIRSATLAR VE SINIRLILIKLAR	26
TELEMEDICINE IN PEDIATRIC HEALTH AND DISEASES: CURRENT STATUS, OPPORTUNITIES, AND LIMITATIONS.....	27
PERİNATAL PALYATİF BAKIM: HEMŞİRELİK BAKIMINDA BÜTÜNCÜL VE AİLE MERKEZLİ BİR YAKLAŞIM.....	35
PERİNATAL PALLİATIVE CARE: A HOLISTIC AND FAMILY-CENTERED APPROACH IN NURSING CARE	36
PEDİATRİK PALYATİF BAKIMDA AĞRI VE SEMPTOM YÖNETİMİNDE	51
MULTİMODAL SEMPTOM YÖNETİMİ.....	51
KANSER BİYOLOJİSİNDE TRANSİENT RECEPTOR POTENTIAL ANKYRİN 1 İYON KANALLARININ ROLÜ.....	62
THE ROLE OF TRANSIENT RECEPTOR POTENTIAL ANKYRİN 1 ION CHANNELS IN CANCER BIOLOGY	63
İSKEMİ-REPERFÜZYON HASARI İLE TRANSİENT RECEPTOR POTENTIAL VANİLLOİD 1 KANALLARININ İLİŞKİSİ.....	70
THE RELATIONSHIP BETWEEN ISCHEMIA-REPERFUSION INJURY AND TRANSIENT RECEPTOR POTENTIAL VANİLLOİD 1 CHANNELS.....	71
COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF THE ELECTRONIC AND REACTIVITY PROPERTIES OF 2-ACETYLTHIOPHENE-N-ETHYL THIOSEMICARBAZONE	80



DENSITY FUNCTIONAL THEORY INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, ELECTRONIC, AND VIBRATIONAL PROPERTIES OF ANTIMONY(III) BROMIDE COMPLEX WITH 2-MERCAPTO-4-METHYLTHIAZOLE	92
TETRAGONAL LiVH ₄ HİDRÜRÜNÜN YAPISAL, MEKANİK, ELEKTRONİK VE OPTİK DAVRANIŞININ İLK İLKELER YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI	106
FIRST-PRINCIPLES INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, MECHANICAL, ELECTRONIC, AND OPTICAL PROPERTIES OF TETRAGONAL LiVH ₄	107
KSCH ₃ BİLEŞİĞİNİN MEKANİK STABİLİTESİ, İZOTROPİK DAVRANIŞI VE ELEKTRONİK YAPISININ YOĞUNLUK FONKSİYONELİ TEORİSİ İLE MODELLENMESİ	120
MODELING THE MECHANICAL STABILITY, ISOTROPIC BEHAVIOR, AND ELECTRONIC STRUCTURE OF THE KSCH ₃ COMPOUND USING DENSITY FUNCTIONAL THEORY	121
SEBZE BİTKİLERİNDE MELATONİN: BÜYÜME, ABİYOTİK STRES TOLERANSI, ÜRÜN KALİTESİ VE HASAT SONRASI FİZYOLOJİDE ÇOK İŞLEVİLİ BİR DÜZENLEYİCİ	138
MELATONIN IN VEGETABLE CROPS: A MULTIFUNCTIONAL REGULATOR OF GROWTH, ABIOTIC STRESS TOLERANCE, PRODUCT QUALITY, AND POSTHARVEST PHYSIOLOGY	139
BAHÇE BİTKİLERİNDE NANOTEKNOLOJİ: GÜNCEL GELİŞMELER VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ	150
NANOTECHNOLOGY IN HORTICULTURAL CROPS: CURRENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES	151
100 KW ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMDE GERİLİM ÇUKURUNUN DİNAMİK PERFORMANSA ETKİSİNİN ANALİZİ	166
ANALYSIS OF THE EFFECT OF VOLTAGE SAG ON THE DYNAMIC PERFORMANCE OF A 100 KW GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM	167
100 KW ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMİN FARKLI ŞEBEKE FREKANSI SAPMALARI ALTINDA DİNAMİK PERFORMANS ANALİZİ	179
DYNAMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF A 100 KW GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM UNDER DIFFERENT GRID FREQUENCY DEVIATIONS	180

ELEKTROEĞİRME İLE ÜRETİLEN PAN VE PVA NANOLİFLERİN OPTİMUM İŞLEM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	191
DETERMINATION OF OPTIMUM PROCESS PARAMETERS FOR PAN AND PVA NANOFIBERS PRODUCED BY ELECTROSPINNING.....	192
REFERANS NESNESİ KULLANILARAK VE KULLANILMADAN TEK GÖRÜNTÜDEN YİYECEK TANIMA VE KALORİ TAHMİNİ.....	207
FOOD RECOGNITION AND CALORIE ESTIMATION FROM A SINGLE IMAGE WITH AND WITHOUT A REFERENCE OBJECT	208
DIGITAL TWIN-ASSISTED INTELLIGENT FORECASTING AND EARLY WARNING SYSTEM FOR AIR QUALITY.....	227
SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNDE YAPAY ZEKÂ, MOBİL UYGULAMA VE UZAKTAN EĞİTİM KULLANIM DÜZEYİNİN AKADEMİK BAŞARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: ÖN BULGULAR	241
THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MOBILE APPLICATION, AND DISTANCE EDUCATION USAGE LEVELS ON ACADEMIC ACHIEVEMENT IN HEALTH SCIENCES FACULTY STUDENTS: PRELIMINARY FINDINGS	242
PARKİNSON TANILI HASTADA DİYABETİK AYAK TEDAVİSİ; OLGU SUNUMU	243
PARKİNSON HASTALARINDA KONUŞMA VE SES BOZUKLUKLARININ AKUSTİK ANALİZİ .	245
ACOUSTIC ANALYSIS OF SPEECH AND VOICE DISORDERS IN PATIENTS WITH PARKİNSON’S DISEASE.....	246
BRUKSİZM YÖNETİMİNDE OKLÜZAL SPLİNT TEKNOLOJİLERİNDEKİ GELİŞMELER: DİJİTAL VE GELENEKSEL YÖNTEMLERİN KAPSAMLI BİR İNCELEMESİ.....	247
ADVANCEMENTS IN OCCLUSAL SPLINT TECHNOLOGIES FOR BRUXISM MANAGEMENT: A COMPREHENSIVE REVIEW OF DIGITAL AND CONVENTIONAL METHODS	248
ESPORCULARDA YARIŞMA ÖNCESİ FİZİKSEL ISINMANIN BİLİŞSEL VE OYUN PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: FİZYOLOJİK MEKANİZMALAR VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR	249



THE EFFECTS OF PRE-COMPETITION PHYSICAL WARM-UP ON COGNITIVE AND GAMING PERFORMANCE IN ESPORTS ATHLETES: PHYSIOLOGICAL MECHANISMS AND APPLIED APPROACHES.....	250
ESPORCULARDA AKUT EGZERSİZİN FİZYOLOJİK VE BİLİŞSEL PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: MEKANİZMALAR, DOZ-CEVAP İLİŞKİSİ VE PERFORMANSA YANSIMALARI	265
EFFECTS OF ACUTE EXERCISE ON PHYSIOLOGICAL AND COGNITIVE PERFORMANCE IN ESPORTS ATHLETES: MECHANISMS, DOSE-RESPONSE RELATIONSHIPS, AND PERFORMANCE IMPLICATIONS	266
TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ ÇERÇEVESİNDE 2005, 2018 VE 2024 SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETİM PROGRAMLARININ DEĞERLER EĞİTİMİ AÇISINDAN İNCELENMESİ	280
AN INVESTIGATION OF THE 2005, 2018, AND 2024 SOCIAL STUDIES CURRICULUM FRAMEWORKS IN TERMS OF VALUES EDUCATION WITHIN THE SCOPE OF THE CENTURY OF TÜRKİYE EDUCATION MODEL	281
SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETMENLERİNİN TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETİM PROGRAMINA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ.....	292
INVESTIGATION OF SOCIAL STUDIES TEACHERS' OPINIONS ON THE CENTURY OF TÜRKİYE MAARİF MODEL SOCIAL STUDIES CURRICULUM	293
KUR'ÂN-I KERİM'DE HZ. PEYGAMBER'İN (S.A.S.) DUALARI	310
THE SUPPLICATIONS OF THE PROPHET MUHAMMAD (PBUH) IN THE QUR'AN.....	311
TANZİMAT DÖNEMİNDE OSMANLI MEKTEPLERİNDE ÇOCUK OLMAK.....	322
BEING A CHILD IN OTTOMAN SCHOOLS DURING THE TANZİMAT PERIOD	323
TÜRKİYE'DE BANKA BİLANÇOLARINDA DOLARİZASYONUN DİNAMİKLERİ: DÖVİZ KURU VE FAİZ ORANLARIYLA İLİŞKİSİ	324
DYNAMICS OF BANK BALANCE SHEET DOLLARIZATION IN TÜRKİYE: ITS RELATIONSHIP WITH EXCHANGE RATES AND INTEREST RATES.....	326
OECD ÜLKELERİNDE JEOPOLİTİK RİSKİN MAKROEKONOMİK BELİRLEYİCİLERİ: PANEL VERİ ANALİZİ (2000-2024)	349

MACROECONOMIC DETERMINANTS OF GEOPOLITICAL RISK IN OECD COUNTRIES: A PANEL DATA ANALYSIS (2000–2024)	350
ENERGY TRANSITION AND INDUSTRIAL COMPETITIVENESS IN EUROPE: COSTS, INVESTMENT AND PRODUCTIVITY	366
DİJİTAL FİNANS KULLANIMI İLE RESMİ TASARRUF DAVRANIŞI ARASINDAKİ İLİŞKİ: ULUSLARARASI BİR ANALİZ.....	367
THE RELATIONSHIP BETWEEN DIGITAL FINANCE USAGE AND FORMAL SAVING BEHAVIOR: AN INTERNATIONAL ANALYSIS.....	368
NATIONAL AI DATA GOVERNANCE, DATA TRUSTS AND SECURE AI EXCHANGE	380
ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARINDA LİTYUM-İYON BATARYALARIN SALGILADIĞI TOKSİK GAZ REJİMLERİ, SAHADAKİ CANLILAR ÜZERİNDEKİ BİYOLOJİK ETKİLERİ VE İLK MÜDAHALE EKİPLERİ İÇİN ZORUNLU SOLUNUM KORUMA PROTOKOLLERİ.....	382
TOXIC GAS REGIMES EMITTED BY LITHIUM-ION BATTERIES IN ELECTRIC VEHICLE FIRES, BIOLOGICAL EFFECTS ON LIVING ORGANISMS IN THE VICINITY, AND MANDATORY PROTECTION PROTOCOLS FOR FIRST RESPONDERS	383
GÖKDELEN YANGINLARINDA SABİT SULU BORU SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ VE HONG KONG 2025 WANG FUK COURT (WONK CUNK) YANGINI İNCELEMESİ	389
YERALTI BARAJLARI PROJELERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSKLERİNİN	396
DEĞERLENDİRİLMESİ	396
OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY RISKS IN UNDERGROUND DAM PROJECTS	397
YÜKSEK BASINÇLI CONDUİT SİSTEMLERİNDE HAVALANDIRMA VERİMİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ.....	405
PREDICTION OF VENTILATION EFFICIENCY IN HIGH-PRESSURE CONDUIT SYSTEMS USING MACHINE LEARNNG METHODS.....	406
SU KAYIPLARINDA ALTYAPI VE TEKNOLOJİNİN ROLÜ	430
THE ROLE OF INFRASTRUCTURE AND TECHNOLOGY IN WATER LOSSES	431
SELF-SENSING CONCRETE TECHNOLOGIES FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING: SENSING MECHANISMS, APPLICATIONS, AND CURRENT CHALLENGES	441

YAPISAL SAĞLIK İZLEMEDE KENDİNİ ALGILAYAN BETON TEKNOLOJİLERİ: ALGILAMA MEKANİZMALARI, UYGULAMALAR VE GÜNCEL ZORLUKLAR.....	442
TOPLUMSAL GÜZELLİK ALGISI VE ÖZDEĞER İLİŞKİSİ: THE UGLY STEPSISTER FİLMİ ÜZERİNDEN GÖSTERGEBİLİMSEL ANALİZ	457
SOCIAL PERCEPTION OF BEAUTY AND SELF-WORTH: A SEMIOTIC ANALYSIS THROUGH THE FILM THE UGLY STEPSISTER.....	458
KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA DİJİTAL RESTORASYONUN ÖNEMİ.....	466
THE IMPORTANCE OF DIGITAL RESTORATION IN THE PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE	467
JASPERWARE VE PORTLAND VAZOSU ÜZERİNDEN WEDGWOOD SERAMİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	475
AN EXAMINATION OF WEDGWOOD CERAMICS THROUGH JASPERWARE, AND THE PORTLAND VASE.....	477
PROPAGANDA YÖNTEMİ OLARAK VIDEO OYUNLARI: 2013-2023 YILLARI ARASINDAKİ POPÜLER VIDEO OYUNLARININ İNCELENMESİ	495
VIDEO GAMES AS A METHOD OF PROPAGANDA: AN EXAMINATION OF POPULAR VIDEO GAMES BETWEEN 2013 AND 2023	496
AZƏRBAYCANDA YAZI MƏDƏNİYYƏTİNİN FORMALAŞMA TARİXİ.....	514
CREATION HISTORY OF AZERBAIJANI WRITTEN CULTURE	515
AZERBAIJAN ÇOCUK EDEBİYATININ TARİHSEL-KÜLTÜREL TEMELLERİ.....	516
20. YÜZYILIN 80'LERİ	516
HISTORICAL-CULTURAL BASIS OF AZERBAIJAN CHILDREN'S LITERATURE 80S OF THE 20TH CENTURY	517
AZƏRBAYCAN UŞAQ ƏDƏBİYYATININ TARİXİ-MƏDƏNİ ƏSASLARI XX ƏSRİN 80-Cİ İLLƏRİ	518
OXU SÜRƏTİ VƏ OXU ANLAYIŞININ FORMALAŞDIRILMASI.....	523
DEVELOPMENT OF READING SPEED AND READING COMPREHENSION	524
TƏLİM STRATEGİYALARI VƏ TƏLİM NƏTİCƏLƏRİ: NƏZƏRİ VƏ PRAKTİK ASPEKTLƏR.....	530

TEACHING STRATEGIES AND LEARNING OUTCOMES: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS	531
İLKÖĞRETİM ÇAĞI ÇOCUKLARINDA BİLİŞSEL DOYGUNLUK VE DİKKAT KAYBININ NÖRO-PEDAGOJİK VE HİJYENİK DÜZLEMDE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	536
FIGURATIVE LANGUAGE IN CONTEMPORARY ENGLISH	543
ŞİRVANŞAHLAR DÖVLƏTİNİN AZƏRBAYCAN TARİXİNDƏ ROLU	545
THE ROLE OF THE SHIRVANSHAH STATE IN THE HISTORY OF AZERBAIJAN	546
NÜBÜVVƏT VƏ İMAMƏT İŞİQLƏRİ: “ALLAHIN BƏŞƏRİYYƏT ÜZƏRİNDƏKİ HÖCCƏTİ” VƏ ELMİN QAPISI HZ.ƏLİ (Ə) FƏZİLƏTLƏRİ	547
THEOLOGIAN, RESEARCHER AND WRITER İMAM DİKMEN.....	549
LIGHTS OF PROPHETHOOD AND IMAMATE: THE VIRTUES OF HAZRAT ALI (AS)—“GOD’S PROOF UPON HUMANITY” AND THE GATE OF KNOWLEDGE	549
BÜTÖV AZƏRBAYCAN ƏDƏBİYYATI: MƏHƏMMƏDƏMİN DİSLUZDA DİVAN POETİZMİ VƏ YENİ MÖVZU-İDEYA ÖZƏLLİKLƏRİ.....	565
LITERATURE OF UNITED AZERBAIJAN: NEW THEMATIC AND CONCEPTUAL FEATURES IN THE DIVAN POETRY OF MƏHƏMMƏDƏMİN DİLSUZ	567
THE ORTHOEPIC SYSTEM OF MODERN AZERBAIJANI: PHONETIC LAWS, NORMATIVE DIVERGENCES, AND CODIFICATION STANDARDS	594
THE ORIGIN OF MONGOLIA CHOIR.....	599
MÜASİR ANTROPOLOGİYADA GERONTOLOGİYANIN SOSİAL-PSİXOLOJİ İSTİQAMƏTLƏRİ	603
THE APPLICABILITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN BIOMETRIC RESEARCH	604
KOTƏKAMÜL PROSESİNİN MÜASİR TEXNİKİ-SİNERGETİK KONSEPSİYALARI.....	611
MODERN TECHNICAL-SYNERGETIC CONCEPTS OF THE COTECAMUL PROCESS	612
AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT CLIMBING MOUNTAINS BY MELISSA DENNISON	618
DİGİTAL BRANDING OF CULINARY PRODUCTS IN PEMALANG	624



CREATIVE PRODUCT DEVELOPMENT IN TOURISM: STRENGTHENING LOCAL IDENTITY AND CREATIVE ECONOMY IN PEMALANG REGENCY	625
PEMALANG HALAL FOOD INDUSTRIAL AREA: A STRATEGIC CONCEPT FOR DEVELOPING AN INTEGRATED HALAL FOOD MANUFACTURING HUB	626
HALAL CULINARY TOURISM AS A CREATIVE ECONOMY STRATEGY FOR STRENGTHENING LOCAL CULINARY POTENTIAL IN BATANG REGENCY	627
HALAL CREATIVE PRODUCTS IN PEMALANG: DEVELOPING LOCAL CRAFTS THROUGH HALAL VALUES, CULTURAL IDENTITY, AND CREATIVE ECONOMY	628
DEVELOPING THE HALAL INDUSTRY ECOSYSTEM IN PEMALANG REGENCY: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN CERTIFICATION, INSTITUTIONAL SUPPORT, AND DIGITALIZATION.....	629
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SOCIAL CHANGE: BETWEEN INNOVATION, INEQUALITY, AND THE RECONFIGURATION OF HUMAN RELATIONS.....	630
IDENTITY, TRADITION, AND CULTURAL ADAPTATION IN CONTEMPORARY SOCIETY: A SOCIOCULTURAL ANTHROPOLOGICAL PERSPECTIVE.....	655
STRENGTHENING THE HALAL INDUSTRY ECOSYSTEM IN BATANG REGENCY: POTENTIAL, CHALLENGES, AND LOCAL DEVELOPMENT STRATEGIES	680
BATIK RIFAIYAH AS A CULTURAL-BASED CRAFT SUBSECTOR IN THE CREATIVE ECONOMY	681
CREATIVE ECONOMY DEVELOPMENT IN BATANG REGENCY, CENTRAL JAVA: LOCAL POTENTIAL, CHALLENGES, AND DEVELOPMENT OPPORTUNITIES	682
GOVERNMENT AND MSME COLLABORATION IN PEMALANG: TOWARD AN INCLUSIVE AND SUSTAINABLE LOCAL CREATIVE ECONOMY	683
DIGITAL MARKETING FOR MSMES IN BATANG, CENTRAL JAVA: STRATEGIES, OPPORTUNITIES, AND CHALLENGES	684
THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF CRAFTS IN PEMALANG: CULTURAL HERITAGE, LOCAL SKILLS, AND COMMUNITY ECONOMIC LIFE	685
THE DARK SIDE OF SOCIAL MEDIA JOURNALISM: MISINFORMATION, UNVERIFIED REPORTING AND THE EROSION OF PUBLIC TRUST IN INDIA	686



DIGITAL TRANSFORMATION UMKM.....	687
TURKISH-HINDI LINGUISTIC CONTACT: A HISTORICAL STUDY OF LEXICAL BORROWING AND SEMANTIC ADAPTATION.....	688
ROLE OF WOMEN IN PANCHAYATI RAJ INSTITUTIONS: A COMPARATIVE STUDY OF CHAMBA AND HAMIRPUR DISTRICTS OF HIMACHAL PRADESH	690
CULINARY AS CULTURAL IDENTITY OF BATANG: LOCAL HISTORY, COMMUNITY IDENTITY, AND INDIGENOUS KNOWLEDGE.....	691
REGIONAL CREATIVE ECONOMY POLICY IN BATANG REGENCY: STRATEGIES FOR MSME DEVELOPMENT, TOURISM INTEGRATION, AND SUSTAINABLE ECONOMIC GROWTH.....	692
CONCEPT AND ARCHITECTURE OF HALAL HUB IN BATANG REGENCY	693
BATIK RIFA'YAH AND CULTURAL HERITAGE OF THE BATANG COMMUNITY	694
PRODUCT INNOVATION BATANG	695
THE RELATIONSHIP BETWEEN ISLAM AND BATIK TRADITION IN PEKALONGAN	696
PRODUCT INNOVATION BASED ON LOCAL POTENTIAL: STRENGTHENING THE COMPETITIVENESS OF CREATIVE PRODUCTS IN BATANG REGENCY	697
CREAT ECOSYSTEM DEVELOPMENT IN BATANG REGENCY: A QUADRUPLE HELIX APPROACH FOR SUSTAINABLE LOCAL CREAT ECONOMY	698
DIGITALIZATION OF THE BATIK INDUSTRY: PRESERVING CULTURAL HERITAGE THROUGH TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT	699
FACTORS INFLUENCING THE ACCEPTANCE OF FAMILY PLANNING AMONG ADOLESCENT GIRLS AND YOUNG WOMEN IN THE MUNICIPALITY OF DJOUGOU (BENIN)	700
THE DEVELOPMENT OF A HALAL FOOD INDUSTRIAL AREA IN PEMALANG REGENCY: CONCEPT, ECONOMIC POTENTIAL, AND STRATEGIC FRAMEWORK.....	701
CRAFTS AS A DRIVER OF BATANG'S CREATIVE ECONOMY	702
ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN EDUCATIONAL WORKFORCE MANAGEMENT: TEACHER ANALYTICS AND PROFESSIONAL DEVELOPMENT	703

VIRTUAL REALITY APPLICATIONS IN WOMEN'S HEALTH: INNOVATIVE APPROACHES TO CHILDBIRTH, PAIN MANAGEMENT AND HEALTH EDUCATION

Prof. Dr. Fatma BAŞAR

**Kutahya Health Sciences University, Faculty of Health Sciences,
Department of Obstetrics and Gynecology Nursing, Kutahya, Turkey,**

Email: fatma.basar@ksbu.edu.tr,

Orcid number: 0000-0003-4288-9111

Abstract

Virtual reality (VR) is an innovative technology that enables individuals to interact with computer-generated, three-dimensional environments and experience immersive digital scenarios. In recent years, its use in healthcare has expanded considerably, and VR has attracted increasing attention in women's health, particularly in supporting the childbirth process, managing pain and anxiety, enhancing health education, and providing practical training for healthcare professionals. This study aimed to examine the potential applications of VR in women's health and to highlight its possible contributions to clinical practice based on the current literature. The study was based on an evaluation of recent literature addressing the use of VR in women's health, obstetrics, and gynecology. Findings from the literature indicate that VR may help reduce pain perception and anxiety during childbirth by directing women's attention toward alternative visual and auditory stimuli and promoting relaxation. In addition, VR-based environments used in childbirth preparation may support women in gaining knowledge about the birth process and developing greater readiness for childbirth. The potential use of VR extends beyond labor pain management and includes reducing anxiety during pregnancy, supporting pain and procedural anxiety management during selected gynecological procedures, and making women's health education more interactive and engaging. Furthermore, the simulation of childbirth and gynecological care scenarios through VR may provide nursing and midwifery students with opportunities to develop clinical skills and prepare for different clinical situations in a safe and controlled environment. Despite these potential benefits, several challenges may limit the widespread implementation of VR, including the cost of devices and software, the need for appropriate technological infrastructure, user adaptation to the technology, possible adverse effects such as dizziness or nausea, and the lack of standardized applications and protocols. In conclusion, VR represents a promising and innovative approach that can support pain and anxiety management, childbirth preparation, health education, and professional training in women's health. Further development of

personalized VR applications tailored to the needs of different groups of women, together with robust clinical evidence regarding their effectiveness, may contribute to the broader integration of this technology into women's healthcare services.

Keywords: Virtual reality, women's health, labor pain, childbirth anxiety, health education, digital health

KADIN SAĞLIĞINDA SANAL GERÇEKLİK UYGULAMALARI: DOĞUM, AĞRI YÖNETİMİ VE SAĞLIK EĞİTİMİNDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Özet

Sanal gerçeklik (SG), bireyin bilgisayar destekli, üç boyutlu ve etkileşimli ortamlarda deneyim yaşamasına olanak sağlayan yenilikçi bir teknolojidir. Son yıllarda sağlık hizmetlerinde kullanım alanı giderek genişleyen bu teknoloji, kadın sağlığında özellikle doğum sürecinin desteklenmesi, ağrı ve kaygının yönetilmesi, sağlık eğitiminin geliştirilmesi ve sağlık profesyonellerinin uygulamalı eğitiminde dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, sanal gerçeklik teknolojisinin kadın sağlığı alanındaki kullanım olanaklarının değerlendirilmesi ve mevcut literatür doğrultusunda klinik uygulamalardaki potansiyel katkılarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma, kadın sağlığı, obstetri ve jinekoloji alanlarında sanal gerçeklik kullanımını ele alan güncel literatürün incelenmesine dayalı olarak hazırlanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar, sanal gerçeklik uygulamalarının özellikle doğum sırasında kadının dikkatini farklı uyarılara yönlendirerek ağrı algısının ve kaygının azaltılmasına yardımcı olabileceğini göstermektedir. Bunun yanında doğuma hazırlık eğitimlerinde kullanılan sanal ortamların, kadınların doğum sürecine ilişkin bilgi edinmelerini ve sürece yönelik hazırlıklarını destekleyebileceği bildirilmektedir. Sanal gerçeklik; yalnızca doğum ağrısının yönetiminde değil, gebelik döneminde kaygının azaltılması, bazı jinekolojik işlemler sırasında ağrı ve işlem öncesi endişenin kontrol edilmesi ve kadın sağlığına ilişkin eğitimlerin daha etkileşimli hale getirilmesi amacıyla da kullanılabilmektedir. Ayrıca hemşirelik ve ebelik eğitimlerinde doğum ve jinekolojik bakım süreçlerinin simüle edilmesi, öğrencilerin klinik becerilerini geliştirmeleri ve farklı senaryolara güvenli bir ortamda hazırlanmaları açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Bununla birlikte sanal gerçekliğin yaygın kullanımının önünde cihaz ve yazılım maliyetleri, teknik altyapı gereksinimi, kullanıcıların teknolojiye uyumu, bazı bireylerde ortaya çıkabilen baş dönmesi veya bulantı gibi sorunlar ve uygulamalardaki standartlaşma eksikliği gibi sınırlılıklar bulunmaktadır. Sonuç olarak sanal gerçeklik, kadın sağlığında özellikle ağrı ve kaygı yönetimi, doğuma hazırlık, sağlık eğitimi ve mesleki eğitim süreçlerini destekleyebilecek yenilikçi bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Gelecekte farklı kadın gruplarının gereksinimlerine uygun, kişiselleştirilebilir ve klinik olarak etkinliği kanıtlanmış sanal gerçeklik uygulamalarının geliştirilmesi, bu teknolojinin kadın sağlığı hizmetlerindeki kullanımını daha da artırabilir.

Anahtar Kelimeler: Sanal gerçeklik, kadın sağlığı, doğum ağrısı, doğum kaygısı, sağlık eğitimi, dijital sağlık

INTRODUCTION

Technological developments offer new opportunities in healthcare not only for diagnosis and treatment but also for patient education, pain management, and improving the healthcare experience. One of these technologies, virtual reality, is an interactive system that enables individuals to become immersed in a computer-generated environment through visual and auditory stimuli.

Virtual reality applications provide individuals with visual, auditory, and, in some cases, interactive stimuli, allowing them to shift their attention away from the real environment and focus on a virtual environment. This feature has led to increasing research on the use of virtual reality, particularly in the management of subjective experiences such as pain and anxiety.

In women's health, virtual reality has been investigated particularly for reducing pain and anxiety during childbirth. In addition, its applications have expanded to childbirth preparation, gynecological procedures, pregnancy monitoring, breastfeeding education, and the training of healthcare professionals.

This study aimed to evaluate the potential applications of virtual reality technology in women's health and to identify its potential contributions to clinical practice based on the current literature.

RESULTS

Management Of Labor Pain And Childbirth Anxiety

The literature indicates that one of the most extensively studied applications of virtual reality in women's health is the management of labor pain and childbirth anxiety. Through virtual reality headsets, women may be presented with nature scenes, relaxing environments, or various audiovisual contents to divert their attention from the childbirth environment and promote relaxation.

In the systematic review and meta-analysis conducted by Alam et al. (2022), eight randomized controlled trials evaluating the use of virtual reality during normal labor and involving a total of 466 women were examined. The findings indicated that virtual reality reduced pain and anxiety levels during labor while increasing childbirth satisfaction. These results suggest that virtual reality may be used as a non-pharmacological complementary approach to pain management during labor.

In the systematic review and meta-analysis by Baradwan et al. (2022), eight randomized controlled trials involving a total of 466 women were evaluated to investigate the use of virtual reality during normal labor. The use of virtual reality was associated with reductions in pain and anxiety levels and increased childbirth

satisfaction. These findings suggest that virtual reality may be used as a complementary, non-pharmacological approach to pain management during labor.

In the systematic review and meta-analysis conducted by Xu et al. (2022), the use of virtual reality during pregnancy and childbirth was evaluated in 12 studies involving a total of 1,095 participants. The study reported that virtual reality could reduce labor pain and anxiety and increase childbirth satisfaction. However, due to heterogeneity among the studies, the authors emphasized the need for larger and standardized randomized controlled trials.

In the randomized controlled trial conducted by Büyük and Çıtak Bilgin (2025), pain, anxiety, and childbirth perception were evaluated among pregnant women who watched videos through a virtual reality headset during the active and transition phases of labor. The study included 60 pregnant women, and following the intervention, women in the virtual reality group were reported to have lower pain levels during both the active and transition phases compared with the control group. Anxiety levels were also reported to be lower in the intervention group during both phases.

Taken together, these findings indicate that virtual reality may contribute to pain and anxiety management during childbirth through distraction, relaxation, and modification of environmental stimuli.

Virtual Reality In Breastfeeding Education

Another important application of virtual reality in women's health is breastfeeding education. Compared with traditional educational methods, the use of three-dimensional and interactive virtual environments may enable mothers to experience the breastfeeding process in a more concrete and realistic manner.

In the randomized controlled study conducted by Kılıç, Arar, and Oruç (2024), the effect of breastfeeding education delivered through virtual reality on the breastfeeding process was evaluated. Mothers in the virtual reality group had higher breastfeeding self-efficacy scores and higher LATCH scores, which assess breastfeeding performance, compared with the control group. These findings suggest that virtual reality-supported education may support mothers' knowledge, skills, and self-efficacy regarding breastfeeding during the postpartum period.

In the randomized controlled study conducted by Ertaş, Çevik, and Özerdoğan (2026), women at 36 and 38 weeks of pregnancy were provided with a breastfeeding experience through virtual reality. Women who experienced virtual reality had higher prenatal breastfeeding self-efficacy and postpartum breastfeeding

motivation compared with the control group. This finding suggests that virtual reality may be used not only for postpartum breastfeeding education but also to prepare women for breastfeeding during pregnancy.

Virtual reality-supported breastfeeding education may enable women not only to acquire knowledge but also to learn breastfeeding behaviors more concretely through visual and interactive experiences. This may further increase the potential of virtual reality in practice-oriented health education.

Management Of Pain And Anxiety During Obstetric And Gynecological Procedures

Evidence regarding the use of virtual reality for pain and anxiety management during obstetric and gynecological procedures is also increasing. These applications may be used not only during childbirth but also for distraction and relaxation during various diagnostic and therapeutic procedures.

In the systematic review and meta-analysis conducted by Teh et al. (2026), 49 randomized controlled trials involving a total of 5,355 participants were evaluated to investigate pain management associated with obstetric and gynecological procedures. Among the 11 studies related to childbirth, virtual reality was reported to significantly reduce pain levels, while eight studies demonstrated significant reductions in anxiety levels. However, the researchers noted that clinical and methodological differences among the studies resulted in substantial heterogeneity.

These findings suggest that virtual reality may be used as a complementary approach to pharmacological methods during various obstetric and gynecological procedures. However, the same effect should not be expected for every procedure, and its use should be evaluated by considering factors such as the type of procedure, individual characteristics, virtual content, and duration of application.

In the systematic review and meta-analysis conducted by Zou et al. (2026), digital technology-assisted interventions in delivery rooms were evaluated. Six randomized controlled trials involving a total of 492 women who had given birth were included. The findings indicated that particularly virtual reality-based interventions may reduce pain and anxiety during childbirth. However, due to the limited number of studies and heterogeneity among them, the authors emphasized the need for larger and higher-quality studies.

Virtual Reality For Childbirth Preparation And Health Education

Virtual reality is also a technology that can be used for childbirth preparation and pregnancy education. Interactive and three-dimensional environments may enable women to experience the childbirth process, breastfeeding practices, and certain healthcare procedures in a more concrete manner.

The use of virtual reality in childbirth preparation programs may support women's expectations regarding the childbirth environment and their knowledge of the childbirth process. Realistic yet controlled virtual environments may allow women to experience different stages of childbirth in advance.

Similarly, healthcare professionals and students may have the opportunity to improve their knowledge and skills by safely experiencing different clinical scenarios in virtual environments. The use of virtual reality in healthcare education may provide an important educational opportunity, particularly for simulating scenarios that could pose risks to real patients during practical training.

However, individual characteristics should be taken into consideration when using virtual reality applications. Some individuals may experience adverse effects such as dizziness, nausea, visual discomfort, or cybersickness. Therefore, the duration and content of the application should be appropriately planned.

Evaluation For Clinical Practice

Although current studies on the use of virtual reality in women's health generally report favorable findings, considerable differences exist among studies. Virtual reality devices, content, application duration, timing of application, measurement tools, and participant characteristics may vary considerably.

Therefore, when translating virtual reality into clinical practice, not only statistical significance but also clinical significance, user experience, feasibility, and safety should be evaluated. Particularly in processes such as childbirth, where individual experiences are highly important, women's preferences and satisfaction with the intervention should be taken into consideration.

In addition, it is important to develop standardized protocols regarding how healthcare professionals should use virtual reality applications. Nurses and midwives may play important roles in introducing virtual reality applications to women, identifying appropriate candidates, ensuring safe implementation, and evaluating women following the intervention.

Future Perspectives

In the future, virtual reality applications are expected to be integrated with artificial intelligence, biosensors, and other digital health technologies. This integration may enable the development of virtual experiences that can be adapted to individual needs rather than relying solely on standardized content aimed at reducing pain or anxiety. In particular, simultaneous assessment of a woman's pain, anxiety, heart rate, and other physiological indicators during childbirth may allow virtual reality content to be adapted according to her immediate needs. However,

scientifically validated, safe, and feasible systems need to be developed before such applications can be introduced into clinical practice.

CONCLUSION

Virtual reality may be considered an innovative approach that can support pain and anxiety management, childbirth preparation, health education, breastfeeding education, and professional training in women's health. Existing systematic reviews and randomized controlled trials indicate the potential benefits of virtual reality, particularly in reducing pain and anxiety during childbirth.

Nevertheless, the heterogeneity among studies should be taken into consideration when translating the available evidence into clinical practice. The development of personalized, safe, and clinically effective virtual reality applications tailored to the needs of different groups of women may further expand the use of this technology in women's healthcare services.

REFERENCES

- Alam, F., et al. (2022). The impact of virtual reality on pain management during normal labor: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Sexual & Reproductive Healthcare*, 32, 100720.
- Baradwan, S., et al. (2022). The impact of virtual reality on pain management during normal labor: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Sexual & Reproductive Healthcare*, 32, 100720. <https://doi.org/10.1016/j.srhc.2022.100720>
- Böyük, M., & Çıtak Bilgin, N. (2025). Childbirth journey through virtual reality: Pain, anxiety and birth perception: A randomized controlled trial. *Research in Nursing & Health*, 48(2), 179–189. <https://doi.org/10.1002/nur.22438>
- Ertaş, E., Çevik, F., & Özerdoğan, N. (2026). The effect of breastfeeding experience presented with virtual reality on breastfeeding self-efficacy and breastfeeding motivation: A randomized controlled trial. *Journal of Perinatology*, 46, 396–402. <https://doi.org/10.1038/s41372-025-02535-3>
- Kılıç, U., Arar, M., & Oruç, M. A. (2024). The effect of virtual reality on the breastfeeding process: A randomized controlled study. *Journal of Perinatology*, 44(11), 1611–1616. <https://doi.org/10.1038/s41372-024-02077-0>
- Shetty, A., et al. (2022). The effects of virtual reality in maternal delivery: Systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games*, 10(4), e36695. <https://doi.org/10.2196/36695>

Teh, J. J., Campos, F., Koczoski, A., Valencia, T., Rimmer, M. P., & Al Wattar, B. H. (2026). Effectiveness of virtual reality for pain relief in procedures related to obstetrics and gynaecology: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 133(7), 1358–1372. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.70194>

Zou, S., Wang, Y., & Fu, Y. (2026). Digital technology-assisted labor support in delivery rooms on maternal pain and anxiety: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Medicine*, 13, 1838637. <https://doi.org/10.3389/fmed.2026.1838637>

WEARABLE TECHNOLOGIES IN WOMEN'S HEALTH: DIGITAL TRANSFORMATION FROM MENSTRUATION TO MENOPAUSE

Prof. Dr. Fatma BAŞAR

**Kutahya Health Sciences University, Faculty of Health Sciences, Department of
Obstetrics and Gynecology Nursing, Kutahya, Turkey,**

Email: fatma.basar@ksbu.edu.tr, Orcid number: 0000-0003-4288-9111

Abstract

Wearable technologies are innovative digital health tools that enable the continuous or periodic monitoring of physiological and behavioral data in everyday life. In women's health, these technologies have applications across different stages of the life course, ranging from menstrual cycle and fertility tracking to pregnancy, the postpartum period, and menopause. This study aimed to evaluate the current applications of wearable technologies in women's health and their potential future contributions. The study was based on a narrative evaluation of recent scientific literature addressing wearable technologies and women's health. The literature indicates that smartwatches, wristbands, sensors, and similar devices can monitor various biometric parameters, including heart rate, heart rate variability, skin temperature, respiration, physical activity, and sleep. In menstrual health and fertility monitoring, body temperature, heart rate, and other physiological variables have been incorporated into applications designed to identify individual patterns related to the menstrual cycle. During pregnancy, technological solutions are being developed not only to monitor maternal activity and physiological parameters but also to support remote assessment of indicators such as fetal movement and fetal heart rate. During menopause, long-term monitoring of vasomotor symptoms such as hot flashes, sleep patterns, physical activity, fatigue, and cardiovascular indicators represents another important area of potential application. However, several challenges remain, including the clinical validation of collected data, protection of personal health information, algorithmic bias, sustained user engagement, and the appropriate integration of wearable-generated data into healthcare professionals' clinical decision-making processes. In conclusion, wearable technologies may contribute to the development of personalized women's healthcare by enabling health-related parameters to be monitored not only during clinical encounters but also throughout everyday life. In the future, wearable systems supported by artificial intelligence, clinically validated, and capable of addressing different stages of women's lives in an integrated manner may have broader applications in women's health.

Keywords: Women's health, wearable technologies, digital health, FemTech, menstruation, menopause

Özet

Giyilebilir teknolojiler, günlük yaşam içerisinde fizyolojik ve davranışsal verilerin sürekli veya periyodik olarak izlenmesine olanak sağlayan yenilikçi dijital sağlık araçlarıdır. Kadın sağlığında bu teknolojiler; menstrüel siklus ve fertilitenin izlenmesinden gebelik, postpartum dönem ve menopoza dönemine kadar yaşamın farklı evrelerinde çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Bu çalışmada, giyilebilir teknolojilerin kadın sağlığındaki güncel kullanım alanlarının ve gelecekteki olası katkılarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma, giyilebilir teknolojiler ve kadın sağlığı konusunu ele alan güncel bilimsel literatürün anlatı değerlendirmesine dayanmaktadır. Literatür, akıllı saatler, bileklikler, sensörler ve benzeri cihazların kalp hızı, kalp hızı değişkenliği, cilt sıcaklığı, solunum, fiziksel aktivite ve uyku gibi çeşitli biyometrik parametreleri izleyebildiğini göstermektedir. Menstrüel sağlık ve fertilitenin izlenmesinde vücut sıcaklığı, kalp hızı ve diğer fizyolojik değişkenler, menstrüel sıklusa ilişkin bireysel örüntülerin belirlenmesine yönelik uygulamalara entegre edilmiştir. Gebelik döneminde ise teknolojik çözümler yalnızca maternal aktivite ve fizyolojik parametrelerin izlenmesine yönelik değil, aynı zamanda fetal hareket ve fetal kalp hızı gibi göstergelerin uzaktan değerlendirilmesini desteklemeye yönelik olarak da geliştirilmektedir. Menopoz döneminde sıcak basması gibi vazomotor semptomların, uyku düzeninin, fiziksel aktivitenin, yorgunluğun ve kardiyovasküler göstergelerin uzun süreli izlenmesi, bir diğer önemli potansiyel uygulama alanını oluşturmaktadır. Bununla birlikte, toplanan verilerin klinik olarak doğrulanması, kişisel sağlık bilgilerinin korunması, algoritmik yanlışlık, kullanıcıların teknolojiyi sürdürülebilir biçimde kullanmasının sağlanması ve giyilebilir teknolojiler tarafından üretilen verilerin sağlık profesyonellerinin klinik karar verme süreçlerine uygun şekilde entegre edilmesi gibi çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Sonuç olarak, giyilebilir teknolojiler, sağlıkla ilişkili parametrelerin yalnızca klinik karşılaşmalar sırasında değil, günlük yaşam boyunca izlenmesine olanak sağlayarak kişiselleştirilmiş kadın sağlığının geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Gelecekte yapay zekâ ile desteklenen, klinik olarak doğrulanmış ve kadınların yaşamının farklı evrelerini bütüncül bir yaklaşımla ele alabilen giyilebilir sistemlerin kadın sağlığında daha geniş kullanım alanlarına sahip olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kadın sağlığı, giyilebilir teknolojiler, dijital sağlık, FemTech, menstrüasyon, menopoza

INTRODUCTION

Wearable technologies are digital health tools that enable the continuous or intermittent monitoring of individuals' physiological and behavioral data in daily life. Smartwatches, smart bands, smart rings, skin sensors, textile-based sensors, and biosensor systems are among the main examples of these technologies. With the development of wearable technologies, it has become possible to collect health data not only during periodic assessments conducted in healthcare settings but also in individuals' daily lives.

From the perspective of women's health, wearable technologies offer important opportunities for monitoring physiological changes occurring at different stages of life. They have a wide range of applications, from menstrual cycle and fertility tracking to pregnancy and the postpartum period, from the assessment of perimenopausal and menopausal symptoms to long-term biomonitoring of women's health. It has been reported that biomonitoring technologies in women's health are increasingly being developed to assess a greater number of biological parameters simultaneously, which may contribute to the development of personalized healthcare services (Moghimikandelousi et al., 2025).

This study aimed to evaluate the current applications of wearable technologies in women's health and their potential future contributions.

RESULTS

Menstrual Health and Fertility Tracking

Menstrual health and fertility tracking is one of the most extensively studied applications of wearable technologies in women's health. Traditionally, calendars and symptom records have been used to monitor the menstrual cycle. Today, wearable devices can contribute to identifying different phases of the cycle by using temperature, heart rate, heart rate variability, and other physiological indicators.

In the systematic review by Lyzwinski et al. (2024), wearable reproductive health technologies used for menstrual and fertility tracking were evaluated. The study reported that temperature, heart rate, heart rate variability, and other physiological parameters can be used to identify different phases of the menstrual cycle.

Smart rings are among the prominent technologies in this field. Basal temperature trends can be monitored using biometric data obtained from the finger and changes in skin temperature, and these data can be used to predict the menstrual cycle and ovulation period. Smart rings such as Oura Ring and Evie Ring offer cycle and symptom tracking features specifically designed for women's health. In addition, smartwatches and smart bands are also used for menstrual cycle tracking.

A 2024 review of consumer-oriented wearable devices and personal technologies reported that these devices can utilize temperature and other physiological variables, particularly for identifying the fertile window (Cromack & Walter, 2024). Therefore, wearable technologies can be considered tools that enable individuals to monitor their own menstrual cycles in greater detail.

Technological developments in menstrual health are not limited to cycle tracking. Wearable TENS devices, heated and vibrating belts, and similar applications are also being developed for the management of dysmenorrhea and menstrual cramps. In addition, smart menstrual products and biosensors designed to obtain biological data from menstrual blood or fluid are among the emerging technologies in women's health.

Wearable Technologies During Pregnancy

During pregnancy, wearable technologies can be used to monitor maternal heart rate, physical activity, sleep, and other physiological parameters. In addition, technologies designed for the remote assessment of indicators such as fetal movement and fetal heart rate are also being developed.

Textile-based wearable systems are among the emerging technologies being investigated for fetal heart rate monitoring. In their review, Ahmed et al. (2024) evaluated innovative textile-based wearable systems developed for fetal heart rate monitoring and reported that these technologies have considerable research potential for fetal monitoring.

Another development in pregnancy is the development of systems designed for continuous or remote monitoring of the mother and fetus in the home environment. In their scoping review, Stricker et al. (2025) examined existing wearable technologies for the continuous remote monitoring of pregnant women and fetuses in home settings. These technologies were reported to have potential for detecting early changes in obstetric health and obtaining more data during the period between healthcare visits.

One of the important advantages of wearable technologies during pregnancy is the ability to obtain data between healthcare visits. Thus, rather than relying solely on assessments performed at specific time points, more data can be collected regarding the physiological characteristics of pregnancy in daily life.

However, the clinical interpretation of data obtained during pregnancy is particularly important. Misinterpretation of a maternal or fetal parameter may lead to unnecessary anxiety and healthcare visits, while failure to detect an actual change may have clinically significant consequences. Therefore, before wearable technologies are integrated more widely into routine obstetric practice, they need to be validated in different populations, clinical settings, and larger samples.

Wearable Technologies in the Postpartum Period

The postpartum period is characterized by substantial maternal physiological and psychosocial changes. During this period, wearable technologies can be used to monitor physical activity, sleep, heart rate, heart rate variability, and patterns of daily life.

In the review by Grace and Wise (2026), it was emphasized that wearable technologies have the potential to improve measurement and monitoring capabilities in women's health; however, technological validation, equity, and a clinical scientific approach need to be considered together to achieve clinical relevance. This approach is also important for the development of individualized health monitoring during the postpartum period.

Wearable Technologies During Perimenopause and Menopause

During perimenopause and menopause, women may experience hot flashes, night sweats, sleep disturbances, fatigue, changes in physical activity, and changes in cardiovascular characteristics. Since many of these symptoms may vary considerably between individuals, continuous or repeated monitoring may be important for personalized health management.

Thermal wristbands are among the technologies developed for the management of hot flashes. In addition, sleep, physical activity, and various physiological indicators can be monitored using smartwatches and smart rings. Research is also ongoing on the assessment of hormone levels or biological changes associated with hormones using wearable sensors.

In the study by Kuduz et al. (2026), the literature on the use of sensors and data-driven artificial intelligence approaches in menopause was examined. The study reported that technologies for the objective and continuous monitoring of menopausal symptoms, particularly hot flashes and night sweats, are developing; however, limitations in datasets, validation issues, and inadequacies in artificial intelligence applications restrict their clinical use.

An important potential of these technologies is that they enable the collection of more detailed and repeatedly measurable data over time compared with assessments based solely on individuals' symptom reports. Nevertheless, data obtained from wearable devices should not replace clinical assessment, and such data should be interpreted by healthcare professionals within the appropriate clinical context.

Future Perspectives

The future of wearable technologies in women's health is expected to progress from devices measuring a single biometric parameter toward personalized digital health systems that integrate multiple data sources. Moghimikandelousi et al. (2025) reported that biomonitoring technologies used in women's health are increasingly being developed to assess a growing number of biological parameters simultaneously.

In the future, artificial intelligence-supported systems may be able to jointly evaluate temperature, heart rate, heart rate variability, sleep, physical activity, and symptom data. Thus, rather than applications focusing on a single stage of women's health, digital health systems that address different stages of life holistically—from menstruation and fertility to pregnancy, the postpartum period, and menopause—may be developed.

However, for technological advances to translate into clinical benefits, devices and algorithms need to be validated across different populations, data security must be ensured, algorithmic bias must be reduced, and long-term user adherence must be supported. In addition, it is important for individuals to maintain control over their health data, for privacy to be protected, and for collected data to be used in accordance with ethical principles.

CONCLUSION

Wearable technologies are important digital health tools that enable the continuous or intermittent monitoring of physiological and behavioral changes throughout different stages of women's health in daily life. Menstrual health and fertility tracking, pregnancy and fetal monitoring, the postpartum period, and the assessment of menopausal symptoms constitute prominent areas of application for these technologies.

Current studies indicate that wearable technologies have considerable potential for obtaining continuous data and developing personalized healthcare services in women's health. However, translating this potential into real clinical benefits depends on the integration of technological innovation, scientific evidence, clinical validation, ethical principles, data security, and user needs.

REFERENCES

- Ahmed, M. R., Newby, S., Potluri, P., Mirihanage, W., & Fernando, A. (2024). Emerging paradigms in fetal heart rate monitoring: Evaluating the efficacy and application of innovative textile-based wearables. *Sensors*, 24(18), 6066. <https://doi.org/10.3390/s24186066>
- Cromack, S. C., & Walter, J. R. (2024). Consumer wearables and personal devices for tracking the fertile window. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 231(5), 516–523. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2024.05.028>
- Grace, B., & Wise, L. A. (2026). Wearables and women's healthtech: Advancing measurement, monitoring and action via digital medicine. *Nature Reviews Disease Primers*, 12, 31. <https://doi.org/10.1038/s41572-026-00710-0>
- Kuduz, H., Engin, F. V., Celik, Y., Kacar, F., Moore, J., & Godfrey, A. (2026). Data-driven insights in menopause: A scoping review of sensors and AI. *Maturitas*, 212, 109077. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2026.109077>
- Lyzwinski, L., Elgendi, M., & Menon, C. (2024). Innovative approaches to menstruation and fertility tracking using wearable reproductive health technology: Systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e45139. <https://doi.org/10.2196/45139>
- Moghimikandelousi, S., Najm, L., Lee, Y., Bayat, F., Prasad, A., Khan, S., Bhavan, A., Gao, W., Hosseinidoust, Z., & Didar, T. F. (2025). Advances in biomonitoring technologies for women's health. *Nature Communications*, 16, 8507. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-63501-3>
- Stricker, K., Radan, A.-P., & Surbek, D. (2025). Continuous remote home monitoring solutions for mother and fetus: A scoping review. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 305, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2024.12.018>

ÇOCUK SAĞLIĞI VE HASTALIKLARINDA TELETIP UYGULAMALARI: GÜNCEL DURUM, FIRSATLAR VE SINIRLILIKLAR

Uzm. Dr. Ayhan ÇERİ¹

¹Dr. Ali Kemal Belviranlı Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi, Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitesi, Selçuklu, Konya; ceriayhan@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-8754-0901

Özet

Amaç: Teletıp, bilgi ve iletişim teknolojileri aracılığıyla sağlık hizmetinin coğrafi ve zamansal engelleri aşarak sunulmasını sağlayan bir hizmet modelidir. Çocuk sağlığı ve hastalıkları alanında teletıp uygulamaları, özellikle COVID-19 pandemisi sonrasında hızla yaygınlaşmış ve pediatrik bakıma erişimi artırmada önemli bir araç haline gelmiştir. Bu derlemenin amacı, çocuk sağlığı ve hastalıkları pratiğinde teletıp uygulamalarının güncel durumunu, başlıca kullanım alanlarını, sağladığı fırsatları ve karşılaşılan sınırlılıkları güncel literatür ışığında gözden geçirmektir. Yöntem: Bu çalışma, PubMed, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarının “pediatric telemedicine”, “telehealth children”, “tele-neonatology”, “pediatric telepsychiatry” ve “teledermatology children” anahtar kelimeleriyle taranması sonucu elde edilen, ağırlıklı olarak son on yıl içinde yayımlanmış sistematik derleme, gözden geçirme yazısı ve orijinal araştırma makalelerinin değerlendirilmesine dayanan narratif bir derleme olarak tasarlanmıştır. Bulgular: Teletıp; genel pediatrik konsültasyon ve birinci basamak takibi, yenidoğan yoğun bakımda uzaktan destek (tele-neonatoloji), çocuk ve ergen ruh sağlığı hizmetleri (telepsikiyatri), teledermatoloji ve kronik hastalık (tip 1 diyabet, astım, obezite) izlemi gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Literatür, teletıp uygulamalarının klinik sonuçlar açısından yüz yüze bakımla karşılaştırılabilir ya da zaman zaman üstün sonuçlar verebildiğini, aile memnuniyetini ve tedaviye uyumu artırabildiğini göstermektedir. Buna karşın; dijital uçurum, kırsal bölgelerde geniş bant erişim eksikliği, sosyoekonomik açıdan dezavantajlı ve göçmen ailelerde dil/iletişim güçlükleri, fizik muayenenin sınırlı biçimde yapılabilmesi ile mevzuat ve geri ödeme belirsizlikleri önemli kısıtlılıklar olarak öne çıkmaktadır. Türkiye’de 2022 yılında yürürlüğe giren “Uzaktan Sağlık Hizmetinin Sunulmasına Dair Yönetmelik” ile teletıbbın yasal çerçevesi oluşturulmuş olmakla birlikte, çocuk sağlığı alanına özgü uygulamalar henüz gelişme aşamasındadır. Sonuç: Teletıp, çocuk sağlığı ve hastalıkları alanında bakıma erişimi artıran, maliyet etkin ve sürdürülebilir bir tamamlayıcı hizmet modeli sunmaktadır. Uygulamanın yaygın ve güvenli biçimde sürdürülebilmesi için dijital altyapının güçlendirilmesi, sağlık çalışanlarının bu alanda eğitilmesi, standardize klinik protokollerin geliştirilmesi ve dezavantajlı gruplara yönelik erişim eşitsizliklerinin giderilmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Teletıp, Telesaglık, Pediatri, Telepsikiyatri, Tele-Neonatoloji

5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 26–27 September 2026 Azerbaijan
<https://www.wosconkongreleri.com/>



TELEMEDICINE IN PEDIATRIC HEALTH AND DISEASES: CURRENT STATUS, OPPORTUNITIES, AND LIMITATIONS

Abstract

Purpose: Telemedicine is a healthcare delivery model that uses information and communication technologies to overcome geographic and temporal barriers to care. In pediatric health and diseases, telemedicine applications have expanded rapidly, particularly after the COVID-19 pandemic, and have become an important tool for improving access to pediatric care. This review aims to examine the current status, main areas of use, opportunities, and limitations of telemedicine applications in pediatric practice in light of the current literature. **Method:** This study was designed as a narrative review based on the evaluation of systematic reviews, review articles, and original research articles, predominantly published within the last decade, obtained by searching the PubMed, Web of Science, and Google Scholar databases using the keywords “pediatric telemedicine,” “telehealth children,” “tele-neonatology,” “pediatric telepsychiatry,” and “teledermatology children.” **Findings:** Telemedicine has a wide range of applications, including general pediatric consultation and primary care follow-up, remote support in neonatal intensive care (tele-neonatology), child and adolescent mental health services (telepsychiatry), teledermatology, and monitoring of chronic conditions such as type 1 diabetes, asthma, and obesity. The literature indicates that telemedicine applications can achieve clinical outcomes comparable to, or at times superior to, in-person care, and can improve family satisfaction and treatment adherence. However, the digital divide, lack of broadband access in rural areas, language and communication difficulties among socioeconomically disadvantaged and immigrant families, limitations in performing physical examinations remotely, and regulatory and reimbursement uncertainties stand out as significant limitations. In Turkey, the legal framework for telemedicine was established with the “Regulation on the Provision of Remote Health Services,” which entered into force in 2022; however, applications specific to pediatric health are still in a developing stage. **Conclusion:** Telemedicine offers a cost-effective and sustainable complementary care model that improves access to care in pediatric health and diseases. For its widespread and safe implementation, strengthening digital infrastructure, training healthcare professionals in this field, developing standardized clinical protocols, and addressing access inequalities for disadvantaged groups are necessary.

Keywords: Telemedicine, Telehealth, Pediatrics, Telepsychiatry, Tele-Neonatology

1. GİRİŞ

Teletıp, bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak sağlık hizmetlerinin, hekim ile hastanın fiziksel olarak aynı ortamda bulunmasına gerek kalmaksızın uzaktan sunulmasını ifade eden bir hizmet modelidir. Tanı, tedavi, danışmanlık ve izlem süreçlerini kapsayan bu yaklaşım, özellikle coğrafi olarak uzak, kırsal veya sağlık hizmetine erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde, sağlık hizmetlerinin eşitlikçi biçimde sunulmasına katkı sağlamaktadır (Curfman ve ark., 2021).

Teletıbbın kullanımı, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişim ile birlikte son yirmi yılda giderek artmış, COVID-19 pandemisi ise bu süreci belirgin biçimde hızlandırmıştır. Pandemi döneminde yüz yüze başvuruların kısıtlanması, sağlık kuruluşlarını ve hekimleri kısa sürede teletıp altyapısına yönlendirmiş; pediatrik popülasyonda teletıp başvuru oranlarının pandemi öncesine kıyasla kat kat arttığı bildirilmiştir (Williams ve ark., 2021). Amerikan Pediatri Akademisi (AAP), 2021 yılında yayımladığı politika bildirgesinde teletıbbın pediatrik bakımın erişilebilirliğini ve kalitesini artıran önemli bir araç olduğunu vurgulamış ve teletıp hizmetlerinin geleneksel bakımla eşdeğer kalite standartlarında sunulması gerektiğini belirtmiştir (Curfman ve ark., 2021).

Çocuk sağlığı ve hastalıkları alanında teletıp uygulamaları, erişkin pratiğinden farklı bazı özgün zorluklar barındırmaktadır. Pediatrik hastalarda anamnez ve klinik değerlendirme büyük ölçüde ebeveyn veya bakım verenin aktarımına dayanmakta; büyüme-gelişme izlemi, aşılama, işitme ve görme taraması gibi rutin uygulamalar fiziksel muayene gerektirmektedir. Bununla birlikte, çocukların kendi aile ortamında değerlendirilebilmesi, seyahat ve bekleme sürelerinin azalması ve kronik hastalığı olan çocuklarda sık kontrol gerekliliğinin evden karşılanabilmesi gibi faktörler, teletıbbi pediatrik bakımda özellikle değerli kılmaktadır.

1.1. Kuramsal Çerçeve: Teletıbbın Bileşenleri ve Uygulama Modelleri

Teletıp uygulamaları temel olarak üç model üzerinden sınıflandırılmaktadır: (i) senkron (gerçek zamanlı) görüşmeler, hekim ve hasta/ailenin video konferans aracılığıyla eş zamanlı iletişim kurmasını sağlar; (ii) asenkron (store-and-forward) uygulamalar, klinik görüntü, veri veya bulguların kaydedilip uzman değerlendirmesine sunulmasına dayanır ve özellikle teledermatoloji pratiğinde yaygın olarak kullanılır (Long ve Chandran, 2022); (iii) uzaktan hasta izlemi (remote patient monitoring), giyilebilir sensörler ve mobil uygulamalar aracılığıyla fizyolojik verilerin sürekli olarak toplanmasına olanak tanır ve özellikle kronik hastalığı olan çocuklarda kullanılmaktadır (Exner ve ark., 2026).

Çocuk sağlığı ve hastalıkları alanında teletıp, genel pediatrik konsültasyondan yenidoğan yoğun bakıma, çocuk ve ergen ruh sağlığından teledermatolojiye kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Bu derlemede söz konusu uygulama alanları, güncel literatür bulguları eşliğinde ayrı başlıklar altında ele alınmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, çocuk sağlığı ve hastalıkları alanında teletıp uygulamalarına ilişkin güncel literatürün gözden geçirilmesine dayanan narratif bir derleme olarak tasarlanmıştır. Literatür taraması PubMed, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarında “pediatric telemedicine”, “telehealth children”, “tele-neonatology”, “pediatric telepsychiatry”, “teledermatology children” ve “digital divide telehealth” anahtar kelimeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tarama, ağırlıklı olarak 2015-2026 yılları arasında yayımlanmış; İngilizce veya Türkçe dilinde yazılmış; 0-18 yaş pediatrik popülasyonu konu alan sistematik derleme, gözden geçirme yazısı, orijinal araştırma ve resmî politika/mevzuat belgeleriyle sınırlandırılmıştır. Yalnızca erişkin popülasyonunu konu alan, tam metnine ulaşılamayan ve konuyla doğrudan ilişkili olmayan yayınlar dışlanmıştır. Çalışmanın sistematik derleme veya meta-analiz niteliğinde olmadığı, PRISMA gibi standardize bir raporlama kılavuzunun izlenmediği ve kaynak seçiminin yazarın klinik deneyimi ile literatüre hâkimiyeti doğrultusunda şekillendirildiği belirtilmelidir.

3. BULGULAR

3.1. Genel Pediatrik Teletıp Uygulamaları ve COVID-19 Pandemisinin Etkisi

COVID-19 pandemisi, pediatrik teletıp uygulamalarının benimsenmesinde bir dönüm noktası olmuştur. Williams ve ark. (2021), pandemi döneminde birinci basamak ve subspesiyalite pediatrik kliniklerde teletıp başvurularının önceki döneme kıyasla belirgin biçimde arttığını, bu artışın özellikle kronik hastalık izlemi ve ruh sağlığı hizmetlerinde daha da belirgin olduğunu bildirmiştir. Taher Do Alfuqhar ve ark. (2024) tarafından yapılan sistematik derlemede, obezite, astım ve ruh sağlığı bozuklukları gibi farklı klinik durumlarda teletıp uygulamalarının klinik sonuçlarının yüz yüze bakımla benzer ya da zaman zaman daha iyi olduğu; video görüşmeleri ve akıllı telefon tabanlı terapi uygulamalarının etkili birer araç olarak öne çıktığı vurgulanmıştır. Bu bulgular, teletıbbın pandemi sonrası dönemde de kalıcı bir bakım modeli olarak sürdürülebileceğine işaret etmektedir.

Çocuk sağlığı ve hastalıklarında öne çıkan başlıca teletıp uygulama alanları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Çocuk sağlığı ve hastalıklarında başlıca teletıp uygulama alanları

Uygulama Alanı	Kullanım Şekli	Öne Çıkan Kaynak
Genel pediatrik konsültasyon	Senkron video görüşme ile birinci basamak değerlendirme, reçete ve izlem	Williams ve ark., 2021; Curfman ve ark., 2021
Tele-neonatoloji	Doğum öncesi danışmanlık, YYBÜ'de uzaktan subspesiyalite desteği, taburculuk sonrası izlem	Chuo ve ark., 2022
Telepsikiyatri	Çocuk ve ergen ruh sağlığı değerlendirmesi ve psikoterapi	Yıldırım Budak ve ark., 2023
Teledermatoloji	Asenkron (store-and-forward) klinik görüntü değerlendirmesi	Long ve Chandran, 2022
Kronik hastalık izlemi	Giyilebilir/uzaktan izlem cihazları ile tip 1 diyabet, astım, obezite takibi	Exner ve ark., 2026; Taher Do Alfuhar ve ark., 2024

3.2. Tele-Neonatoloji

Yenidoğan yoğun bakım hizmetlerinde teletıp, perinatal bakımın süreklilik gösteren bir bileşeni olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Chuo ve ark. (2022), tele-neonatolojinin doğum öncesi danışmanlıktan, düşük düzey yenidoğan yoğun bakım ünitelerine subspesiyalite desteği sağlanmasına, taburculuk sonrası ev ziyaretlerinin video görüşmeyle desteklenmesine kadar perinatal bakımın tüm sürecini kapsadığını bildirmiştir. Özellikle üçüncü basamak merkezlerden uzak bölgelerde hizmet veren yenidoğan ünitelerinde, tele-konsültasyon yoluyla pediatrik subspesiyalist görüşü alınabilmesi, hastaların gereksiz sevkini azaltmakta ve bakımın aileye yakın yerde sürdürülebilmesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, prematüre bebeklerin taburculuk sonrası izleminde ve ebeveyn eğitiminde de değerli bir tamamlayıcı araç olarak değerlendirilmektedir.

3.3. Çocuk ve Ergen Ruh Sağlığında Telepsikiyatri

Çocuk ve ergen ruh sağlığı hizmetlerine erişim, uzman sayısının sınırlı olması nedeniyle birçok ülkede önemli bir sorun oluşturmaktadır; telepsikiyatri bu açığın kapatılmasında etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'den bildirilen bir klinik deneyimde Yıldırım Budak ve ark. (2023), COVID-19 pandemisi sürecinde bir çocuk psikiyatrisi kliniğine telepsikiyatri hizmeti ile başvuran olguları incelemiş; hizmetin uygulanabilir

olduğunu, ailelerin genel olarak memnuniyet gösterdiğini ve pandemi koşullarında ruh sağlığı hizmetlerinin sürekliliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynadığını bildirmiştir. Bu bulgu, teletıbbın yalnızca gelişmiş sağlık sistemlerinde değil, Türkiye gibi orta gelirli ülkelerde de pediatrik ruh sağlığı hizmetlerinin sürdürülmesinde uygulanabilir bir seçenek olduğunu göstermesi açısından önemlidir.

3.4. Teledermatoloji

Pediatrik dermatoloji uzmanına erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde teledermatoloji, tanısal değerlendirme sürecini hızlandıran bir araç olarak kullanılmaktadır. Long ve Chandran (2022), pandemi öncesi ve sonrası dönemi karşılaştırdıkları derlemelerinde, asenkron (store-and-forward) teledermatoloji uygulamalarının pediatrik cilt hastalıklarının tanısında yüz yüze muayeneye yüksek uyum gösterdiğini, bekleme sürelerini kısalttığını ve özellikle pediatrik dermatoloji uzmanı bulunmayan bölgelerdeki hastalar için önemli bir erişim kolaylığı sağladığını bildirmişlerdir. Pandemi sonrası dönemde de bu uygulamaların hibrit bir model olarak, yani teletıp ile yüz yüze muayenenin birlikte kullanılması şeklinde sürdürülmesi önerilmektedir.

3.5. Kronik Hastalık Yönetimi ve Uzaktan İzlem

Tip 1 diyabet, astım, obezite ve epilepsi gibi kronik hastalığı olan çocuklarda düzenli izlem büyük önem taşımaktadır. Exner ve ark. (2026) tarafından yapılan sistematik derlemede, teletıp ve dijital sağlık uygulamalarının bu hastalık gruplarında glisemik kontrol, tedaviye uyum ve yaşam kalitesi gibi sonuçlar üzerinde olumlu etkiler gösterebildiği; giyilebilir sensörler ve mobil uygulamalarla desteklenen uzaktan izlem modellerinin aile ve hasta memnuniyetini artırdığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, incelenen çalışmaların büyük kısmının kısa izlem süreli ve heterojen metodolojiye sahip olduğu, uzun dönem klinik etkinliğe ilişkin kanıtların sınırlı kaldığı vurgulanmıştır.

3.6. Erişim Eşitsizlikleri ve Dijital Uçurum

Teletıbbın sağladığı fırsatlara karşın, dijital uçurum (digital divide) pediatrik teletıp uygulamalarının önündeki en önemli engellerden biri olarak öne çıkmaktadır. Sen ve ark. (2022), Amerika Birleşik Devletleri'nde kamu sigortası kapsamındaki çocuklarda teletıp kullanımını inceledikleri çalışmalarında, kırsal bölgelerde yaşayan, azınlık gruplarına mensup ve düşük sosyoekonomik düzeye sahip ailelerin çocuklarında teletıp erişiminin belirgin biçimde daha düşük olduğunu bildirmiştir. Cortelyou-Ward ve ark. (2020) ise kırsal bölgelerde geniş bant internet altyapısının yetersizliğinin, hasta ve sağlık çalışanlarının dijital okuryazarlık düzeyindeki farklılıkların ve cihaza erişim eksikliğinin teletıp kullanımını sınırlayan başlıca engeller olduğunu vurgulamıştır.

Göçmen ve mülteci ailelerde dil bariyerleri ile kültürel farklılıklar, bu eşitsizlikleri daha da derinleştirebilmektedir.

3.7. Türkiye'de Mevzuat ve Uygulama Durumu

Türkiye'de teletıp uygulamalarının yasal çerçevesi, T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından 10 Şubat 2022 tarihinde yürürlüğe konulan “Uzaktan Sağlık Hizmetinin Sunulmasına Dair Yönetmelik” ile oluşturulmuştur. Bu yönetmelik, uzaktan sağlık hizmetinin sunumuna, hekimlerin ve sağlık kuruluşlarının yetkilendirilmesine ve hasta mahremiyetinin korunmasına ilişkin temel usul ve esasları düzenlemektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Pandemi sürecinde çocuk psikiyatrisi başta olmak üzere bazı pediatrik alt dallarda telepsikiyatri ve telekonsültasyon uygulamaları hayata geçirilmiş olsa da (Yıldırım Budak ve ark., 2023), çocuk sağlığı ve hastalıklarına özgü, yaygın ve standardize edilmiş bir teletıp altyapısı henüz tam anlamıyla kurulmamıştır. Bu durum, Türkiye'de pediatrik teletıp uygulamalarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için önemli bir fırsat alanı olarak değerlendirilebilir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu derlemede, çocuk sağlığı ve hastalıkları alanında teletıp uygulamalarının genel pediatrik konsültasyondan tele-neonatolojiye, telepsikiyatriden teledermatolojiye ve kronik hastalık izlemine kadar geniş bir yelpazede kullanıldığı ve literatürün büyük çoğunluğunun bu uygulamaların klinik sonuçlar açısından yüz yüze bakımla karşılaştırılabilir düzeyde etkili olduğunu desteklediği görülmüştür (Exner ve ark., 2026; Taher Do Alfuqhar ve ark., 2024). Bu bulgular, teletıbbın yalnızca pandemi döneminde geçici bir çözüm olmadığını, aksine pediatrik sağlık sisteminin kalıcı bir bileşeni haline gelme potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

Bununla birlikte, incelenen literatür dijital uçurumun ve sosyoekonomik eşitsizliklerin, teletıbbın sağladığı faydaların tüm çocuk popülasyonuna eşit biçimde yansımadağını ortaya koymaktadır (Cortelyou-Ward ve ark., 2020; Sen ve ark., 2022). Bu bulgu, teletıp politikalarının yalnızca teknolojik altyapı yatırımlarıyla sınırlı kalmaması, aynı zamanda dezavantajlı grupların erişimini kolaylaştıracak hedefe yönelik stratejileri de içermesi gerektiğine işaret etmektedir.

Çalışmamızın en önemli kısıtlılığı, sistematik bir derleme veya meta-analiz olmaması, kaynak seçiminde standardize bir protokolün (ör. PRISMA) izlenmemiş olması ve incelenen literatürün büyük bölümünün yüksek gelirli ülkelerden bildirilmesi nedeniyle bulguların Türkiye gibi orta gelirli ülkelere genellenebilirliğinin sınırlı kalabilmesidir. Ayrıca, teletıp hızla gelişen bir alan olduğundan, burada sunulan bulguların güncelliğini kısa sürede yitirme olasılığı bulunmaktadır.

Sonuç olarak, teletıp çocuk sağlığı ve hastalıkları alanında bakıma erişimi artıran, maliyet etkin ve klinik olarak etkili bir tamamlayıcı hizmet modeli sunmaktadır. Uygulamanın güvenli, eşitlikçi ve sürdürülebilir biçimde yaygınlaştırılabilmesi için; kırsal ve dezavantajlı bölgelerde dijital altyapının güçlendirilmesi, sağlık çalışanlarına yönelik teletıp eğitim müfredatlarının geliştirilmesi, pediatrik yaş gruplarına özgü standardize klinik protokollerin oluşturulması, mevzuat ve geri ödeme politikalarının netleştirilmesi ve özellikle göçmen/mülteci ile kırsal bölgelerde yaşayan ailelere yönelik erişimi kolaylaştırıcı programların hayata geçirilmesi önerilmektedir. Türkiye'de bu alanda yürütülecek ulusal ölçekli, pediatri odaklı araştırmalar, mevcut mevzuat çerçevesinin klinik uygulamaya daha etkin biçimde yansıtılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Chuo, J., Makkar, A., Machut, K., Zenge, J., Jagarapu, J., Azzuqa, A., & Savani, R. C. (2022). Telemedicine across the continuum of neonatal-perinatal care. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*, 27(5), 101398. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2022.101398>
- Cortelyou-Ward, K., Atkins, D. N., Noblin, A., Rotarius, T., White, P., & Carey, C. (2020). Navigating the digital divide: Barriers to telehealth in rural areas. *Journal of Health Care for the Poor and Underserved*, 31(4), 1546–1556. <https://doi.org/10.1353/hpu.2020.0116>
- Curfman, A. L., Hackell, J. M., Herendeen, N. E., Alexander, J. J., Marcin, J. P., Moskowitz, W. B., Bodnar, C. E. F., Simon, H. K., & McSwain, S. D. (2021). Telehealth: Improving access to and quality of pediatric health care. *Pediatrics*, 148(3), e2021053129. <https://doi.org/10.1542/peds.2021-053129>
- Exner, B., Frielitz-Wagner, I. V., & Frielitz, F.-S. (2026). Telemedicine and digital health for chronic conditions in pediatrics: A systematic review. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 32(3), 165–211. <https://doi.org/10.1177/1357633X251334423>
- Long, V., & Chandran, N. S. (2022). A glance at the practice of pediatric tele dermatology pre- and post-COVID-19: Narrative review. *JMIR Dermatology*, 5(2), e34228. <https://doi.org/10.2196/34228>
- Sen, B., Sharma, P., Brisendine, A., Blackburn, J., Morrissey, M., Menachemi, N., Liu, Y., McDougal, J., Sanders, T., & Becker, D. (2022). Disparities in telehealth utilization in a population of publicly insured children during the COVID-19 pandemic. *Population Health Management*, 25(2), 178–185. <https://doi.org/10.1089/pop.2021.0343>
- Taher Do Alfuqhar, I. M., Ali Khalafalla, A. E., Mahmoud Ali, S. H., Aydaross Adam, E. I., Osman, H. M., & Safar Alrabie, R. (2024). Effectiveness of telemedicine in managing health-related issues in the pediatric population: A systematic review. *Cureus*, 16(10), e72144. <https://doi.org/10.7759/cureus.72144>
- T.C. Sağlık Bakanlığı. (2022, 10 Şubat). Uzaktan Sağlık Hizmetinin Sunulmasına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete.
- Williams, S., Hill, K., Xie, L., Mathew, M. S., Ofori, A., Perry, T., Wesley, D., & Messiah, S. E. (2021). Pediatric telehealth expansion in response to COVID-19. *Frontiers in Pediatrics*, 9, 642089. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.642089>
- Yıldırım Budak, B., Usta Gündüz, E. B., Gözpınar, N., Çakıroğlu, S., & Görmez, V. (2023). Bir çocuk psikiyatri kliniği deneyimi: COVID-19 pandemi sürecinde telepsikiyatri hizmeti ile başvuran olguların incelenmesi. *Turkish Journal of Child and Adolescent Mental Health*, 30(2), 181–188. <https://doi.org/10.4274/tjcamh.galenos.2023.94824>

PERİNATAL PALYATİF BAKIM: HEMŞİRELİK BAKIMINDA BÜTÜNCÜL VE AİLE MERKEZLİ BİR YAKLAŞIM

Doç. Dr. Hatice DÖNMEZ,¹

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi

Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Ana Bilim Dalı,

hbasdonmez@gmail.com, 0000-0001-7041-7416

Özet

Perinatal dönem hem anne hem de bebek için biyolojik ve psikososyal açıdan en hassas süreçlerden biridir. Dünyada her yıl gerçekleşen yaklaşık 130 milyon doğumun %15'i prematüre olarak kaydedilirken, tüm doğumların %5'i 1000 gramın altındaki "aşırı düşük doğum ağırlıklı" bebeklerden oluşmaktadır. Mevcut teknolojik ilerlemelere rağmen, dünya genelinde her yıl 4 milyon bebek yenidoğan evresinde hayatını kaybetmekte ve bu kayıpların %20'si yaşamla bağdaşması güç olan ciddi konjenital anomalilerden kaynaklanmaktadır. Yenidoğan yoğun bakım servislerinde öncelikli hedef yaşamı korumak olsa da ileri derecede prematürite, konjenital bozukluklar ve çok boyutlu sağlık sorunları bu süreçteki bebek ölümlerinin temel nedenleri arasında yer almaya devam etmektedir. Bu durum, sağlık profesyonellerini sadece tıbbi tedavi ve yaşatma odağından çıkarıp, yaşamı kısıtlayıcı tanısı olan bebekler için yaşam kalitesini artırma ve onurlu bir son sağlama sorumluluğu ile karşı karşıya bırakmıştır. Ciddi sağlık sorunları veya kalıcı sakatlık riski taşıyan prematüre, düşük doğum ağırlıklı ve konjenital anomalili bebekler için palyatif bakım, kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Geri dönüşümsüz bir yaşam sürecine giren yenidoğanlarda, sadece yaşam süresini uzatmaya yönelik agresif müdahaleler, bebeğin konforunu bozarak etik ikilemlere ve ailenin travmatize olmasına yol açabilmektedir. Palyatif bakımın kapsamı yaşamı, vefat sürecini ve yas sonrasını içine alan bütüncül bir strateji sunar. Yenidoğan palyatif bakımı, bebeğin konforunu sağlamanın ötesinde, aileyi de kapsayan ve diğer yaş gruplarından ayrılan kendine özgü etik, klinik ve gelişimsel dinamikler barındırması nedeniyle profesyonel hemşirelik bakımın yansıması olarak bakımda yerini almaktadır. Bireyselleştirilmiş, çok disiplinli ve aile odaklı bu bütüncül yaklaşım, fetüsün ve yenidoğanın onurunu korurken, ebeveynlerin de sınırlı zamanda ebeveynlik rollerini inşa edebilmelerine ve yas sürecini daha sağlıklı yönetebilmelerine rehberlik etmektedir. Perinatal palyatif bakım, modern tıbbın sadece iyileştirmek üzerine kurulu olmadığını; aksine iyileşmenin mümkün olmadığı anlarda eşlik etmenin, acıyı dindirmenin ne kadar önemli olduğunu kanıtlayan bir disiplin olarak hemşirelik bakımında hızla yerini almaktadır.

Anahtar kelimeler: Perinatal Palyatif Bakım, Bakım, Aile merkezli Bakım, Hemşire

PERINATAL PALLIATIVE CARE: A HOLISTIC AND FAMILY-CENTERED APPROACH IN NURSING CARE

Abstract

The perinatal period is one of the most sensitive processes, both biologically and psychosocially, for both the mother and the infant. While 15% of approximately 130 million births occurring worldwide each year are recorded as premature, 5% of all births consist of “extremely low birth weight” infants weighing less than 1000 grams. Despite current technological advances, 4 million infants worldwide die during the neonatal period each year, and 20% of these deaths are caused by severe congenital anomalies that are difficult to reconcile with life. Although the primary goal in neonatal intensive care units is to preserve life, extreme prematurity, congenital disorders, and multidimensional health problems continue to be among the main causes of infant deaths during this period. This situation has moved healthcare professionals beyond a focus solely on medical treatment and sustaining life and has confronted them with the responsibility of improving quality of life and ensuring a dignified end for infants with life-limiting diagnoses. Palliative care has become an inevitable necessity for premature, low-birth-weight infants and infants with congenital anomalies who have serious health problems or are at risk of permanent disability. In neonates who have entered an irreversible life process, aggressive interventions aimed solely at prolonging life may compromise the infant’s comfort, leading to ethical dilemmas and traumatization of the family. The scope of palliative care offers an integrated strategy encompassing life, the dying process, and the period following bereavement. Neonatal palliative care takes its place in care as a reflection of professional nursing care, as it goes beyond ensuring the infant’s comfort and includes the family, while encompassing unique ethical, clinical, and developmental dynamics that distinguish it from other age groups. This individualized, multidisciplinary, and family-centered holistic approach preserves the dignity of the fetus and neonate while guiding parents in establishing their parenting roles within a limited period of time and managing the grieving process in a healthier manner. Perinatal palliative care is rapidly taking its place in nursing care as a discipline demonstrating that modern medicine is not based solely on healing; rather, it shows how important it is to accompany individuals and alleviate suffering when healing is no longer possible.

Keywords: Perinatal Palliative Care, Care, Family-Centered Care, Nursing

GİRİŞ

Perinatal dönem, hem anne hem de bebek için biyolojik ve psikososyal açıdan en hassas süreçlerden biridir. Yenidoğan yoğun bakım servislerinde öncelikli hedef yaşamı korumak olsa da; ileri derecede prematürite, konjenital bozukluklar ve çok boyutlu sağlık sorunları bu süreçteki bebek ölümlerinin temel nedenleri arasında yer almaya devam etmektedir. Bu durum, sağlık profesyonellerini sadece tıbbi tedavi ve yaşatma odağından çıkarıp, yaşamı kısıtlayıcı tanısı olan bebekler için yaşam kalitesini artırma ve onurlu bir son sağlama sorumluluğu ile karşı karşıya bırakmıştır (Marçola ve ark., 2017).

Hayatta kalan ancak yaşamı sınırlayıcı hastalıklarla mücadele eden çocuklar, bu sürecin sadece sağ kalım odaklı değil, yaşam kalitesi odaklı da yönetilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır (Tevanni ve ark., 2022) Ciddi sağlık sorunları veya kalıcı sakatlık riski taşıyan prematüre, düşük doğum ağırlıklı ve konjenital anomalili bebekler için palyatif bakım, kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Zira klinik gidişatın geri döndürülemez olduğu durumlarda, sadece yaşam süresini uzatmaya yönelik agresif müdahaleler, bebeğin konforunu bozarak etik ikilemlere ve ailenin travmatize olmasına yol açabilmektedir (Esenay, 2018).

Palyatif bakım süreci, yenidoğanda hayati tehlike arz eden veya yaşam süresini sınırlandıran bir durumun tespitiyle birlikte devreye girer. Bu hizmet; yaşamı, vefat sürecini ve yas sonrasını içine alan bütünlük bir strateji sunar. Yenidoğan palyatif bakımı, bebeğin konforunu sağlamanın ötesinde, aileyi de kapsayan ve diğer yaş gruplarından ayrılan kendine özgü etik, klinik ve gelişimsel dinamikler barındırması nedeniyle profesyonel sağlık hizmetlerinin merkezinde yer almalıdır. Bireyselleştirilmiş, çok disiplinli ve aile odaklı bu bütüncül yaklaşım, fetüsün ve yenidoğanın onurunu korurken, ebeveynlerin de sınırlı zamanda ebeveynlik rollerini inşa edebilmelerine ve yas sürecini daha sağlıklı yönetebilmelerine rehberlik eder (Kim ve ark., 2024).

1. PERİNATAL DÖNEM PALYATİF BAKIM

Doğum öncesi ve sonrası bakımda kullanılan tıbbi teknolojilerin gelişmesi, yenidoğan sağkalım oranlarını yukarı çekmiştir. Buna rağmen, çocukluk çağı vefatlarının büyük bir bölümü halen yenidoğan evresinde yoğunlaşmaktadır. Yenidoğan yoğun bakım servislerinde öncelikli hedef yaşamı korumak olsa da; ileri derecede prematürite, konjenital bozukluklar ve çok boyutlu sağlık sorunları bu süreçteki bebek ölümlerinin temel nedenleri arasında yer almaya devam etmektedir (Anspacher ve ark., 2017; Viallard ve Moriette, 2017; Esenay, 2018).

Küresel ölçekte her yıl gerçekleşen yaklaşık 130 milyon doğumun %15'i prematüre olarak kaydedilirken, tüm doğumların %5'i 1000 gramın altındaki "aşırı düşük doğum ağırlıklı" bebeklerden oluşmaktadır. Mevcut

teknolojik ilerlemelere rağmen, dünya genelinde her yıl 4 milyon bebek yenidoğan evresinde hayatını kaybetmekte ve bu kayıpların %20'si yaşamla bağdaşması güç olan ciddi konjenital anomalilerden kaynaklanmaktadır. Bu istatistikler, tıbbi teknolojiadaki gelişimin sadece hayatta kalma oranlarını iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda riskli gebeliklerin yönetimi ve anomalili bebeklerin bakım süreçlerinde ne kadar kritik bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır. Yenidoğan ölümlerinin %75 gibi büyük bir kısmının yaşamın ilk haftasında, özellikle de ilk 24 saat içinde gerçekleşmesi, bu kritik sürecin prematüre ve düşük doğum ağırlıklı (DDA) bebekler için hayati risk taşıdığını göstermektedir (Parravicini, 2017).

Hayatta kalan ancak yaşamı sınırlayıcı hastalıklarla mücadele eden yıllık 500.000'den fazla çocuk ise bu sürecin sadece sağ kalım odaklı değil, yaşam kalitesi odaklı da yönetilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır. Ciddi sağlık sorunları veya kalıcı sakatlık riski taşıyan prematüre, DDA ve konjenital anomalili bebekler için palyatif bakım, kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Yenidoğan palyatif bakımı, bebeğin konforunu sağlamanın ötesinde, aileyi de kapsayan ve diğer yaş gruplarından ayrılan kendine özgü etik, klinik ve gelişimsel dinamikler barındırması nedeniyle profesyonel sağlık hizmetlerinin merkezinde yer almalıdır (Ünal ve Zenciroğlu, 2016;).

Palyatif bakım süreci, yenidoğanda hayati tehlike arz eden veya yaşam süresini sınırlandıran bir durumun tespitiyle birlikte devreye girer. Bu hizmet; yaşamı, vefat sürecini ve yas sonrasını içine alan bütünlük bir strateji sunar. Bireyselleştirilmiş, çok disiplinli ve aile odaklı bir temele dayanan bu bütüncül yaklaşım, yenidoğanların ve ailelerinin refahını artırarak onlara bu zorlu süreçte destek olmayı amaçlar (Anspacher ve ark., 2017; Silva ve ark., 2019; Quinn ve ark., 2020).

Geleneksel olarak yetişkin kanser vakaları, bağışıklık sistemi yetmezlikleri ve kronik nörolojik bozukluklar çerçevesinde değerlendirilen palyatif bakım hizmetleri, modern tıp anlayışıyla birlikte kapsamını genişletmiştir. Güncel yaklaşımlar, bu destekleyici bakım modelinin yenidoğan dönemindeki bebekler için de uygulanmaya başlandığını ve bu alandaki gereksinimin giderek daha fazla kabul gördüğünü göstermektedir (Marçola ve ark., 2017). Bu doğrultuda, bebekler için hem perinatal hem de neonatal dönemlere özgü palyatif bakım modellerinin geliştirilmesi temel bir zorunluluk haline gelmiştir (Hasanpour ve ark., 2016; Ünal ve Zenciroğlu, 2016;).

1.1. Perinatal Palyatif Bakım Modelleri

Palyatif bakımın yenidoğan kliniği içerisindeki organizasyonel entegrasyon süreci; ünitenin sahip olduğu teknolojik altyapı olanaklarından, sağlık personelinin bu alandaki akademik ve klinik yetkinlik düzeyine

kadar uzanan geniş bir parametreler dizisine bağlı olarak önemli farklılıklar sergilemektedir. Bu bağlamda, seçilen modelin yapısı sadece bir iş akış şeması değil, aynı zamanda sunulan tıbbi hizmetin bütünsel niteliğini ve bakımın etik derinliğini doğrudan şekillendiren temel bir yapıdır (Tucker ve ark., 2021).

Palyatif bakım modellerinin kurumsal bir çerçeveye oturtulması, ailelerin bu zorlu ve travmatik yaşam olayına karşı geliştirecekleri duygusal ve bilişsel uyum mekanizmalarının başarısını belirleyen en kritik stratejik unsurdur. Kurumsal kaynakların verimli kullanımı ve multidisipliner ekibin birbiriyle olan koordinasyon düzeyi, bebeğin konforunu en üst seviyeye çıkarırken ailenin yaşadığı belirsizlik duygusunu asgariye indirmeyi hedefler. Dolayısıyla, palyatif bakımın yoğun bakım dinamiği ile nasıl bir bütünlük içerisinde sunulacağı, sadece klinik sonuçları değil, ebeveynlerin ömür boyu taşıyacakları yas sürecinin kalitesini de temelden etkileyen organizasyonel bir zorunluluktur (Trowbridge ve ark., 2018).

1.1.1 Consultative (Danışmanlık temelli) palyatif bakım modelleri

Bu modelde palyatif bakım, yenidoğan yoğun bakım ünitesinin (YYBÜ) rutin işleyişinden ayrı bir uzmanlık alanı olarak konumlandırılır. Bebeğin primer tedavisini yürüten neonatoloji ekibi, kendi baş edemediği karmaşık ağrı yönetimi vakalarında, etik ikilemlerde veya ailenin ağır psikososyal krizler yaşadığı durumlarda kurumun "Palyatif Bakım Konsültasyon Ekibi"nden destek talep eder. Bu modelin temel özelliği, primer ekibin tıbbi otoriteyi elinde tutması, palyatif ekibin ise sadece davet edildiğinde belirli sorunlara odaklanarak öneriler sunmasıdır. Ancak bu yaklaşım, bakımda parçalanmaya yol açabilir; aile farklı uzmanlardan farklı görüşler alabilir, Ayrıca, palyatif bakımın sadece kriz anlarında veya tedavinin tıkandığı noktada bir ek hizmet olarak çağırılması, ebeveynlerde bu bakımın iyileşme umudunun tamamen bittiği algısını yaratır. Bu durum, ailelerin palyatif desteği kabul etmede direnç göstermesine ve bebeğin konforunu artıracak müdahalelerin etik olmayan bir şekilde gecikmesine sebebiyet verebilir (Tucker ve ark., 2021).

1.1.2. Collaborative (İş birliğine dayalı) palyatif bakım modeli

İş birliğine dayalı model, konsültasyon modelinin eksiklerini gidermek amacıyla geliştirilmiş daha katılımcı bir yapıdır. Burada YYBÜ ekibi ile palyatif destek ekibi arasında hiyerarşik olmayan, yatay bir iş birliği mevcuttur. Ekipler, bebeğin bakım hedeflerini belirlemek için düzenli ortak vizitler yapar ve aile görüşmelerini birlikte yürütürler. Bu modelin en güçlü yönü, paylaşılan sorumluluk ilkesidir. Kararlar, bebeğin hem klinik stabilitesini hem de konforunu gözetecek şekilde ortak bir konsensüs ile alınır. Hemşireler bu modelde iki ekip arasındaki koordinasyonu sağlayan kilit bir köprü görevi üstlenir. İletişim kanallarının açık

olması sayesinde, tedavi planındaki değişiklikler aileye daha tutarlı ve güven verici bir şekilde aktarılır (Samsel ve Lechner, 2015).

1.1.3. İntegrative (Bütünleşik) palyatif bakım modeli

Modern perinatolojide altın standart kabul edilen bu modelde palyatif bakım, yoğun bakım kültürünün ayrılmaz bir parçasıdır. İyileştirici tedavi ile konfor odaklı bakım birbirine zıt değil, aynı sürecin tamamlayıcı unsurları olarak görülür. Süreç tanı anından itibaren başlar ve tüm sağlık ekibi; semptom kontrolü, etik karar alma ve aile iletişimi konularında yetkinliğe sahiptir. Bebek yoğun bakım alırken dahi ağrı yönetimi ve aile bağının güçlendirilmesi gibi palyatif unsurlar rutin protokolün içinde yer alır. Bu sayede, bebeğin durumu ağırlaştığında konfor bakımına geçiş travmatik bir kopuş yerine, ihtiyaca göre şekillenen kesintisiz bir dönüşüm olarak yaşanır. Aile için bu yaklaşım bir vazgeçiş değil, bebeğin değişen ihtiyaçlarına odaklanan kapsamlı bir bakım yolculuğudur (Bolognani ve ark., 2021).

1.2. Perinatal Palyatif Bakım Endikasyonları

Yenidoğan döneminde palyatif bakım; yaşam süresini önemli ölçüde kısıtlayan, tedavi seçeneklerinin tükendiği veya yaşamla bağdaşması tıbben mümkün görülmeyen ağır anomalilerin varlığında; iyileşme beklentisi düşük olan agresif teknolojik müdahalelerden ziyade, bebeğin biyolojik huzurunu ve aile dinamiklerini odak noktasına alan kapsamlı bir konfor yönetimini esas alır. Modern perinatolojinin sunduğu bu yaklaşım; sadece fiziksel semptomların kontrolünü değil, aynı zamanda aileyi de içine alan etik, klinik ve gelişimsel dinamikleri barındıran profesyonel bir strateji sunmaktadır. Bireyselleştirilmiş ve çok disiplinli bir temele dayanan bu bütüncül model, yenidoğanların onurunu koruyarak onlara huzurlu bir geçiş imkânı tanırken, ailelerin de bu zorlu süreçte psikososyal açıdan desteklenmesini amaçlar (Özel ve ark., 2018). Bu kapsamda palyatif bakım endikasyonları; yenidoğanın klinik tablosuna ve patolojinin kökenine göre genetik, kardiyak, nörolojik, yapısal ve diğer özel durumlar olmak üzere beş temel grupta toplanmaktadır. Genetik ve metabolik temelli bozuklukların oluşturduğu bu klinik grup, genellikle fetüsün genetik materyalindeki sapmalardan kaynaklanan, klinik tablosu ağır seyreden ve yaşamın erken dönemlerinde mortalite ile sonuçlanan karmaşık anomalileri kapsamaktadır. (Hui ve ark., 2016; Reischer ve ark. 2025).

Kardiyovasküler ve pulmoner sistemleri etkileyen, modern tıbbın sunduğu en ileri cerrahi tekniklerle dahi anatomik olarak tam düzeltilmesi mümkün olmayan (inoperabl) veya ardışık palyatif cerrahi müdahalelere rağmen mortalite riskinin son derece yüksek, klinik prognozunu ise çok kötü seyrettiği karmaşık vakalar bu kapsamda geniş bir yer tutmaktadır. Akardi, inoperabl kardiyak lezyonlar, konjenital kalp defektleri (Büyük

arterlerin transpozisyonu, hipoplastik sol kalp sendromu, ağır ebstein anomalisi) ve akciğer dokusunun solunumu destekleyemeyecek kadar yetersiz kaldığı şiddetli pulmoner hipoplaziler (özellikle akciğer hacminin beklentinin çok altında olduğu diyafram hernileri) palyatif bakımın öncelikli olduğu durumlardır (Marc-Aurele, 2020).

Yaşamın sürdürülebilirliğini ve beyin fonksiyonlarının gelişimini imkansız kılan hastalıklar bu başlıkta incelenir. Anensefali, alobar holoprozensefali ve hidranensefali gibi beyin yarım kürelerinin gelişmediği durumlar; dev ensefaloseller ve pontoserebellar hipoplazi gibi ağır nörolojik defektler, hipoksik iskemik ensefalopati palyatif sürecin temelini oluşturur. Ayrıca, solunum kaslarını doğumdan itibaren etkileyen ağır spinal müsküler atrofi (SMA) tabloları da bu spektrumdadır (Ellis ve ark., 2025). Vücut boşluklarının ve hayati organların gelişimini baskılayan yapısal bozukluklar bu grupta yer alır. Bilateral renal agenezis (Potter Sekansı) sonucu gelişen anhidramniyos tablosu ve yaşamla bağdaşmayan thanatophoric displazi gibi ağır iskelet displazileri, doğum sonrası konfor bakımına en çok ihtiyaç duyulan vakalardır. Kısa kaburga polidaktili sendromu gibi göğüs kafesini daraltan sendromlar da solunum yetmezliği nedeniyle bu gruba dahil edilir (Cortezzo ve ark., 2020).

1.3. Perinatal Palyatif Bakım Sürecinin Planlaması

Perinatal palyatif bakım; erken bebeklik döneminde yaşamı kısıtlayıcı kabul edilen çeşitli durumlara sahip yenidoğanlar için konforu ve yaşam kalitesini en üst düzeye çıkarmaya odaklanan, obstetrik ve yenidoğan bakım seçeneklerini içeren koordineli bir bakım stratejisidir (American College of Obstetricians and Gynecologists, 2019). Klinik uygulamalarda bütünleşik perinatal palyatif bakımın sunumu, multidisipliner bir kadronun (perinatoloji, pediatri, hemşirelik ve sosyal hizmetler vb.) rehberliğinde oluşturulacak protokoller ve bakım süreçleri ile mümkündür (Rusaleu ve ark., 2019). Söz konusu yapılandırma; spesifik palyatif bakım birimlerine, manevi destek ve danışmanlık hizmetlerine erişimi kolaylaştıran şeffaf bir yönlendirme sistemini kapsamalıdır. Bununla birlikte, ailelerin travmatik süreçlerini sağlık personeline her seferinde yeniden aktarmasını engelleyecek, kurumlar arası etkin bir veri ve bilgi aktarım mekanizmasının varlığı, bakımın sürekliliği açısından vazgeçilmezdir (den Herder-van der Eerden ve ark., 2017).

Terminal dönemdeki ve 24 saatlik yaşam beklentisi olan bebeklerin ailelerine, doğum ünitesinde tahsis edilen özel bir alanda yaşam sonu bakım sürecine eşlik etme imkânı sunulmaktadır. Neonatolog tarafından gerçekleştirilen klinik muayene ve belgeleme işlemleri, ailenin tercihleri doğrultusunda ve bebeğin genel tablosuna göre vefat öncesinde veya sonrasında planlanabilmektedir. Sürecin uzaması ve ebeveynlerin onayı

dahilinde, semptom yönetimi ve palyatif desteğin sürdürülmesi amacıyla bebeğin yenidoğan ünitesine transferi gerçekleştirilebilmektedir. Ailelerin isteği doğrultusunda, palyatif ve yaşam sonu bakım süreçleri toplum hemşireleri koordinesinde ev ortamına taşınabilmektedir. Bakım modelinin yaşamı destekleyici müdahalelerden konfor odaklı yaşam sonu bakıma evrilmesi sürecinde; invaziv cihazların çekilme protokolü ve izlem cihazlarının sonlandırılması gibi teknik detaylar aileye ve sağlık ekibine net bir şekilde aktarılmalıdır. Vefat anında bebekte gözlenebilecek fiziksel değişimler konusunda ailenin bilgilendirilmesi, bu zorlu süreçte hazırlıklı olmalarını sağlar. Ayrıca, ebeveynlerin bebekleriyle veda edebilmeleri için uygun bir fiziksel ortamın ve zamansal esnekliğin sağlanması, yas sürecinin sağlıklı yönetilmesi açısından kritik bir hemşirelik girişimidir (Akyempon ve Aladangady, 2021).

1. 4. Perinatal Palyatif Bakım Protokollerinin Gelişimi

Yenidoğan palyatif bakım uygulamalarının klinik ortamda tesadüflere bırakılmadan sistematik bir yapıya kavuşması, ancak uluslararası düzeyde kabul görmüş rehberlerin sahaya entegre edilmesiyle mümkündür (Connor, 2020). Literatürde bu alana yön veren temel çerçevelerden biri olan İngiltere merkezli National Institute for Health and Care Excellence (NICE) tarafından yayımlanan NG61 kılavuzu, çocuklarda yaşamı tehdit eden durumlardaki bakım planlamasını net bir zemine oturtmaktadır. Bu kılavuz, palyatif süreci sadece doğum sonrasına bırakmayıp antenatal dönemde başlatmayı, aileyi karar mekanizmasının merkezine koymayı ve bakımın çok boyutlu yapısı içinde ağrının etkin bir şekilde yönetilmesini şart koşar. Özellikle klinik gidişatın belirsiz olduğu tanılarda, sürekli bir izleme ve yeniden değerlendirme döngüsü kurularak aile ile sağlık ekibi arasında şeffaf, etik ve güçlü bir güven bağı oluşturulması hedeflenir (Aidoo & Rajapakse, 2018).

Öte yandan, Amerikan Pediatri Akademisi (APA) tarafından geliştirilen rehber ilkeler, sürece daha çok sosyokültürel bir perspektiften yaklaşarak karar sürecinin merkezine ailenin değer yargılarını ve bebeğin yaşam kalitesi beklentisini yerleştirir. APA rehberi, tıbbi sonuçların kesin olarak öngörülemediği durumlarda makul tıbbi sınırlar içerisinde kalmak kaydıyla ailenin tercihlerinin belirleyici olabileceği ilkesini savunur ve etik çatışmaların önüne geçmek için multidisipliner kurulların önemini vurgular (APA, 2011).

Pediyatrik palyatif bakımın küresel boyutta standartlaşması ise ilk olarak 2007 yılında Avrupa merkezli International Meeting for Palliative Care in Children, Trento (IMPaCCT) projesiyle ivme kazanmış, ancak değişen küresel sağlık ihtiyaçları doğrultusunda yerini daha kapsayıcı bir çerçeve sunan Global Overview – Pediatric Palliative Care Standards (GO-PPaCS) çalışmasına bırakmıştır. Bu bağlamda literatürde yer alan güncel yaklaşımlar, bakım hizmetlerinin sadece hastane duvarları arasına sıkışıp kalmaması, ev ve toplum

düzeyine de yayılarak hizmete erişimdeki eşitsizliklerin acilen azaltılması gerektiğini ortaya koymaktadır (Connor, 2020).

Dünyadaki bu gelişmiş altyapıya ve evrensel standartlara karşın, ülkemizde pediatrik ve yenidoğan palyatif bakımı yasal ve kurumsal zemin açısından henüz istenilen olgunluğa erişmemiştir (Özel ve ark., 2018; Sarman, 2019). Türkiye'de 2015 yılında yürürlüğe giren "Palyatif Bakım Hizmetlerinin Uygulama Usul ve Esasları Hakkında Yönerge", büyük ölçüde erişkin hastalar merkeze alınarak hazırlandığı için yenidoğan grubunun gelişimsel ve aile odaklı spesifik ihtiyaçlarına dair yönlendirici hükümler içermemektedir (Sağlık Bakanlığı, 2015). Bu yasal ve kurumsal boşluk, sahadaki uygulamaların standart bir protokole dayanmasından ziyade, çoğu zaman kurumların kendi iç dinamiklerine veya süreci yöneten hekimin bireysel inisiyatifine kalmasına yol açmaktadır (Tiryaki ve Güdücü Tüfekçi, 2023).

1.5. Perinatal palyatif bakım protokolünün uygulanması

Perinatal palyatif bakım süreci, sadece doğum sonrasını değil, bebeğe yaşamla bağdaşmayan bir tanı konulduğu andan itibaren başlayan kapsamlı bir antenatal hazırlık evresini de içine alır. Bu dönem, ailenin şok ve inkar evrelerini aşarak bebekleriyle geçirecekleri kısıtlı zamana duygusal ve fiziksel olarak hazırlanmalarını sağlayan en kritik aşamadır. Antenatal protokollerin merkezinde, multidisipliner bir ekibin (perinatolog, neonatolog, hemşire, psikolog) rehberliğinde oluşturulan palyatif doğum planı yer alır. Bu plan kapsamında aileye, gebeliğin sonlandırılması veya devam ettirilmesi gibi seçenekler etik bir tarafsızlıkla sunulur; devam kararı alan aileler için ise doğumun bir tıbbi acil durumdan ziyade bir aile olayı olarak yaşanması hedeflenir. Antenatal süreçte, doğum şekli, doğum sırasında fetal monitörizasyonun yapılıp yapılmayacağı ve doğum anında odada bulunacak kişilerin belirlenmesi gibi detaylar netleştirilir (Connor, 2020).

Ayrıca, bebeğin doğduğu anda uygulanacak müdahalelerin sınırları çizilerek, agresif resüsitasyon yerine anne kucağında sıcaklık ve konforun sağlanması önceliklendirilir. Bu hazırlık evresi, ailenin beklenen yas sürecini yönetmesine yardımcı olurken, isim verme, vaftiz veya dua gibi manevi ritüellerin planlanmasıyla bebeğin kısa ömrüne bir kimlik kazandırılmasını sağlar (Cortezzo ve ark., 2020).

İlk ve en önemli unsur, bebeğin konforunun tıbbi ve çevresel yöntemlerle sağlanmasıdır. Bu süreçte, yenidoğanın hassas fizyolojisini korumak adına ışık ve gürültünün minimum seviyeye indirildiği stressiz bir ortam oluşturulması esastır. Gereksiz ve ağırlı klinik değerlendirmelerden kaçınılırken ten tene temas ve çoğul gebeliklerde bebeklerin bir arada tutulması gibi uygulamalarla bebeklerin biyolojik ve duygusal dengesi desteklenir (McGrath ve ark., 2020).

Bu konforun sürdürülebilirliği için etkin bir ağrı ve semptom yönetimi hayati önem taşır. Sözel iletişim kuramayan neonatalarda acının tespiti, sezgisel yaklaşımlardan ziyade valide edilmiş ağrı ve konfor ölçeklerinin kullanımıyla profesyonelleştirilir (Child Revised Impact of Event Scale (CRIES), Neonatal Infant Pain Scale (NIPS), Premature Infant Pain Profile (PIPP), Neonatal Pain Agitation Sedation Scale (NPASS), Face Legs Activity Cry Consolability (FLACC)). Bu ölçeklerden elde edilen veriler ışığında farmakolojik müdahaleler hassas bir şekilde dozlanır. Beslenme boyutunda ise anne sütü, sağladığı immünolojik ve duygusal faydalar nedeniyle altın standart olarak kabul edilirken; yapay beslenme ve hidrasyon kararları vakanın etik ve klinik dinamiklerine göre bireyselleştirilir (Lierena ve ark., 2023).

Yoğun bakım sürecinde rutin gibi görünen banyo yaptırma, giydirme ve vital bulguların izlenmesi gibi işlemler, palyatif bakımda farklı bir anlam kazanır. Bu aktiviteler sadece bakımın bir parçası değil, aynı zamanda aile ile bebek arasında bağlanma anları yaratan, ebeveynlik rolünü pekiştiren ve hem aileye hem de sağlık personeline duygusal teselli sunan değerli fırsatlardır (Sullivan ve ark., 2011; Mccarty ve ark., 2023).

Bakım süreci, yaşamın sona ermesiyle kesintiye uğramaz; aksine vefat sonrası bakım ve postmortem prosedürlerle devam eder. Bebeğin naaşına gösterilen saygı, ailenin yas sürecindeki en önemli yapı taşlarından biridir. Naaşın uygun koşullarda korunması, aileye vedalaşmaları için geniş zaman tanınması ve ziyaret seçeneklerinin sunulması bu sürecin parçasıdır. Ayrıca, otopsi ve postmortem testlerin planlanması, sadece mevcut durumun netleştirilmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ailenin gelecekteki gebelik planlamaları için de kritik tıbbi veriler sunar. Son olarak, ailenin organ bağışı gibi talepleri olması durumunda, bu sürecin profesyonel bir hassasiyetle yönetilmesi, bakımın bütünsel ve etik çerçevesini tamamlar (Dombrect ve ark, 2023).

2. PERİNATAL BAKIMDA AİLE MERKEZLİ BAKIMIN ROLÜ

Perinatal palyatif bakım; sadece yenidoğanı değil, ebeveynleri, kardeşleri, büyükanne ve büyükbabaları, hatta ailenin geniş sosyal çevresini de içine alan çok boyutlu bir süreçtir. Klinik pratikte, bakımın merkeze aileyi alacak şekilde yapılandırılması aşağıdaki temel bileşenler üzerinden yürütülür (Urbina ve ark., 2024). Palyatif bakımda standart veya tek tip bir yaklaşım söz konusu olamaz. Bakım planı; ailenin inanç sistemleri, sosyokültürel altyapısı, umutları ve spesifik gereksinimleri etrafında özel olarak şekillendirilmelidir. Sağlık profesyonelleri olarak bizler, klinik sınırları ihlal etmeden bu esnekliği sağlamakla yükümlüyük. Örneğin, dil bariyeri olan aileler için profesyonel tercüman desteği sunmak veya dini temsilcilerle iletişime geçmek bu

sürecin doğal bir parçasıdır. Gerekli durumlarda bakım, ailenin geneline yönelik olabileceği gibi, her bir aile ferdinin bireysel psikolojik ihtiyacına göre de özelleştirilebilir (Carter, 2018).

Ailenin bebekleriyle geçireceği zamanın kısıtlı olması, bu sürecin anlamsız olduğu anlamına gelmez. Ebeveynlerin bebeklerinin günlük bakımına aktif olarak katılımını sağlamak, onların ebeveynlik rollerini hissetmeleri açısından kritiktir. Bakım ekibi, bebeğin hayatta olduğu kısacık dönemde veya vefatı sonrasında fotoğraf çekilmesi, el ve ayak izlerinin alınması gibi ailenin ömür boyu saklayabileceği anı biriktirme süreçlerini teşvik etmelidir. Ancak burada göz ardı edilmemesi gereken hassas bir nokta daha vardır. Eğer aile, duygusal travma nedeniyle bebekle bağ kurmaktan veya onu görmekten kaçınmak isterse, bu karara da mutlak bir saygı çerçevesinde yaklaşılmalıdır (Lemmon ve ark., 2016). Palyatif bakım, güçlü bir multidisipliner takım çalışması gerektirir. Ailelere; sosyal hizmet uzmanları, klinik psikologlar ve manevi danışmanlardan oluşan, ihtiyaç anında ulaşılabilir bir psikososyal destek sistemi sunulmalıdır. Bu destek sadece anneyi değil, babayı ve özellikle evdeki diğer kardeşlerin yaşlarına uygun şekilde bilgilendirilmesini de kapsar. Ayrıca, ailenin taburculuk sonrası destek gruplarına yönlendirilmesi ve gelecekte planlayacakları yeni bir gebelikte yaşayabilecekleri anksiyeteye karşı proaktif destek sağlanması da hedeflenmelidir (Kenner ve ark., 2015).

Perinatal bakım bebeğin vefatıyla sona ermez. Hekimler, hemşireler, ebeler ve sosyal destek çalışanlarından oluşan çekirdek ekibin, kayıp sonrasında aileyle iletişimde kalması hayati önem taşır. Belirli aralıklarla düzenlenen takip randevuları, patolojik yas gelişimini önlemek ve ailenin normalleşme sürecine güvenli bir şekilde rehberlik etmek için sürecin ayrılmaz bir parçasıdır. Klinik ortamın katı kuralları, ailenin vedalaşma sürecine engel olmamalıdır. Ebeveynlerin talebi doğrultusunda, kendi inançlarına özgü dua, vaftiz veya özel vedalaşma seremonileri için uygun fiziksel alan ve zaman yaratılmalıdır. Bu durum, ailenin manevi huzuru bulması ve süreci kabullenmesi açısından oldukça değerlidir (Côté-Arsenault ve ark., 2021). Derin bir keder şoku yaşayan ailelerin omuzlarına bir de resmi işlemlerin yükü binmemelidir. Sağlık ekibi ve sosyal hizmet uzmanları; doğum ve ölüm kayıtlarının yapılması, cenaze ve defin işlemlerinin planlanması, hatta ilgili diğer kurumlara resmi bildirimlerin yapılması gibi yorucu pratik süreçlerde ailenin yanında yer alarak onların yükünü hafifletmelidir (Marc-Aurele ve English, 2017).

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Perinatal palyatif bakım, modern tıbbın sadece iyileştirmek üzerine kurulu olmadığını; aksine iyileşmenin mümkün olmadığı anlarda eşlik etmenin, acıyı dindirmenin ne kadar önemli olduğunu kanıtlayan bir disiplindir. Antenatal dönemde başlayan titiz bir planlama süreciyle, bir ailenin yaşayacağı büyük acı,

bebeğiyle tanışabildiği ve ona sevgiyle veda edebildiği bir sürece dönüştürülebilir. Hastalık gruplarına göre özelleşen protokoller göstermektedir ki tıbbi cihazların gürültüsü sustuğunda ve agresif müdahaleler yerini şefkatli bir bakıma bıraktığında, bebekler için huzurlu bir geçiş, aileler için ise sağlıklı bir yas süreci mümkün kılınmaktadır. Bu bakım modeli, bizlere şunu hatırlatır: klinik başarının ölçütü her zaman yaşam süresinin uzunluğu değil; bakım sürecine dahil edilen şefkat, etik değerlere gösterilen saygı ve terminal dönemdeki huzurlu geçişin niteliğidir. Perinatal palyatif bakım sadece bir veda protokolü değil; tanı anından itibaren başlayan bir yaşam arkadaşlığı ve onurlu bir sonlandırma sanatıdır. perinatal palyatif bakımın klinik uygulama alanında standartlaşması ve niteliğinin artırılması adına multidisipliner bir yaklaşım sergilenmesi elzemdir. İlk olarak, her sağlık kurumunun kendi dinamiklerine uygun, kanıta dayalı perinatal palyatif bakım protokollerini yazılı hale getirmesi ve bu süreçte perinatolog, neonatolog, palyatif bakım hemşiresi ve psikososyal destek uzmanlarından oluşan bir konsey yapısını kurumsallaştırması önerilmektedir. Klinik pratik içerisinde, tanı konulduğu andan itibaren ailenin kültürel ve manevi değerlerini kapsayan bireyselleştirilmiş doğum planları standart bir prosedür olarak uygulanmalı; bu planlar aracılığıyla doğum şeklinden anı biriktirme ritüellerine kadar her detay önceden yapılandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aidoo, E., & Rajapakse, D. (2018). End of life care for infants, children and young people with life-limiting conditions: planning and management: the NICE guideline 2016. *Archives of disease in childhood. Education and practice edition*, 103(6), 296–299. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-312767>
- Akyempon, A. N., & Aladangady, N. (2021). Neonatal and perinatal palliative care pathway: a tertiary neonatal unit approach. *BMJ paediatrics open*, 5(1), e000820. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2020-000820>
- Perinatal Palliative Care: ACOG COMMITTEE OPINION, Number 786. (2019). *Obstetrics and gynecology*, 134(3), e84–e89. <https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000003425>
- American College of Obstetricians and Gynecologists, Committee on Ethics, & American Academy of Pediatrics, Committee on Bioethics (2011). Maternal-fetal intervention and fetal care centers. *Pediatrics*, 128(2), e473–e478. <https://doi.org/10.1542/peds.2011-1570>
- Anspacher, M., Burd, A., Stroh, J., & Conroy, R. (2017). Newborn Care Curriculum: Palliative Care for the Newborn. *MedEdPORTAL : the journal of teaching and learning resources*, 13, 10639. https://doi.org/10.15766/mep_2374-8265.10639
- Bolognani, M., Morelli, P. D., Scolari, I., Dolci, C., Fiorito, V., Uez, F., Graziani, S., Stefani, B., Zeni, F., Gobber, G., Bravi, E., Tateo, S., & Soffiati, M. (2021). Development of a Perinatal Palliative Care Model at a Level II Perinatal Center Supported by a Pediatric Palliative Care Network. *Frontiers in pediatrics*, 8, 574397. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.574397>
- Carter B. S. (2018). Pediatric Palliative Care in Infants and Neonates. *Children (Basel, Switzerland)*, 5(2), 21. <https://doi.org/10.3390/children5020021>
- Connor, S. R., & Gwyther, E. (2018). The Worldwide Hospice Palliative Care Alliance. *Journal of pain and symptom management*, 55(2S), S112–S116. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2017.03.020>
- Cortezzo, D. E., Ellis, K., & Schlegel, A. (2020). Perinatal Palliative Care Birth Planning as Advance Care Planning. *Frontiers in pediatrics*, 8, 556. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.00556>
- Côté-Arsenault, D., Denney-Koelsch, E., & Elliott, G. (2021). 'Creating a safe space': how perinatal palliative care coordinators navigate care and support for families. *International journal of palliative nursing*, 27(8), 386–400. <https://doi.org/10.12968/ijpn.2021.27.8.386>
- den Herder-van der Eerden, M., Ewert, B., Hodiament, F., Hesse, M., Hasselaar, J., & Radbruch, L. (2017). Towards accessible integrated palliative care: Perspectives of leaders from seven European countries on
5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 26–27 September 2026 Azerbaijan
<https://www.wosconkongreleri.com/>

- facilitators, barriers and recommendations for improvement. *Journal of integrated care (Brighton, England)*, 25(3), 222–232. <https://doi.org/10.1108/JICA-03-2017-0006>
- Dombrecht, L., Chambaere, K., Beernaert, K., Roets, E., De Vilder De Keyser, M., De Smet, G., Roelens, K., & Cools, F. (2023). Components of Perinatal Palliative Care: An Integrative Review. *Children (Basel, Switzerland)*, 10(3), 482. <https://doi.org/10.3390/children10030482>
- Ellis, D. I., Chen, L., Wexler, S. G., Avery, M., Kim, T. D., Kaplan, A. J., Mazzola, E., Kelleher, C., & Wolfe, J. (2025). Mapping Surgical Intervention Trajectories in Seriously Ill Children Receiving Palliative Care. *Journal of pediatric surgery*, 60(1), 161905. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2024.161905>
- Esenay, F. I. (2018). Yenidoğanda Palyatif Bakım. *Türkiye Klinikleri Pediatric Nursing-Special Topics*, 4(3), 7-13.
- Hasanpour, M., Sadeghi, N., & Heidarzadeh, M. (2016). The end-of-life spiritual care service package in the newborn intensive care unit(s). *Journal of Pain and Symptom Management*, 52(6), 7-8.
- Hui, L., Muggli, E. E., & Halliday, J. L. (2016). Population-based trends in prenatal screening and diagnosis for aneuploidy: a retrospective analysis of 38 years of state-wide data. *BJOG : an international journal of obstetrics and gynaecology*, 123(1), 90–97. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.13488>
- Kenner, C., Press, J., & Ryan, D. (2015). Recommendations for palliative and bereavement care in the NICU: a family-centered integrative approach. *Journal of perinatology : official journal of the California Perinatal Association*, 35 Suppl 1(Suppl 1), S19–S23. <https://doi.org/10.1038/jp.2015.145>
- Lemmon, M. E., Bidegain, M., & Boss, R. D. (2016). Palliative care in neonatal neurology: robust support for infants, families and clinicians. *Journal of perinatology : official journal of the California Perinatal Association*, 36(5), 331–337. <https://doi.org/10.1038/jp.2015.188>
- Llerena, A., Tran, K., Choudhary, D., Hausmann, J., Goldgof, D., Sun, Y., & Prescott, S. M. (2023). Neonatal pain assessment: Do we have the right tools?. *Frontiers in pediatrics*, 10, 1022751. <https://doi.org/10.3389/fped.2022.1022751>
- Marc-Aurele K. L. (2020). Decisions Parents Make When Faced With Potentially Life-Limiting Fetal Diagnoses and the Importance of Perinatal Palliative Care. *Frontiers in pediatrics*, 8, 574556. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.574556>
- Marc-Aurele, K. L., & English, N. K. (2017). Primary palliative care in neonatal intensive care. *Seminars in perinatology*, 41(2), 133–139. <https://doi.org/10.1053/j.semperi.2016.11.005>
5. INTERNATIONAL ŞİRVANŞAHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 26–27 September 2026 Azerbaijan
<https://www.wosconkongreleri.com/>

- Marçola, L., Barbosa, S. M. M., Zoboli, I., Polastrini, R. T. V., & Ceccon, M. E. J. (2017). Analysis of Death And Palliative Care in A Neonatal Intensive Care Unit. *Análise Dos Óbitos E Cuidados Palıativos Em Uma Unidade De Terapia Intensiva Neonatal*. *Revista paulista de pediatria : orgao oficial da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo*, 35(2), 125–129. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2017;35;2;00012>
- McCarthy, F. T., Kenis, A., & Parravicini, E. (2023). Perinatal palliative care: focus on comfort. *Frontiers in pediatrics*, 11, 1258285. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1258285>
- Özel, Ş., Tayman, C., Korkut, S., Çakar, E. Ş., & Üstün, Y. E. (2018). Yenidoğan Yoğun bakım Ünitelerinde Palyatif Bakımın Önemi ve Gerekliğı. *Ahi Evran Medical Journal*, 2(2), 39-44. <https://izlik.org/JA68NF23RD>
- Quinn, M., Weiss, A. B., & Crist, J. D. (2020). Early for Everyone: Reconceptualizing Palliative Care in the Neonatal Intensive Care Unit. *Advances in neonatal care : official journal of the National Association of Neonatal Nurses*, 20(2), 109–117. <https://doi.org/10.1097/ANC.0000000000000707>
- Parravicini E. (2017). Neonatal palliative care. *Current opinion in pediatrics*, 29(2), 135–140. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000464>
- Reischer, T., Dorittke, T., Klebermaß-Schrehof, K., Berger, A., Dremsek, P., Ragossnig, J., Höfinger, P., & Yerlikaya-Schatten, G. (2025). Clinical course and perinatal management of fetuses and newborns affected by trisomy 13 and 18: a retrospective single-centre cohort study. *European journal of pediatrics*, 185(1), 30. <https://doi.org/10.1007/s00431-025-06614-7>
- Rusalén, F., Cavicchiolo, M. E., Lago, P., Salvadori, S., & Benini, F. (2021). Perinatal palliative care: a dedicated care pathway. *BMJ supportive & palliative care*, 11(3), 329–334. <https://doi.org/10.1136/bmjspcare-2019-001849>
- Samsel, C., & Lechner, B. E. (2015). End-of-life care in a regional level IV neonatal intensive care unit after implementation of a palliative care initiative. *Journal of Perinatology*, 35, 223–228. <https://doi.org/10.1038/jp.2014.189>
- Sarman, A. (2019). Palyatif/Pediatric Palyatif Bakımın Tarihsel Gelişim Süreci, İlkeleri ve Hemşirelik Bakımı. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(3), 153-160. <https://izlik.org/JA43CH22TN>

- Silva, E. M. B., Silva, M. J. M., & Silva, D. M. (2019). Perception of health professionals about neonatal palliative care. *Revista brasileira de enfermagem*, 72(6), 1707–1714. <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2018-0842>
- Sullivan, R., Perry, R., Sloan, A., Kleinhaus, K., & Burtchen, N. (2011). Infant bonding and attachment to the caregiver: insights from basic and clinical science. *Clinics in perinatology*, 38(4), 643–655. <https://doi.org/10.1016/j.clp.2011.08.011>
- Tewani, K. G., Jayagobi, P. A., Chandran, S., Anand, A. J., Thia, E. W. H., Bhatia, A., vd. (2022). Perinatal palliative care service: Developing a comprehensive care package for vulnerable babies with life limiting fetal conditions. *Journal of Palliative Care*, 37(4), 471–475. <https://doi.org/10.1177/08258597211046735>
- Tiryaki, E., & Güdücü Tüfekçi, F. (2023). Türkiye’de Palyatif Bakım Hizmetlerinin Sunumu ve İlgili Düzenlemeler. *Halk Sağlığı Hemşireliği Dergisi*, 5(3), 312-320. <https://doi.org/10.54061/jphn.1268631>
- Trowbridge, A., Walter, J. K., McConathey, E., Morrison, W., & Feudtner, C. (2018). Modes of Death Within a Children's Hospital. *Pediatrics*, 142(4), e20174182. <https://doi.org/10.1542/peds.2017-4182>
- Tucker, M. H., Ellis, K., & Linebarger, J. (2021). Outcomes following perinatal palliative care consultation: a retrospective review. *Journal of perinatology : official journal of the California Perinatal Association*, 41(9), 2196–2200. <https://doi.org/10.1038/s41372-021-00966-2>
- Urbina, T., Balasundaram, M., Coughlin, M., Sorrells, K., Toney-Noland, C., & Day, C. (2024). The Why and How of Family-Centered Care. *NeoReviews*, 25(7), e393–e400. <https://doi.org/10.1542/neo.25-7-e393>
- Ünal, S., & Zenciroğlu, A. (2016). Palliative Care for Newborn Infants. *Turkish Journal of Pediatric Disease*, 10(2), 149-155. <https://doi.org/10.12956/tjpd.2016.216>
- Viallard, M. L., & Moriette, G. (2017). Démarche palliative chez le nouveau-né atteint de malformations ou d’anomalies génétiques sévères [Palliative care for newborn infants with congenital malformations or genetic abnormalities]. *Archives de pediatrie : organe officiel de la Societe francaise de pediatrie*, 24(2), 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2016.11.007>

PEDİATRİK PALYATİF BAKIMDA AĞRI VE SEMPTOM YÖNETİMİNDE MULTİMODAL SEMPTOM YÖNETİMİ

Doç. Dr. Hatice DÖNMEZ

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi

Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Ana Bilim Dalı,

hbasdonmez@gmail.com, 0000-0001-7041-7416

Özet

Pediyatrik palyatif bakım (PPB), yaşamı tehdit eden veya yaşamı sınırlandıran hastalıklara sahip çocukların beden, zihin ve ruh bütünlüğünü merkeze alan, multidisipliner ve aktif bir bakım modelidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) pediyatrik palyatif bakımı; yaşamı tehdit eden veya sınırlandıran hastalıklarla yüzleşen çocukların beden, zihin ve ruhlarının aktif ve bütüncül bakımı ile ailelerine verilen yoğun desteği içeren, acıların önlenmesi ve hafifletilmesi yoluyla yaşam kalitesini artıran bir yaklaşım olarak tanımlamaktadır. Dünya genelinde yaşamı tehdit eden veya sınırlandıran hastalıklara sahip olan ve palyatif bakım yaklaşımından fayda görebilecek yaklaşık 21 milyon çocuk bulunmaktadır. Geleneksel yaklaşımda palyatif bakım yalnızca yaşam sonu evreyle ilişkilendirilirken, güncel tıbbi otoriteler bu bakımın tanı anından itibaren başlatılmasını ve hastalığa yönelik küratif tedavilerle eşzamanlı olarak entegre edilmesini önermektedir. Çocuklar fizyolojik ve psikolojik olarak "küçük yetişkinler" olmadıklarından, onlara sunulacak palyatif bakım yetişkinlerden farklı olarak; çocuğun sürekli değişen fiziksel, bilişsel ve duygusal gelişim aşamalarına ve hastalığın öngörülemez doğasına sıkı sıkıya uyum sağlamayı gerektirir. Başarılı bir pediyatrik palyatif bakım için hastanın ve ailesinin fiziksel, psikososyal, spiritüel (manevi) ve gelişimsel ihtiyaçları merkezde tutulmalı ve bakım süreci hekimler, hemşireler, psikologlar ve sosyal hizmet uzmanlarından oluşan interdisipliner bir ekip tarafından sunulmalıdır. Farmakolojik tedavi, çocuğun hissettiği yoğun anksiyete, hastalık algısı ve semptom kümelerinin yarattığı psikolojik distresi engellemekte çoğu zaman tek başına yetersiz kalmaktadır. Multimodal semptom yönetimi; standart tıbbi bakıma entegre edilen Geleneksel, Tamamlayıcı ve Bütünleştirici Tıp uygulamaları, fiziksel terapiler ve psikososyal müdahaleler ile en yüksek verime ulaşmak hedeflenmektedir. Bu bağlamda hemşirelik bakımına entegre edilen multimodal bakım yaklaşımları; terapötik masaj, müzik terapisi, klinik hipnoz ve reiki gibi tamamlayıcı, geleneksel ve bütünleştirici tıp yöntemleri farmakolojik tedavi ile birlikte çocuk sağlığında yaşam kalitesini artırmaktadır.

Anahtar kelimeler: Pediyatrik Palyatif Bakım, Ağrı, Multimodal Semptom Yönetimi

MULTIMODAL MANAGEMENT OF PAIN AND SYMPTOMS IN PEDIATRIC PALLIATIVE CARE

Abstract

Pediatric palliative care (PPC) is a multidisciplinary and active care model that focuses on the integrity of the body, mind, and spirit of children with life-threatening or life-limiting diseases. The World Health Organization (WHO) defines pediatric palliative care as an approach that includes the active and holistic care of the body, mind, and spirit of children facing life-threatening or life-limiting diseases, as well as intensive support for their families, and improves quality of life through the prevention and alleviation of suffering. Worldwide, there are approximately 21 million children with life-threatening or life-limiting diseases who may benefit from a palliative care approach. While palliative care was associated only with the end-of-life stage in the traditional approach, current medical authorities recommend that this care be initiated from the time of diagnosis and integrated concurrently with curative treatments for the disease. Since children are not physiologically and psychologically “small adults,” the palliative care provided to them, unlike that provided to adults, requires close adaptation to the child’s continuously changing physical, cognitive, and emotional developmental stages and the unpredictable nature of the disease. For successful pediatric palliative care, the physical, psychosocial, spiritual, and developmental needs of the patient and family should be kept at the center, and the care process should be provided by an interdisciplinary team consisting of physicians, nurses, psychologists, and social workers. Pharmacological treatment alone is often insufficient to prevent the psychological distress caused by the child’s intense anxiety, perception of illness, and symptom clusters. Multimodal symptom management aims to achieve the highest effectiveness through Traditional, Complementary, and Integrative Medicine practices, physical therapies, and psychosocial interventions integrated into standard medical care. In this context, multimodal care approaches integrated into nursing care, including complementary, traditional, and integrative medicine methods such as therapeutic massage, music therapy, clinical hypnosis, and Reiki, improve quality of life in child health when used together with pharmacological treatment..

Keywords: Pediatric Palliative Care, Pain, Multimodal Symptom Management

GİRİŞ

Pediyatrik palyatif bakım (PPB), yaşamı tehdit eden veya yaşamı sınırlandıran hastalıklara sahip çocukların beden, zihin ve ruh bütünlüğünü merkeze alan, multidisipliner ve aktif bir bakım modelidir (Benini ve ark., 2022). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) pediyatrik palyatif bakımı; yaşamı tehdit eden veya sınırlandıran hastalıklarla yüzleşen çocukların beden, zihin ve ruhlarının aktif ve bütüncül bakımı ile ailelerine verilen yoğun desteği içeren, acıların önlenmesi ve hafifletilmesi yoluyla yaşam kalitesini artıran bir yaklaşım olarak tanımlamaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2018). Dünya genelinde yaşamı tehdit eden veya sınırlandıran hastalıklara sahip olan ve palyatif bakım yaklaşımından fayda görebilecek yaklaşık 21 milyon çocuk bulunmaktadır (DSÖ, 2018). Geleneksel yaklaşımda palyatif bakım yalnızca yaşam sonu evreyle ilişkilendirilirken, güncel tıbbi otoriteler bu bakımın tanı anından itibaren başlatılmasını ve hastalığa yönelik küratif tedavilerle eşzamanlı olarak entegre edilmesini önermektedir (Rogers ve ark., 2021). Ancak ailelerin ve hatta bazı sağlık profesyonellerinin palyatif bakımı "ölüm" ve "umudun yitirilmesi" ile eş anlamlı görmesi, hastaların bu uzmanlaşmış hizmetlere erken erişimini engelleyen başlıca sistemik bariyerlerden biridir (Taylor ve ark., 2020). Oysa PPB'nin erken entegrasyonu; hastanede kalış sürelerini ve yaşam sonunda uygulanan yoğun bakım (YBÜ) müdahalelerini azaltmakta, ileri bakım planlamasını optimize etmekte ve hem hastanın hem de ailenin yaşam kalitesini gözle görülebilir derecede ölçüde artırmaktadır (Taylor ve ark., 2020; Rogers ve ark., 2021).

Uluslararası Ağrı Araştırmaları Derneği (IASP) ve DSÖ tarafından ağrı, "gerçek veya potansiyel doku hasarıyla ilişkili olan veya bu tür bir hasar terimleriyle tanımlanan, hoş olmayan duyuşsal ve duygusal bir deneyim" olarak tanımlanmaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2012). Çocukluk çağında ağrı deneyimi oldukça karmaşıktır; sadece nörobiyolojik bir uyarın iletiminden ibaret olmayıp, duyuşsal, duyuşsal, davranışsal, bilişsel ve sosyokültürel bileşenleri barındıran çok boyutlu bir olgudur (Di Sarno ve ark., 2023).

Çok boyutlu bir kavram olan ağrının yönetiminde sadece farmakolojik tedaviler bazen yetersiz kalabilmektedir. Çocuklarda ağrı kavramının tek boyutlu olmaması ile özellikle kronik ağrı ile mücadele eden çocuklarda işlev kayıpları görülebilmektedir. İşlev kaybı çocuğun ailesi başta olmak üzere, okul, arkadaş ve günlük yaşam aktivitelerini de etkilediği görülmektedir (Hechler ve ark., 2010). Bu açıdan bakıldığında pediyatrik palyatif bakımda ağrı yönetiminde diğer alternatif tıp uygulamalarının farmakolojik tedaviye entegre edilerek bütüncül bir yaklaşımla ağrının yönetiminde multimodal yaklaşımın gerekliliğini vurgulamaktadır (García-Salido ve ark., 2022). Farmakolojik tedavi, çocuğun hissettiği yoğun anksiyete, hastalık algısı ve

semptom kümelerinin yarattığı psikolojik distressi engellemekte çoğu zaman tek başına yetersiz kalmaktadır. Multimodal semptom yönetimi; standart tıbbi bakıma entegre edilen Geleneksel, Tamamlayıcı ve Bütünleştirici Tıp uygulamaları, fiziksel terapiler ve psikososyal müdahaleler ile en yüksek verime ulaşmak hedeflenmektedir (Wu ve ark., 2025; Lopes-Júnior ve ark., 2021). Bu derlemenin amacı pediatrik palyatif bakımında ağrı yönetiminde yeni bir yaklaşım olan multimodal yaklaşımların kullanımını literatür ışığında incelemektir.

1. PEDİATRİK PALYATİF BAKIMIN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

Pediatrik palyatif bakım, iyileştirici tedavilerle birbirini dışlayan bir bakımın aksine yaşamı tehdit eden bir hastalığın teşhis edildiği ilk andan itibaren hastalığa yönelik tedavilerle eş zamanlı olarak başlatılması gereken ve çocuğun spesifik bir tedavi alıp almadığına bakılmaksızın tüm hastalık süreci boyunca devam etmesi gereken bir bakım sürecidir (Snaman ve ark., 2020). Çocuklar fizyolojik ve psikolojik olarak "küçük yetişkinler" olmadıklarından, onlara sunulacak palyatif bakım yetişkinlerden farklı olarak; çocuğun sürekli değişen fiziksel, bilişsel ve duygusal gelişim aşamalarına (Dünya Sağlık Örgütü, 2018) ve hastalığın öngörülemez doğasına sıkı sıkıya uyum sağlamayı gerektirir. Başarılı bir pediatrik palyatif bakım için hastanın ve ailesinin fiziksel, psikososyal, spiritüel (manevi) ve gelişimsel ihtiyaçları merkezde tutulmalı ve bakım süreci hekimler, hemşireler, psikologlar ve sosyal hizmet uzmanlarından oluşan interdisipliner bir ekip tarafından sunulmalıdır (Benini ve ark., 2022).

2. PEDİATRİK PALYATİF BAKIMDA AĞRI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Uluslararası Ağrı Araştırmaları Derneği (IASP) ve DSÖ tarafından ağrı, "gerçek veya potansiyel doku hasarıyla ilişkili olan veya bu tür bir hasar terimleriyle tanımlanan, hoş olmayan duyuşsal ve duygusal bir deneyim" olarak tanımlanmaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2012). Çocukluk çağında ağrı deneyimi oldukça karmaşıktır; sadece nörobiyolojik bir uyarın iletiminden ibaret olmayıp, duyuşsal, duyuşsal, davranışsal, bilişsel ve sosyokültürel bileşenleri barındıran çok boyutlu bir olgudur (Di Sarno ve ark., 2023). Pediatrik popülasyonda, özellikle bebeklerde veya bilişsel/nörolojik engeli olan çocuklarda ağrının sözel olarak ifade edilememesi, bireyin ağrı yaşamadığı veya analjezik tedaviye ihtiyaç duymadığı anlamına gelmemektedir (Dünya Sağlık Örgütü, 2012; Hadland ve ar., 2024).

Ağrının türü ve süresine göre sınıflandırılması, doğru yönetim stratejilerinin belirlenmesi açısından elzemdir. DSÖ kılavuzlarına göre ağrı temel olarak ikiye ayrılır:

- Doku hasarına ve inflamasyona bağlı olarak somatik veya visseral kaynaklı gelişen ***nosiseptif ağrı***
- Sinir sistemindeki bir hasar ya da disfonksiyona bağlı gelişen ***nöropatik ağrı*** (Dünya Sağlık Örgütü, 2012).

- Süresine göre ise palyatif dönemde ağrı; sürekli devam eden kronik ağrı veya düzenli bir ağrı kesici tedavi altındayken aniden ortaya çıkan ve şiddetli seyreden kırılma ağrısı olarak karşıya çıkmaktadır (Dünya Sağlık Örgütü , 2012).

Etkili bir ağrı yönetiminin en temel ve ilk adımı, ağrının doğru ve sürekli olarak değerlendirilmesidir (Dünya Sağlık Örgütü , 2012). Çocuklarda ağrı değerlendirmesi çocuğun yaşına, bilişsel gelişim düzeyine ve ağrının türüne uygun, geçerliliği ve güvenilirliği uluslararası düzeyde kanıtlanmış çok boyutlu araçlarla yapılmalıdır (Di Sarno ve ark ., 2023).

- **Davranışsal ve Gözlemsel Ölçekler:** Sözel iletişim kuramayan , üç yaş altı küçük çocuklarda veya bilişsel engeli olan palyatif bakım hastalarında yüz ifadesi, ağlama, motor yanıtlar (kıvrınma, bacakları çekme) gibi parametreleri ölçen *FLACC (Face, Legs, Activity, Cry, Consolability)* veya *CHEOPS (Children's Hospital of Eastern Ontario Pain Scale)* gibi davranışsal araçlar kullanılmalıdır (Di Sarno ve ark., 2023).
- **Öz Bildirime (Self-Report) Dayalı Ölçekler:** Bilişsel ve dilsel gelişimi uygun olan, genellikle 3-4 yaş ve üzerindeki çocuklarda hastanın kendi beyanı "altın standart" olarak kabul edilir (Dünya Sağlık Örgütü , 2012). Bu grupta çocuğun ağrı şiddetini farklı yüz ifadeleriyle eşleştirdiği *Wong-Baker Yüz İfadeleri Ölçeği (FACES)* veya *Oucher Ölçeği* tercih edilirken; 8 yaş ve üzerindeki daha büyük çocuklarda ve ergenlerde ağrı şiddetinin 0 ile 10 (veya 100) arasında sayısallaştırıldığı *Görsel Analog Skala (VAS)* veya *Sayısal Derecelendirme Ölçeği (NRS)* kullanılmalıdır (Dünya Sağlık Örgütü , 2012).

3.SEMPTOMLAR VE SEMPTOM KÜMELERİ FENOMENİ

Yaşamı sınırlandıran hastalıkları olan çocuklar ve ergenler hem hastalığın doğrudan etkileri hem de uygulanan invaziv tedavilerin yan etkileri nedeniyle, yaşam kalitelerini ciddi şekilde bozan çok sayıda rahatsız edici semptom yaşarlar (van Teunenbroek ve ark., 2024). Etkili semptom yönetimi, pediatrik palyatif bakımın temel omurgasını oluşturur. Çocuklarda en sık karşılaşılan semptomlar şunlardır:

3.1.Fiziksel Semptomlar: Ağrı, dispne, bulantı, kusma, yorgunluk , cilt bütünlüğünde bozulmalar, basınç yaraları ve ölüm hırıltısı sıklıkla görülür (van Teunenbroek ve ark., 2024). Bununla birlikte serebral palsi gibi karmaşık nörolojik hastalıkları olan çocuklarda şiddetli spastisite(kasların istemsiz ve kontrolsüz bir şekilde kasılması ve sertleşmesi) , inatçı nöbetler ve yutma güçlükleri de klinik tabloda ağır yer tutar (van Teunenbroek ve ark., 2024).

3.2.Psikolojik ve Duygusal Semptomlar: Depresyon, şiddetli anksiyete, akut ve travma sonrası stres bozuklukları (TSSB) oldukça yaygındır (Wu ve ark., 2025). Bu durum, tıbbi tedavilere uyumu zorlaştırır ve ebeveynlerde de ağır tükenmişliğe yol açar (Wu et al., 2025).

3.3.Semptom Kümeleri Fenomeni

Pediyatrik onkoloji ve palyatif bakım literatüründe, birden fazla semptomun bağımsız ve rastgele değil, birbirleriyle güçlü bir etkileşim içinde ve eşzamanlı olarak ortaya çıkması fenomenine *semptom kümesi* adı verilmektedir . Bir kümedeki semptomlar, küme dışındaki semptomlara kıyasla birbirleriyle çok daha güçlü biyolojik ve psikolojik bağlara sahiptir. Örneğin; palyatif bakım alan bir çocukta **ağrı-anksiyete-endişe-dispne** kümesi sıklıkla bir arada görülmektedir (Lopes-Júnior ve ark., 2021). Çocuğun hissettiği yoğun ağrı anksiyetesini artırmakta, artan anksiyete solunum sayısını hızlandırarak dispne hissini kötüleştirmekte, bu da hastanın ağrı eşiğini daha da düşürerek bir kısır döngü yaratmaktadır. Bu nedenle, kanıta dayalı hemşirelik yaklaşımında semptomlar tek tek değil, kümeler halinde bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalı ve tedavi edilmelidir (Boyden ve ark., 2022)

4. MULTİMODAL VE NON-FARMAKOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Multimodal ağrı yönetimi (veya disiplinler arası çok modlu ağrı tedavisi), özellikle pediyatrik palyatif bakımda kronik ve komplike ağrı yaşayan çocuklarda, tek bir tedavi yönteminden daha ziyade, çok disiplinli bir ekip tarafından birden fazla farmakolojik ve non-farmakolojik ziyade ve bütüncül bir şekilde çocuklarda ağrı yönetiminde kullanılmasını içermektedir. Multimodal yaklaşım, ağrıyı yalnızca biyolojik veya fiziksel bir bulgu olarak ele almaz; bunun yerine, ağrının biyolojik, psikolojik, gelişimsel ve sosyal boyutların etkilerini göz önünde bulundurarak değerlendiren biyopsikososyal modele dayanır. Burada amaç, sadece fiziksel ağrıyı hafifletmek değil, fiziksel, duygusal ve işlevsel yükleri de kapsayan hastanın “toplam acı ve ıstırabını” bütüncül bir şekilde yönetmektir (Carstea ve ark., 2026; Hechler ve ark., 2010). Non-farmakolojik ağrı yönetimi, ağrının yalnızca biyolojik bir doku hasarı olmadığını savunan kuramlar üzerine inşa edilmiştir. Bu bağlamda dört temel teori öne çıkmaktadır (Raja ve ark., 2020; Hayes ve ark., 2025):

Kapı Kontrol Teorisi: Dokunma veya masaj yoluyla omuriliğe gönderilen inhibitör sinyallerin, ağrı sinyallerinin beyne iletimini bloke ederek analjezi sağladığını açıklar

Biyopsikososyal Model: Ağrı deneyiminin genetik, psikolojik (korku, anksiyete) ve sosyokültürel faktörlerin karmaşık bir etkileşimi olduğunu savunur

Öz-Düzenleme Teorisi : Çocuğun bilişsel stratejiler (derin nefes, odaklanma) kullanarak kendi otonomik ve fizyolojik yanıtlarını bilinçli olarak modüle edebilme yetisine dayanır

Sosyal Öğrenme Teorisi : Çocukların ağrıyla baş etme mekanizmalarını, ebeveynlerinin ve çevrelerindeki sağlık profesyonellerinin tepkilerini kopyalayarak/gözlemleyerek geliştirdiğini ileri sürer

4.1.Non-Farmakolojik ve Tamamlayıcı Tıp (TAT) Stratejileri

Farmakolojik tedavi, çocuğun hissettiği yoğun anksiyete, hastalık algısı ve semptom kümelerinin yarattığı psikolojik distressi engellemekte çoğu zaman tek başına yetersiz kalmaktadır. Multimodal semptom yönetimi; standart tıbbi bakıma entegre edilen Geleneksel, Tamamlayıcı ve Bütünleştirici Tıp uygulamaları, fiziksel terapiler ve psikososyal müdahaleler ile en yüksek verime ulaşmak hedeflenmektedir (Wu ve ark., 2025; Lopes-Júnior ve ark., 2021). Bu stratejiler farklı mekanizmalarla sürecin yönetiminde etkin rol oynamaktadır.

4.1.1.Bilişsel ve Davranışsal Terapiler: Bilişsel Davranışçı Terapi (BDT), çocukların ağrıya dair "felaketleştirme" düşüncelerini yeniden yapılandırarak baş etme becerilerini artırır ve hem fiziksel hem de duygusal fonksiyonlarda anlamlı iyileşmeler sağlar (Checa-Peñalver ve ark., 2024; Charkhandeh ve ark., 2016). Hipnoz ve yönlendirilmiş imgeleme gibi teknikler, çocuğun dikkatinin derin bir gevşeme durumuna çekilmesiyle, özellikle tekrarlayan invaziv prosedürlerin (lomber ponksiyon, kemik iliği aspirasyonu) yarattığı prosedürel ağrı ve anksiyeteyi invaziv olmayan bir yolla minimize eder (van Veen ve ark., 2024).

4.1.2.Teknoloji Destekli Dikkati Dağıtma ve İzlem Sistemleri: Sanal Gerçeklik (VR), görsel ve işitsel çoklu duyuşsal uyarım sağlayarak çocuğun beyin korteksini meşgul eden son derece güçlü bir "aktif dikkat dağıtma" aracıdır; özellikle damar yolu açma veya yara bakımı gibi işlemlerde algılanan ağrıyı ve stresi majör ölçüde düşürür (Sandvik ve ark., 2020; van Veen ve ark., 2024). Ek olarak, evde bakım sürecinde "KLIK monitör" ve "Pain Squad" gibi dijital mobil sağlık uygulamaları, hastanın günlük ağrı skorlarını uzaktan izlemeye, interaktif destek sunmaya ve sağlık ekibiyle iletişimi optimize etmeye yarayan kanıta dayalı araçlardır (Checa-Peñalver ve ark., 2024).

4.1.3.Fiziksel, Bedensel ve Enerji Temelli Terapiler: Terapötik masaj ve dokunma terapileri, pediatrik palyatif bakımda kas gerginliğini ve otonomik hiperaktiviteyi azaltarak, ağrı-anksiyete-dispne semptom kümesinin yönetiminde istatistiksel olarak anlamlı ve güvenli sonuçlar veren etkin bir müdahaledir (Lopes-Júnior ve ark., 2021; van Veen ve ark., 2024). Benzer şekilde, invaziv olmayan bir enerji terapisi olan Reiki uygulamasının, çocukların (kalp atım ve solunum hızı gibi hemodinamik parametrelerini dengeleyerek

dinlenme anında analjezik ve anksiyolitik etki yarattığı gösterilmiştir (Yıldırım ve Erceylan, 2022; Lopes-Júnior ve ark., 2021; Thrane ve ark., 2021).

4.1.4.Dışavurumcu Sanat ve Oyun Terapileri: Sözcük dağarcığı henüz gelişmemiş olan veya medikal travma yaşayan küçük çocuklarda müzik, sanat ve oyun terapisi vazgeçilmezdir. Müzik terapisi, prosedürel stresi ve ajitasyonu azaltırken (Sandvik ve ark., 2020); sanat ve oyun terapileri çocuğa hastane ortamında bir "normallik" ve "kontrol" hissi vererek duygusal dışavurum için güvenli bir alan yaratır (van Veen ve ark., 2024).

4.1.5.Tamamlayıcı Biyolojik Ajanlar: Son yıllarda fitofarmakolojik yaklaşımlar (örneğin Tıbbi Esrar/Cannabis sativa ve Boswellik asit) dirençli nöropatik ağrı, bulantı-kusma ve iştahsızlık üzerinde umut verici sonuçlar göstermektedir; ancak yan etki profilleri (örneğin konsantrasyon kaybı veya anksiyete atakları) ve pediatrik farmakokinetik verilerin yetersizliği sebebiyle bu ajanların kullanımı çok sıkı endikasyonlar ve yasal/tıbbi denetimler dahilinde gerçekleştirilmelidir (Lopes-Júnior ve ark., 2021).

SONUÇ

Pediyatrik palyatif bakım ve onkolojide başarılı bir semptom yönetimi tek bir disiplinin veya yöntemin sınırlarına kısıtlandırılmamalıdır. Sadece ilaç tedavisi, karmaşık ve çok boyutlu semptomları azaltmada yetersiz kalabilmektedir. Bu noktada hemşirelerin öncülüğünde terapötik masaj, müzik terapisi, klinik hipnoz ve reiki gibi etkinliği kanıtlanmış tamamlayıcı, geleneksel ve bütünleştirici tıp yöntemleri farmakolojik tedaviye mutlaka entegre edilmelidir. Çocuğun bilişsel seviyesine uygun ileri bakım planlaması ve aileyi destekleyen psikososyal yaklaşımlarla yoğrulmuş bu multimodal bakım yaklaşımı, çocukların kalan yaşam sürelerini hasta ve aile için en yüksek kaliteye, onura ve anlama kavuşturan çağdaş hemşirelik biliminin altın standardıdır.

KAYNAKÇA

- Benini, F., Papadatou, D., Bernad , M., Craig, F., De Zen, L., Downing, J., Drake, R., Friedrichsdorf, S., Garros, D., Giacomelli, L., Lacerda, A., Lazzarin, P., Marceglia, S., Marston, J., Muckaden, M. A., Papa, S., Parravicini, E., Pellegatta, F., & Wolfe, J. (2022). International Standards for Pediatric Palliative Care: From IMPaCCT to GO-PPaCS. *Journal of pain and symptom management*, 63(5), e529–e543. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2021.12.031>
- Boyden, J. Y., Hill, D. L., Nye, R. T., Bona, K., Johnston, E. E., Hinds, P., Friebert, S., Kang, T. I., Hays, R., Hall, M., Wolfe, J., Feudtner, C., & PPCRN SHARE Project Group (2022). Pediatric Palliative Care Parents' Distress, Financial Difficulty, and Child Symptoms. *Journal of pain and symptom management*, 63(2), 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2021.08.004>
- Carstea, A. M., Borda, A., Morosan, R., Pittner, A. E., Boeriu, E., Rebreanu, C. I., Theia, S. L., Dumitru, V. D., & Mihailescu Marin, M. M. (2026). Chronic Cancer-Related Pain in Children: A Narrative Review of Multimodal and Family-Centered Palliative Care Approach. *Children (Basel, Switzerland)*, 13(5), 618. <https://doi.org/10.3390/children13050618>
- Charkhandeh, M., Talib, M. A., & Hunt, C. J. (2016). The clinical effectiveness of cognitive behavior therapy and an alternative medicine approach in reducing symptoms of depression in adolescents. *Psychiatry research*, 239, 325–330. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.03.044>
- Checa-Pe alver, A., L rio-Romero, C., Luiz Ferreira, E. A., Hern ndez-Iglesias, S., Garc a-Valdivieso, I., P rez-Pozuelo, J. M., & G mez-Cantarino, S. (2024). Effectiveness of Non-Pharmacological Interventions in the Management of Pediatric Chronic Pain: A Systematic Review. *Children (Basel, Switzerland)*, 11(12), 1420. <https://doi.org/10.3390/children11121420>
- Di Sarno, L., Gatto, A., Korn, D., Pansini, V., Curatola, A., Ferretti, S., Capossela, L., Graglia, B., & Chiaretti, A. (2023). Pain management in pediatric age. An update. *Acta bio-medica : Atenei Parmensis*, 94(4), e2023174. <https://doi.org/10.23750/abm.v94i4.14289>
- WHO Guidelines on the Pharmacological Treatment of Persisting Pain in Children with Medical Illnesses. (2012). World Health Organization.
- D nya Saėlık  rg t  [DS ]. (2018). *Integrating palliative care and symptom relief into paediatrics: A WHO guide for health care planners, implementers and managers*. D nya Saėlık  rg t .
- Garc a-Salido, A., Navarro-Mingorance,  ., Martino-Alba, R., & Nieto-Moro, M. (2022). Update on the palliative care approach at the pediatric intensive care unit. Actualizaci n del enfoque paliativo en la Unidad de
5. INTERNATIONAL  IRVAN AHLAR SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 26–27 September 2026 Azerbaijan <https://www.wosconkongreleri.com/>

- Cuidados Intensivos Pediátricos. *Archivos argentinos de pediatría*, 120(6), e255–e263. <https://doi.org/10.5546/aap.2022.eng.e255>
- Hadland, S. E., Agarwal, R., Raman, S. R., Smith, M. J., Bryl, A., Michel, J., Kelley-Quon, L. I., Raval, M. V., Renny, M. H., Larson-Steckler, B., Wexelblatt, S., Wilder, R. T., & Flinn, S. K. (2024). Opioid Prescribing for Acute Pain Management in Children and Adolescents in Outpatient Settings: Clinical Practice Guideline. *Pediatrics*, e2024068752. Advance online publication. <https://doi.org/10.1542/peds.2024-068752>
- Hayes, L., Pabis, J. M., Millmann, M., Milligan, C. N., & Daffin, M. (2025). Assessment and Non-pharmacological Management of Chronic Pain in Pediatric Cancer Survivors: Current Practices and Recommendations for Next Steps. *Current pain and headache reports*, 30(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s11916-025-01446-4>
- Hechler, T., Dobe, M., & Zernikow, B. (2010). Commentary: A worldwide call for multimodal inpatient treatment for children and adolescents suffering from chronic pain and pain-related disability. *Journal of pediatric psychology*, 35(2), 138–140. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsp066>
- Lopes-Júnior, L. C., Rosa, G. S., Pessanha, R. M., Schuab, S. I. P. C., Nunes, K. Z., & Amorim, M. H. C. (2020). Efficacy of the complementary therapies in the management of cancer pain in palliative care: A systematic review. *Revista latino-americana de enfermagem*, 28, e3377. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4213.3377>
- Raja, S. N., Carr, D. B., Cohen, M., Finnerup, N. B., Flor, H., Gibson, S., Keefe, F. J., Mogil, J. S., Ringkamp, M., Sluka, K. A., Song, X. J., Stevens, B., Sullivan, M. D., Tutelman, P. R., Ushida, T., & Vader, K. (2020). The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. *Pain*, 161(9), 1976–1982. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001939>
- Rogers, M. M., Friebert, S., Williams, C. S. P., Humphrey, L., Thienprayoon, R., & Klick, J. C. (2021). Pediatric Palliative Care Programs in US Hospitals. *Pediatrics*, 148(1), e2020021634. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-021634>
- Snaman, J., McCarthy, S., Wiener, L., & Wolfe, J. (2020). Pediatric Palliative Care in Oncology. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology*, 38(9), 954–962. <https://doi.org/10.1200/JCO.18.02331>
- Sandvik, R. K., Olsen, B. F., Rygh, L. J., & Moi, A. L. (2020). Pain relief from nonpharmacological interventions in the intensive care unit: A scoping review. *Journal of clinical nursing*, 29(9-10), 1488–1498. <https://doi.org/10.1111/jocn.15194>

- Taylor, J., Booth, A., Beresford, B., Phillips, B., Wright, K., & Fraser, L. (2020). Specialist paediatric palliative care for children and young people with cancer: A mixed-methods systematic review. *Palliative medicine*, 34(6), 731–775. <https://doi.org/10.1177/0269216320908490>
- Thrane, S. E., Maurer, S. H., & Danford, C. A. (2021). Feasibility and Acceptability of Reiki Therapy for Children Receiving Palliative Care in the Home. *Journal of hospice and palliative nursing : JHPN : the official journal of the Hospice and Palliative Nurses Association*, 23(1), 52–58. <https://doi.org/10.1097/NJH.0000000000000714>
- van Teunenbroek, K. C., Mulder, R. L., Ahout, I. M. L., Bindels-de Heus, K. G. C. B., Delsman-van Gelder, C. M., Galimont-Collen, A. F. S., de Groot, M. A. R., Heitink-Polle, K. M. J., Looijestijn, J., Mensink, M. O., Mulder, S., Schieving, J. H., Schouten-van Meeteren, A. Y. N., Verheijden, J. M. A., Rippen, H., Borggreve, B. C. M., Kremer, L. C. M., Verhagen, A. A. E., Michiels, E. M. C., & working groups symptom treatment and refractory symptom treatment of the Dutch paediatric palliative care guideline (2024). A Dutch paediatric palliative care guideline: a systematic review and evidence-based recommendations for symptom treatment. *BMC palliative care*, 23(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s12904-024-01367-w>
- van Veen, S., Drenth, H., Hobbelen, H., Finnema, E., Teunissen, S., & de Graaf, E. (2024). Non-pharmacological interventions feasible in the nursing scope of practice for pain relief in palliative care patients: a systematic review. *Palliative care and social practice*, 18, 26323524231222496. <https://doi.org/10.1177/26323524231222496>
- Wu, X., Lam, C. S., Chu, Y. S., Deng, W., Chan, C. W. H., Au, K. Y., Man, S. S., Li, C. K., Zhong, C., Ho, L. ve Cheung, Y. T. (2025). Efficacy of traditional, complementary, and integrative medicine in pain and psychological distress management for pediatric palliative patients: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Pain and Symptom Management*, 67(1), 108–124.
- Yıldırım, D. ve Erceylan, M. (2022). The effect of Reiki therapy on cancer pain management in palliative care patients: A systematic review. *Bezmiâlem Science*, 10(4), 518–522. <https://doi.org/10.14235/bas.galenos.2020.4483>

KANSER BİYOLOJİSİNDE TRANSİENT RECEPTOR POTENTIAL ANKYRİN 1 İYON KANALLARININ ROLÜ

Prof. Dr. Murat ÇAKIR¹, Prof. Dr. Tünay KARAN²

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Yozgat, Türkiye.

murat.cakir@yobu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2066-829X.

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Veterinerlik Fakültesi, Genetik Bölümü, Yozgat, Türkiye.

tunay.karan@bozok.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9114-8400.

Özet

Transient Receptor Potential Ankyrin 1 (TRPA1), Transient Receptor Potential (TRP) iyon kanalı ailesinin bir üyesi olup kalsiyum iyonu (Ca^{2+}) geçirgenliği yüksek olan non-selektif bir katyon kanalıdır. Geleneksel olarak duyuşal nöronlarda nosisepsiyon, reaktif oksijen türlerinin (ROS) algılanması ve inflamasyon süreçlerinde tanımlanmış olan TRPA1, son dönem araştırmalarında epitel kökenli tümör hücrelerinde ve tümör stroma bileşenlerinde de anormal biçimde eksprese edildiği gösterilmiştir. Biz burada TRPA1 kanallarının kanser biyolojisindeki hücrel ve moleküler rolleri, tümör mikroçevresindeki redoks adaptasyon mekanizmaları, kemoterapi direnci ve periferik nöropati patojenezindeki yerini ele aldık. Hücrel düzeyde TRPA1 aktivasyonu, hücrel Ca^{2+} girişini artırarak apoptozun düzenlenmesi, hücre döngüsünün devamlılığı, proliferasyon, migrasyon, invazyon ve anjiyogenez gibi karsinogenezin kritik basamaklarını uyarır. Özellikle yüksek metabolik hız ve mikroçevre stresi nedeniyle tümör içinde biriken reaktif oksijen türleri, Nuclear factor erythroid 2–related factor 2 (NRF2) transkripsiyon faktörü üzerinden TRPA1 ekspresyonunu ve aktivasyonunu indüklemekte, bu durum tümör hücrelerine sağkalım avantajı kazandırmaktadır. TRPA1 ekspresyonu; meme, akciğer, prostat, pankreas ve glioblastom gibi çeşitli solid malignitelerde pro-onkogenik işlevler sergilemekte ve invaziv fenotip ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, platin bazlı kemoterapötiklerin (örneğin oksaliplatin) yol açtığı nörotoksisite ve nöropatik ağrıda TRPA1 kanallarının patolojik rolü gösterilmiştir. Sonuç olarak, TRPA1 kanallarının moleküler yapısının ve sinyal ağlarının anlaşılması, kanser tanısında moleküler biyobelirteç ve tedavisinde ise hedefe yönelik yeni terapötik ajanların geliştirilmesi açısından yüksek bir potansiyel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Transient Receptor Potential Kanalları, Transient Receptor Potential Ankyrin 1, Kanser, Kalsiyum Sinyali.

THE ROLE OF TRANSIENT RECEPTOR POTENTIAL ANKYRIN 1 ION CHANNELS IN CANCER BIOLOGY

Abstract

Transient Receptor Potential Ankyrin 1 (TRPA1) is a member of the Transient Receptor Potential (TRP) ion channel family and is a non-selective cation channel with high calcium ion (Ca^{2+}) permeability. Traditionally characterised in sensory neurons in relation to nociception, the detection of reactive oxygen species (ROS) and inflammatory processes, recent research has shown that TRPA1 is also abnormally expressed in epithelial-derived tumour cells and tumour stromal components. Here, we have examined the cellular and molecular roles of TRPA1 channels in cancer biology, the mechanisms of redox adaptation in the tumour microenvironment, and their role in the pathogenesis of chemotherapy resistance and peripheral neuropathy. At the cellular level, TRPA1 activation stimulates critical steps in carcinogenesis—such as the regulation of apoptosis, cell cycle progression, proliferation, migration, invasion and angiogenesis—by increasing cellular Ca^{2+} influx. In particular, reactive oxygen species (ROS) that accumulate within the tumour due to high metabolic rate and microenvironmental stress induce TRPA1 expression and activation via the Nuclear factor erythroid 2–related factor 2 (NRF2) transcription factor, thereby conferring a survival advantage to tumour cells. TRPA1 expression exhibits pro-oncogenic functions in various solid malignancies, such as breast, lung, prostate, pancreatic and glioblastoma, and is associated with an invasive phenotype. Furthermore, the neurotoxicity caused by platinum-based chemotherapeutics (e.g. oxaliplatin). Consequently, understanding the molecular structure and signalling networks of TRPA1 channels offers significant potential for the development of molecular biomarkers for cancer diagnosis and new targeted therapeutic agents for cancer treatment.

Keywords: Transient Receptor Potential Channels, Transient Receptor Potential Ankyrin 1, Cancer, Calcium Signalling.

1. GİRİŞ

Kanser, hücrel sinyal iletim mekanizmalarındaki genetik ve epigenetik bozulmalar, kontrolsüz proliferasyon, programlanmış hücre ölümünden (apoptoz) kaçış ve metastaz ile karakterize kompleks bir süreçtir (Hanahan & Weinberg, 2011). Hücre içi kalsiyum iyonu (Ca^{2+}); gen transkripsiyonu, hücre döngüsü kontrolü, motilite ve hücre kaderinin belirlenmesi gibi süreçlerde önemli rol oynamaktadır (Clapham, 2007). (Ca^{2+} sinyalindeki anormal değişiklikler ve iyon kanallarının ekspresyon seviyesinin değişmesi, karsinogenez basamaklarını doğrudan destekleyen ana faktörler arasında kabul edilmektedir (Prevarskaia, Skryma, & Shuba, 2011).

Transient Receptor Potential (TRP) kanal süper ailesi, plazma membranında yer alarak hücre dışı fiziksel ve kimyasal mikroçevre değişimlerini algılayan duyuşal kanallardır (Nilius, Owsianik, Voets, & Peters, 2007). Bu ailenin TRPA (Ankyrin) alt grubunun tek üyesi olan TRPA1 (Transient Receptor Potential Ankyrin 1), yapısındaki geniş N-terminal ankirin tekrar alanları ile diğer TRP kanallarından ayrılmaktadır (Cole, Chen, Rohou, & Chen, 2026; Paulsen, Armache, Gao, Cheng, & Julius, 2015). İlk olarak nosiseptif duyuşal nöronlarda zararlı soğuk, elektrofilik irritanlar ve inflamatuvar araçların algılanmasından sorumlu bir sensör olarak tanımlanan TRPA1, günümüzde nöronal olmayan birçok hücre tipinde ve malign dokularda fonksiyonel olarak tespit edilmiştir (Bandell et al., 2004; Morelli & Amantini, 2022).

TRPA1'i yapısal olarak benzersiz kılan ana unsur, N-terminalinde barındırdığı ankirin tekrar alanlarıdır. Bu ankirin tekrarları, sitoplazmik protein-protein etkileşimlerini düzenler, hücrel membran gerilimini algılar ve mekanik uyarıların kanala iletilmesinde bir modül gibi görev yapar (Bandell et al., 2004; Cole et al., 2026; Paulsen et al., 2015). Hücre içi ve dışı ortamlarda biriken hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksit anyonları ve lipid peroksidasyon ürünleri, TRPA1 üzerindeki sistein tiol gruplarını doğrudan peroksitle ederek veya modifiye ederek kanalı açar. Bu mekanizma, TRPA1'i biyolojik sistemlerde redoks durumunu Ca^{2+} sinyaline dönüştüren hücrel bir sensöre dönüştürmektedir (Bandell et al., 2004; Macpherson et al., 2007; Takahashi et al., 2018; Takahashi et al., 2011).

Son yıllardaki çalışmalar, TRPA1 kanallarının tümör mikroçevresinde biriken reaktif oksijen türlerine (ROS) yanıt veren moleküler bir "redoks sensörü" olarak çalıştığını ortaya koymuştur (Takahashi et al., 2018; Takahashi et al., 2011). Hücrel oksidatif strese yanıt olarak TRPA1 üzerinden gerçekleşen Ca^{2+} girişi, tümör hücrelerini apoptozdan korumakta ve standart kemoterapötik ajanlara karşı direnç gelişimine yol açmaktadır (Moccia & Montagna, 2023). Bu derleme çalışmasında, TRPA1'in yapısal biyokimyası, kanser hücrel sinyal

yolakları ile etkileşimi, farklı solid tümörlerdeki spesifik rolleri, kemoterapi direnci ve nöropatideki yeri güncel literatür ışığında incelenmektedir.

2. YÖNTEM

Bu derleme çalışmasında, TRPA1 kanallarının yapısı, kanser hücrel sinyal yolları ile etkileşimi, farklı solid tümörlerdeki spesifik rolleri, kemoterapi direnci ve nöropatideki rolü araştırıldı. Bunu için PubMed, Scopus, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarında literatür taraması yapıldı. Yapılan taramalarda “Transient Receptor Potential Kanalları”, “Transient Receptor Potential Ankyrin 1”, “Kanser”, “Kalsiyum Sinyali” anahtar kelimeleri ve bu anahtar kelimelerin farklı kombinasyonları kullanıldı. Erişilen kaynaklar incelenerek tarama yapılan konuda yeni bakış açıları, çıkarımlar, sonuç ve öneriler oluşturuldu.

3. BULGULAR

3.1. TRPA1 Kanalları, Hücre Proliferasyonu ve Apoptoz Direnci

Kanser hücreleri, sürekli çoğalma potansiyelini sürdürebilmek için hassas bir Ca^{2+} dengesine gereksinim duyarlar (Clapham, 2007). TRPA1 kanalı aracılığıyla sitozole yönlendirilen Ca^{2+} akışı, hücre sağkalım ve çoğalma yollarını uyarır (Giannaccari et al., 2025; Hu, Song, & Long, 2021). Apoptoza gidişi engelleyen bu süreçte TRPA1 kanalları, Ca^{2+} bağımlı anti-apoptotik proteinlerin aktivasyonunu sağlarken pro-apoptotik kaspaz zincirini baskılamaktadır TRPA1 geni susturulduğunda veya farmakolojik antagonistler ile bloke edildiğinde, kanser hücrelerinde Ca^{2+} dengesi bozularak hücre döngüsü durmakta ve apoptoz tetiklenmektedir (Moccia & Montagna, 2023; Takahashi et al., 2018).

3.2. Redoks Adaptasyonu ve NRF2 - TRPA1 Eksen

Tümör mikroçevresindeki yüksek metabolik hıza ve hipoksiye bağlı olarak sürekli yüksek seviyelerde ROS üretilir. Aşırı ROS birikimi normal hücrelerde sitotoksikite ve apoptoz yaratırken, kanser hücreleri TRPA1 aracılığıyla bu strese karşı koruyucu bir adaptasyon geliştirir (Takahashi et al., 2018; Takahashi et al., 2011). Takahashi ve arkadaşları (2018) tarafından yürütülen çalışmada, hücrel redoks yanıtının ana düzenleyicisi olan NRF2 (Nuclear Factor Erythroid Related Factor 2) transkripsiyon faktörünün, TRPA1 gen ekspresyonunu doğrudan kontrol ettiği kanıtlanmıştır. Oksidatif stres altında aktivasyonu artan NRF2, klasik antioksidan enzimleri indüklemenin yanı sıra TRPA1 ekspresyonunu da belirgin şekilde artırır. TRPA1 kanalı üzerinden giren Ca^{2+} ise anti-apoptotik programları devreye sokarak hücrelerin yüksek ROS ortamında canlı kalmasını sağlar (Takahashi et al., 2018). Bu durum, antioksidan sistemlere paralel çalışan ve tümör sağkalımını destekleyen ek bir hücrel savunma hattıdır (Moccia & Montagna, 2023). Ortaya çıkan kanıtlar, Ca^{2+} geçirgen,

seçici olmayan katyon kanalı TRPA1'in kanser hücrelerinde seviyesinin değiştiğini göstermektedir. TRPA1, en yüksek redoks-duyarlı TRP izoformudur ve bu nedenle Ca^{2+} girişini aracılık etme yeteneği, tümör mikroçevresinin yüksek oksidatif stresini hücre içi Ca^{2+} sinyalinde dönüştürür ve bu da kanser hücresinin kaderini dramatik şekilde etkileyebilir. Meme ve akciğer kanserinde, ROS kaynaklı TRPA1 aktivasyonu, antioksidan ve hayatta kalma yollarını aktif hale getiren hücre içi Ca^{2+} salınımlarına yol açar ve bu da kanser hücrelerinin oksidatif strese karşı toleransına yol açar. TRPA1 aracılı Ca^{2+} girişi, karboplatin, doksorubisin ve paklitaksel gibi ROS üreten ilaçlara dayalı prooksidan tedavilere direnç teşvik edebilir. Buna karşın glioblastoma ve nöroblastoma dahil diğer katı malignitelerde, ROS kaynaklı TRPA1 aktivasyonu hücre içi Ca^{2+} seviyesinde kalıcı bir artışa yol açar ve bu da mitokondriyal Ca^{2+} aşırı yüklenmesine ve hasara yol açar, böylece kaspaz-3 aktivasyonu ve apoptotik hücre ölümüne yol açar (Moccia & Montagna, 2023).

3.3. Kemoterapi Direnci ve Kanser Ağrısında TRPA1

TRPA1 kanalları, sadece tümörün biyolojik gidişatını belirlemekle kalmayıp, onkolojik tedavilerin en önemli engellerinden olan ilaç direnci ve yan etki profillerinde de merkezi bir role sahiptir. Meme ve akciğer kanseri modellerinde yapılan in vitro ve in vivo analizler, ROS üreten kemoterapötik ajanların (örneğin paclitaxel, doxorubicin, cisplatin) TRPA1 kanallarını aktive ettiğini ortaya koymuştur. Kemoterapinin yarattığı aşırı ROS yükü normal şartlarda hücreyi ölüme götürürken, TRPA1 eksprese eden dirençli hücrelerde bu durum anti-apoptotik sinyal zincirini tetiklemektedir. TRPA1 kanallarının genetik veya farmakolojik olarak inhibe edilmesi, tümör hücrelerinin kemoterapiye olan duyarlılığını yeniden kazandırmakta ve kemoterapötik ajanlarla kombinasyon halinde tümör hacminde belirgin küçülme sağlamaktadır (Takahashi et al., 2018).

3.4. Kemoterapiye Bağlı Periferik Nöropati ve Kanser Ağrısı

Oksaliplatin ve paclitaxel gibi sitotoksik ilaçların kullanımı, hastaların önemli bir kısmında şiddetli soğuk hiperaljezisi ve mekanik allodini ile seyreden periferik nöropatiye neden olur. Bir çalışmada, platin bileşiklerinin birikimi sonucu dorsal kök ganglionlarındaki nosiseptif nöronlarda hücresel ROS birikiminin arttığı, bunun da TRPA1 kanallarını sürekli açık tuttuğu saptanmıştır. TRPA1 antagonistlerinin uygulanması, deneysel modellerde kemoterapinin antitümör etkisini bozmadan nöropatik ağrı ve soğuk hassasiyetini belirgin şekilde azaltmıştır (Trevisan et al., 2013).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Transient Receptor Potential Ankyrin 1 (TRPA1) iyon kanalı, geleneksel duyuşal nosiseptör tanımının ötesine geçerek, kanser biyolojisinde hücrel redoks adaptasyonu, proliferasyon, migrasyon, anjiyogenez, invazyon ve



kemo-direnç süreçlerini yöneten kritik bir moleküler düzenleyici olarak tanımlanmıştır. Yapılan çalışmalar TRPA1 aktivasyonu ve inhibisyonunun antikanser potansiyelini ortaya koymaktadır (Çakır, Aydın, Türkmenoğlu, & Seçme, 2026; Takahashi et al., 2018). Gelecekte, TRPA1'in farklı kanser tiplerindeki dokuya özgü ekspresyon profillerinin netleştirilmesi, biyobelirteç değerinin klinik çalışmalarla doğrulanması ve spesifik TRPA1 aktivatörlerinin ve inhibitörlerinin farklı kanser türlerindeki etkisi pre-klinik ve klinik araştırmalarla ortaya konulmalı ve böylelikle klinik onkolojiye entegrasyonu hedeflenmelidir.

KAYNAKLAR

- Bandell, M., Story, G. M., Hwang, S. W., Viswanath, V., Eid, S. R., Petrus, M. J., . . . Patapoutian, A. (2004). Noxious cold ion channel TRPA1 is activated by pungent compounds and bradykinin. *Neuron*, 41(6), 849–857. doi:10.1016/s0896-6273(04)00150-3
- Clapham, D. E. (2007). Calcium signaling. *Cell*, 131(6), 1047–1058. doi:10.1016/j.cell.2007.11.028
- Cole, B. A., Chen, H., Rohou, A., & Chen, J. (2026). Structural pharmacology of TRPA1 channel. *Trends Pharmacol Sci*, 47(8), 906–918. doi:10.1016/j.tips.2026.06.003
- Çakır, M., Aydın, A., Türkmenoğlu, B., & Seçme, M. (2026). Pharmacologic Activation of TRPA1 Induces Multi-Target Anticancer Responses via Apoptotic and Mitochondrial Pathways. *Pharmaceuticals (Basel)*, 19(7). doi:10.3390/ph19071080
- Giannaccari, M., Florindi, C., Bloise, N., Moccia, F., Lodola, F., & Visai, L. (2025). TRP channels and cancer modulation: a voyage beyond metabolic reprogramming, oxidative stress and the advent of nanotechnologies in targeted therapy. *J Exp Clin Cancer Res*, 44(1), 240. doi:10.1186/s13046-025-03495-4
- Hanahan, D., & Weinberg, R. A. (2011). Hallmarks of cancer: the next generation. *Cell*, 144(5), 646–674. doi:10.1016/j.cell.2011.02.013
- Hu, F., Song, X., & Long, D. (2021). Transient receptor potential ankyrin 1 and calcium: Interactions and association with disease (Review). *Exp Ther Med*, 22(6), 1462. doi:10.3892/etm.2021.10897
- Macpherson, L. J., Dubin, A. E., Evans, M. J., Marr, F., Schultz, P. G., Cravatt, B. F., & Patapoutian, A. (2007). Noxious compounds activate TRPA1 ion channels through covalent modification of cysteines. *Nature*, 445(7127), 541–545. doi:10.1038/nature05544
- Moccia, F., & Montagna, D. (2023). Transient Receptor Potential Ankyrin 1 (TRPA1) Channel as a Sensor of Oxidative Stress in Cancer Cells. *Cells*, 12(9). doi:10.3390/cells12091261
- Morelli, M. B., & Amantini, C. (2022). Transient Receptor Potential (TRP) Channels: Markers and Therapeutic Targets for Cancer? *Biomolecules*, 12(4). doi:10.3390/biom12040547
- Nilius, B., Owsianik, G., Voets, T., & Peters, J. A. (2007). Transient receptor potential cation channels in disease. *Physiol Rev*, 87(1), 165–217. doi:10.1152/physrev.00021.2006
- Paulsen, C. E., Armache, J. P., Gao, Y., Cheng, Y., & Julius, D. (2015). Structure of the TRPA1 ion channel suggests regulatory mechanisms. *Nature*, 520(7548), 511–517. doi:10.1038/nature14367

- Prevarskaya, N., Skryma, R., & Shuba, Y. (2011). Calcium in tumour metastasis: new roles for known actors. *Nat Rev Cancer*, 11(8), 609–618. doi:10.1038/nrc3105
- Takahashi, N., Chen, H. Y., Harris, I. S., Stover, D. G., Selfors, L. M., Bronson, R. T., . . . Brugge, J. S. (2018). Cancer Cells Co-opt the Neuronal Redox-Sensing Channel TRPA1 to Promote Oxidative-Stress Tolerance. *Cancer Cell*, 33(6), 985–1003.e1007. doi:10.1016/j.ccell.2018.05.001
- Takahashi, N., Kuwaki, T., Kiyonaka, S., Numata, T., Kozai, D., Mizuno, Y., . . . Mori, Y. (2011). TRPA1 underlies a sensing mechanism for O₂. *Nat Chem Biol*, 7(10), 701–711. doi:10.1038/nchembio.640
- Trevisan, G., Materazzi, S., Fusi, C., Altomare, A., Aldini, G., Lodovici, M., . . . Nassini, R. (2013). Novel therapeutic strategy to prevent chemotherapy-induced persistent sensory neuropathy by TRPA1 blockade. *Cancer Res*, 73(10), 3120–3131. doi:10.1158/0008-5472.Can-12-4370

İSKEMİ-REPERFÜZYON HASARI İLE TRANSİENT RECEPTOR POTENTIAL VANİLLOİD 1 KANALLARININ İLİŞKİSİ

Prof. Dr. Murat ÇAKIR¹, Prof. Dr. Tünay KARAN²

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Yozgat, Türkiye.

murat.cakir@yobu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2066-829X.

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Veterinerlik Fakültesi, Genetik Bölümü, Yozgat, Türkiye.

tunay.karan@bozok.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9114-8400.

Özet

İskemi-reperfüzyon (I/R) hasarı; miyokard enfarktüsü, iskemik inme, akut böbrek hasarı, organ transplantasyonu ve çeşitli cerrahi girişimlerde doku hasarının önemli mekanizmalarından biridir. İskemik dokunun yeniden kanlandırılması hücrelerin yaşaması açısından zorunlu olmakla birlikte, reperfüzyon döneminde reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimi, hücre içi kalsiyum iyonu (Ca^{2+}) homeostazının bozulması, mitokondriyal disfonksiyon, inflamatuvar yanıt, endotel hasarı ve farklı hücre ölüm mekanizmalarının aktivasyonu ek doku hasarına neden olabilmektedir. Son yıllarda transient receptor potential vanilloid 1 (TRPV1) kanalının I/R hasarının düzenlenmesindeki rolü giderek daha fazla araştırılmaktadır. TRPV1, Ca^{2+} geçirgen non-selektif bir katyon kanalıdır. kardiyovasküler sistem, böbrek ve merkezi sinir sistemi dahil farklı birçok dokularda TRPV1 varlığı gösterilmiştir. I/R sırasında ortaya çıkan asidoz, oksidatif stres ve endojen lipid mediyatörlerindeki değişiklikler TRPV1 fonksiyonunu etkileyebilecek patofizyolojik koşullar oluşturmaktadır. TRPV1 aktivasyonu özellikle inflamasyon ve oksidatif stresin baskılanması ve hücrel sağkalım sinyallerinin modülasyonu aracılığıyla koruyucu etkiler oluşturabilmektedir.

TRPV1 aktivasyonu çeşitli deneysel I/R modellerinde (Kalp, böbrek, Akciğer ve intestinal); inflamatuvar, apoptotik mekanizmaların ve ferroptozun düzenlenmesiyle ilişkili olarak koruyucu etki göstermiştir. Buna karşılık serebral I/R'de TRPV1'in etkileri daha karmaşık olup; bazı çalışmalarda TRPV1 inhibisyonu veya genetik delesyonu infarkt hacmini ve nörolojik bozukluğu azaltırken, diğer çalışmalarda TRPV1 aktivasyonunun nöroprotektif etkisi olduğu gösterilmiştir.

Burada biz, TRPV1'in I/R hasarındaki rolünü, Ca^{2+} homeostazı, oksidatif stres, mitokondriyal fonksiyon, inflamasyon, hücre ölüm mekanizmaları açısından değerlendirdik. Kalp, böbrek, beyin, akciğer ve intestinal I/R modellerindeki deneysel kanıtlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Transient receptor potential vanilloid 1, iskemi-reperfüzyon, oksidatif stres, inflamasyon, mitokondri.

THE RELATIONSHIP BETWEEN ISCHEMIA-REPERFUSION INJURY AND TRANSIENT RECEPTOR POTENTIAL VANILLOID 1 CHANNELS

Abstract

Ischaemia-reperfusion (I/R) injury is one of the key mechanisms of tissue damage in myocardial infarction, ischaemic stroke, acute kidney injury, organ transplantation and various surgical procedures. Whilst the restoration of blood flow to ischaemic tissue is essential for cell survival, the excessive production of reactive oxygen species (ROS) during the reperfusion period, disruption of intracellular Ca^{2+} homeostasis, mitochondrial dysfunction, the inflammatory response, endothelial damage and the activation of various cell death mechanisms can lead to further tissue damage. In recent years, the role of the transient receptor potential vanilloid 1 (TRPV1) channel in the regulation of I/R injury has been the subject of increasing research.

TRPV1 is a Ca^{2+} -permeable, non-selective cation channel. The presence of TRPV1 has been demonstrated in a wide variety of tissues, including the cardiovascular system, the kidney and the central nervous system. Acidosis, oxidative stress and changes in endogenous lipid mediators that occur during I/R create pathophysiological conditions that may affect TRPV1 function. TRPV1 activation may exert protective effects, particularly through the suppression of inflammation and oxidative stress and the modulation of cellular survival signalling.

TRPV1 activation has demonstrated a protective effect in various experimental I/R models (heart, kidney, lung and intestine), associated with the regulation of inflammatory and apoptotic mechanisms and ferroptosis. In contrast, the effects of TRPV1 in cerebral ischaemia-reperfusion (I/R) are more complex; whilst in some studies TRPV1 inhibition or genetic deletion has been shown to reduce infarct volume and neurological deficit, other studies have demonstrated a neuroprotective effect of TRPV1 activation.

Here, we have evaluated the role of TRPV1 in I/R damage in terms of Ca^{2+} homeostasis, oxidative stress, mitochondrial function, inflammation and cell death mechanisms. Experimental evidence from cardiac, renal, cerebral, pulmonary and intestinal I/R models has been compared.

Keywords: Transient receptor potential vanilloid 1, ischaemia-reperfusion, oxidative stress, inflammation, mitochondria.

1. GİRİŞ

İskemi, bir dokuya giden kan akımının azalması veya tamamen kesilmesi sonucunda oksijen ve metabolik substratların yetersiz kalmasıdır. Uzamış iskemi hücresel Adenozin trifosfat (ATP) üretiminin azalmasına, iyon pompalarının fonksiyon kaybına, hücre içi sodyum iyonu (Na^+) ve kalsiyum iyonu (Ca^{2+}) birikimine, asidoza ve hücresel homeostazın bozulmasına neden olur. İskemik dokunun yeniden kanlandırılması hücrelerin kurtarılması açısından zorunludur; ancak reperfüzyon paradoksal olarak oksidatif stres, inflamasyon, Ca^{2+} yüklenmesi ve mitokondriyal bozukluk gibi mekanizmalar aracılığıyla ek hücresel hasar oluşturabilir (Çakır et al., 2015; Çakır et al., 2019).

Transient receptor potential vanilloid 1 (TRPV1) kanalları, başlangıçta kapsaisin ve zararlı sıcaklığın algılanmasından sorumlu nosiseptif bir iyon kanalı olarak tanımlanmıştır. Kanalin Ca^{2+} geçirgen non-selektif katyon kanalı olması ve protonlar, sıcaklık, endojen lipid mediyatörleri ve çeşitli hücresel sinyal mekanizmaları tarafından modüle edilebilmesi, TRPV1'i iskemi reperfüzyon (I/R) hasarı açısından ilgi çekici hale getirmiştir. Özellikle iskemi sırasında gelişen asidoz ve reperfüzyonda meydana gelen oksidatif/metabolik değişiklikler TRPV1 fonksiyonunun değişebileceği bir mikroçevre oluşturmaktadır (Randhawa & Jaggi, 2018). TRPV1'in I/R'deki rolüne ilişkin ilk çalışmaların önemli bölümü kardiyovasküler sistem üzerinde yoğunlaşmıştır. TRPV1 pozitif duyuşal sinirlerin, miyokard ve vasküler yapılarıdaki dağılımı ve bu sinirlerin aktivasyonu sonucunda kalsitonin geni ilişkili peptid (CGRP) ve substance P (SP) gibi nöropeptidlerin salınması, TRPV1 aracılı kardiyoproteksiyonun temel mekanizmalarından biri olarak tanımlanmıştır (Randhawa & Jaggi, 2018; Vemula, Gautam, Abela, & Wang, 2014). Bununla birlikte TRPV1'in I/R'deki etkileri yalnızca duyuşal nöropeptid salınımıyla sınırlı değildir. Deneysel çalışmalar kanalın oksidatif stres, nitrik oksit (NO) sinyalleme, fosfoinositid 3-kinaz (PI3K) /Akt ilişkili hücresel sağkalım, mitokondriyal fonksiyon, inflamatuvar yanıt, apoptoz ve ferroptoz gibi farklı mekanizmalarla ilişkili olduğunu göstermektedir. Önemli olarak TRPV1'in I/R'deki rolü bütün organlarda aynı değildir. Miyokard ve böbrekteki çalışmaların önemli bir bölümü TRPV1 aktivasyonunun koruyucu olduğunu desteklerken, serebral I/R'de kanalın aşırı Ca^{2+} girişine ve nöronal hasara katkıda bulunabileceğini gösteren veriler bulunmaktadır (Miyanohara, Shirakawa, Sanpei, Nakagawa, & Kaneko, 2015; Vemula et al., 2014). Bu nedenle TRPV1'in I/R'deki etkisi dokuya ve hücre tipine özgü değerlendirilmelidir. Bu yazının amacı TRPV1 kanallarının I/R hasarındaki rolünü güncel ve güvenilir deneysel kanıtlar ışığında değerlendirmek; özellikle kardiyak, renal, serebral, pulmoner ve intestinal I/R modellerindeki sonuçları karşılaştırmak ve TRPV1'in potansiyel terapötik hedef olarak önemini tartışmaktır.

2. YÖNTEM

Bu derleme çalışmasında, TRPV1 kanallarının özellikleri, iskemi-reperfüzyon hasarındaki patolojik süreçlerle ilişkisi, farklı organlarda uygulanan deneysel I/R hasar modellerindeki etkileri araştırıldı. PubMed, Scopus, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarında kapsamlı literatür taraması yapıldı. Yapılan bu taramalarda “Transient receptor potential vanilloid 1”, “iskemi-reperfüzyon”, “oksidatif stres”, “inflamasyon”, “mitokondri” anahtar kelimeleri ve bu anahtar kelimelerin farklı kombinasyonları kullanıldı. Erişilen literatür bilgisine dayanarak bu konuda yeni bakış açıları, çıkarımlar, gelecek perspektifleri, sonuç ve öneriler oluşturuldu.

3. BULGULAR

3.1. İskemi-Reperfüzyon Hasarının Temel Mekanizmaları ve TRPV1

3.1.1. Ca^{2+} Homeostazının Bozulması

İskemi sırasında oksidatif fosforilasyonun azalması ATP yetersizliğine neden olur. ATP bağımlı iyon pompalarının işlevlerinin bozulması hücre içi iyon homeostazını değiştirir. Reperfüzyon sırasında ise hücre içine aşırı Ca^{2+} girişi ve mitokondriyal Ca^{2+} yüklenmesi hücre ölümünün önemli bileşenlerinden biridir (Çakır et al., 2019). TRPV1, yüksek Ca^{2+} geçirgenliğine sahip olması nedeniyle bu süreçle doğrudan ilişkilendirilebilir. Ancak TRPV1 aracılı Ca^{2+} sinyalinin biyolojik sonucu; aktivasyonun şiddetine, süresine ve hücre tipine bağlıdır. Kontrollü TRPV1 aktivasyonu duyuşal sinir uçlarından koruyucu nöropeptidlerin salınmasını tetikleyebilirken, özellikle nöronal dokuda aşırı TRPV1 aktivasyonu Ca^{2+} yüklenmesini artırarak hücre hasarı kolaylaştırabilir. Bu çift yönlülük serebral I/R çalışmalarında belirgin biçimde görülmektedir. Miyanohara ve arkadaşları (2015), 60 dakika orta serebral arter oklüzyonu uygulanan TRPV1 knockout farelerde, nörolojik/motor defisitlerin ve infarkt hacminin azaldığını göstermiştir. İntraserebroventriküler TRPV1 antagonisti kapsazepin uygulaması da serebral kan akımını değiştirmeksizin infarkt hacmini ve nörolojik bozukluğu azaltmıştır (Miyanohara et al., 2015). Bu bulgular en azından bu deneysel serebral I/R modelinde endojen TRPV1 aktivitesinin hasara katkıda bulunabileceğini göstermektedir.

3.1.2. Oksidatif Stres

Reperfüzyonun erken döneminde reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretiminin hızlı artışı lipidler, proteinler, DNA ve mitokondriyal yapılarda hasara neden olabilir (Çakır et al., 2019). TRPV1 ile oksidatif stres arasındaki ilişki ise karşılıklıdır: redoks değişiklikleri TRPV1 fonksiyonunu etkileyebilirken, TRPV1 aktivasyonu da hücre redoks durumunu değiştirebilir (Randhawa & Jaggi, 2018). Kardiyak I/R modelinde Castrejón-Téllez ve arkadaşları (2022), izole perfüze sıçan kalbinde kapsaisinle TRPV1 aktivasyonunun total antioksidan

kapasiteyi artırdığını ve lipid peroksidasyonu ile ilişkili malondialdehit değişikliklerini etkilediğini göstermiştir. Aynı çalışmada kapsaisin postiskemik kardiyak mekanik fonksiyonu iyileştirmiştir. Dolayısıyla TRPV1'in oksidatif stres üzerindeki etkisinin yalnızca doğrudan bir antioksidan mekanizma şeklinde yorumlanması uygun değildir. NO, CGRP, vasküler fonksiyon ve hücre içi Ca^{2+} sinyali gibi birbirleriyle ilişkili mekanizmalar da sürece katılmaktadır. Aynı çalışmada izole perfüze sıçan kalbinde kapsaisin uygulamasının I/R sonrası kardiyak NO, cGMP, tetrahydrobiopterin (BH4), CGRP ve total antioksidan kapasiteyi artırdığını göstermiştir (Castrejón-Téllez et al., 2022). Bu sonuçlar TRPV1 aktivasyonunun kardiyoprotektif etkisinin CGRP ile NO–cGMP sistemi arasındaki etkileşim ve redoks homeostazının düzenlenmesini de içerebileceğini düşündürmektedir.

3.1.3. Mitokondriyal Disfonksiyon

Mitokondriler I/R hasarının temel efektör organellerinden biridir. İskemi sırasında elektron taşıma zincirinin bozulması ve reperfüzyonda hızlı oksijenlenme, ROS üretimi ve mitokondriyal membran fonksiyonunun bozulmasıyla sonuçlanabilir (Ybanez, Ingles, Du Toit, & Peart, 2026). TRPV1 ile mitokondri arasındaki ilişki özellikle kardiyomiyositlerde dikkat çekicidir. Hurt ve arkadaşları (2016), primer kardiyomiyositlerde TRPV1'in mitokondriyal lokalizasyonuna ilişkin kanıtlar bildirmiş ve TRPV1'in calcineurin ile etkileşiminin mitokondriyal membran potansiyelini düzenlediğini göstermiştir. Araştırmacılar TRPV1–calcineurin etkileşimini bozmak amacıyla geliştirdikleri V1-cal peptidini reperfüzyondan hemen önce uyguladıklarında sıçanlarda miyokard infarkt alanında belirgin azalma gözlemişlerdir. Koruyucu etkinin TRPV1 knockout hayvanlarda görülmemesi mekanizmanın TRPV1 bağımlılığını desteklemiştir (Hurt et al., 2016). Bu çalışma önemli bir kavramsal noktaya işaret etmektedir: TRPV1'in terapötik olarak modülasyonu mutlaka kanalın tamamen aktive veya inhibe edilmesi anlamına gelmeyebilir. Kanalın belirli protein–protein etkileşimlerinin değiştirilmesi de I/R hasarını etkileyebilir.

3.1.4. İnflamasyon ve Hücre Ölümü

Reperfüzyonla birlikte hasarlı dokudan salınan tehlike sinyalleri endotel aktivasyonu, lökosit adezyonu, nötrofil infiltrasyonu ve inflamatuvar sitokin üretimini tetikler. TRPV1 aktivasyonunun bazı I/R modellerinde inflamatuvar yanıtı azalttığı bildirilmiştir. Bu etkinin mekanizması organa göre değişebilir. Renal I/R'de nötrofil infiltrasyonunun azalması, pulmoner I/R'de inflamatuvar sitokin ve apoptotik proteinlerin düzenlenmesi, intestinal I/R'de ise ferroptozun baskılanması bildirilmiştir. Dolayısıyla TRPV1'i tek bir “antiinflamatuvar

kanal” olarak değerlendirmek yerine, organ-spesifik hücresel yanıtların düzenleyicisi olarak ele almak daha uygundur (Randhawa & Jaggi, 2018).

3.2. TRPV1, CGRP ve Substance P

TRPV1 aracılı kardiyoproteksiyonun en iyi tanımlanmış mekanizmalarından biri CGRP ve SP salınımıdır. Bu nöropeptidler vasküler tonus, koroner dolaşım ve inflamatuvar yanıt gibi süreçleri etkileyebilir. TRPV1 knockout farelerden elde edilen izole kalplerde I/R sonrası fonksiyonel iyileşmenin vahşi tip (WT) farelere göre daha kötü olduğunu göstermiştir. TRPV1 delesyonu hasarla ilişkili SP salınımını azaltmış ve postiskemik kardiyak iyileşmeyi bozmuştur. Bu bulgular TRPV1'in özellikle duyuşal nöropeptid salınımı üzerinden endojen kardiyoprotektif bir mekanizmaya katkıda bulunduğunu desteklemektedir. TRPV1'in iskemik preconditioning ile oluşan korumaya da katkıda bulunduğu gösterilmiştir. TRPV1 knockout farelerde preconditioning'in postiskemik kardiyak fonksiyon, infarkt alanı ve laktat dehidrogenaz salınımı üzerindeki koruyucu etkisi azalmıştır (Vemula et al., 2014).

3.3. Endovanilloidler ve TRPV1

TRPV1 yalnızca eksojen kapsaisin tarafından değil, bazı endojen lipid mediyatörleri tarafından da aktive edilebilir. Zhong ve Wang (2008), endojen kapsaisin-benzeri lipid N-oleoyldopaminin (OLDA) izole fare kalplerinde I/R sonrası fonksiyonel iyileşmeyi artırdığını göstermiştir. OLDA'nın koruyucu etkisi WT kalplerde gözlenirken TRPV1 knockout kalplerde ortadan kalkmıştır. Ayrıca CGRP reseptör, nörokinin-1 (NK1) reseptör, protein kinaz C (PKC) veya K⁺ kanal blokajı OLDA'nın koruyucu etkisini engellemiştir. OLDA tedavisiyle SP ve CGRP salınımının artması da bu mekanizmayı desteklemiştir (Zhong & Wang, 2008). Bu sonuç TRPV1'in I/R sırasında yalnızca farmakolojik olarak manipüle edilebilen bir hedef olmadığını, endojen lipid sinyal sistemlerinin de bir bileşeni olabileceğini göstermektedir.

3.4. PI3K/Akt ve Apoptoz

TRPV1'in kardiyoprotektif etkileri nöropeptid salınımının yanında hücresel sağkalım sinyalleriyle de ilişkilendirilmiştir. TRPV1 aktivasyonunun I/R sonrası kardiyomiyosit apoptozunu azalttığı ve bu etkinin PI3K/Akt sinyal sistemiyle ilişkili olduğu bildirilmiştir. TRPV1 knockout ve WT fare kalplerinin kullanıldığı çalışmada TRPV1 varlığının daha düşük infarkt alanı ve apoptozla ilişkili olduğu; PI3K inhibitörü LY294002'nin koruyucu etkiyi azaltması PI3K/Akt yolunun TRPV1 aracılı kardiyoproteksiyona katkıda bulunduğunu desteklemiştir (Jiang et al., 2018). Bu bulgular kardiyak I/R'de TRPV1'in etkisinin hücre içi sağkalım mekanizmalarını içerdiğini göstermektedir.

3.5. TRPV1'in İskemi-Reperfüzyon Hasarındaki Etkisini Konu alan Araştırmalar

3.5.1. Kardiyak İskemi-Reperfüzyon Hasarında TRPV1

Kardiyak literatür genel olarak TRPV1'in koruyucu rolünü desteklese de kanalın yalnızca “ne kadar fazla aktive edilirse o kadar koruyucu” olduğu sonucuna varmak doğru değildir. Hurt ve arkadaşlarının (2016) mitokondriyal TRPV1–calcineurin etkileşimini hedefleyen çalışması, reperfüzyon hasarının kanalın spesifik moleküler etkileşimlerinin değiştirilmesiyle azaltılabileceğini göstermektedir (Hurt et al., 2016). Dolayısıyla kardiyak TRPV1'in duysal sinirlerdeki, vasküler yapılarıdaki ve kardiyomiyositlerdeki etkilerinin birbirinden ayrılması gelecekteki çalışmalar açısından önem taşımaktadır.

3.5.2. Renal İskemi-Reperfüzyon Hasarında TRPV1

Renal I/R; majör cerrahi girişimler, şok, renal transplantasyon ve çeşitli hemodinamik bozukluklarda akut böbrek hasarının önemli nedenlerinden biridir (Cakir et al., 2015). Böbrek TRPV1 pozitif duysal sinirler açısından zengin bir organdır ve bu innervasyon renal vasküler ve inflamatuvar yanıtların düzenlenmesinde rol oynayabilir. Chen ve arkadaşları (2014), renal I/R hasarında TRPV1'in rolünü farmakolojik ve genetik yaklaşımları birlikte kullanarak araştırmıştır. Farelerde 25 dakika renal iskemisi ve 24 saat reperfüzyon uygulanmış; TRPV1 agonisti kapsaisin, TRPV1 antagonisti kapsazepin ve TRPV1 knockout modeli karşılaştırılmıştır. Kapsaisin ön tedavisi serum kreatinin düzeylerini azaltmış, histolojik tübüler hasarı hafifletmiş, renal NGAL düzeyini ve Ly-6B.2 pozitif polimorfonükleer inflamatuvar hücre infiltrasyonunu azaltmıştır. Bu çalışmanın başka önemli bir sonucu, TRPV1 antagonizmasının veya genetik TRPV1 eksikliğinin renal I/R hasarını belirgin biçimde kötüleştirmemiş olmasıdır şeklinde yorumlanamaz. Bu durum farmakolojik TRPV1 aktivasyonunun bu modelde renoprotektif etki oluşturduğu, ancak kanal kaybının veya inhibisyonunun aynı ölçüde ters etki üretmediğidir (Chen et al., 2014). Renal I/R'nin uzun dönem sonuçları açısından da TRPV1 dikkat çekicidir. Deneysel veriler renal I/R sonrasında gelişebilen sempatik aktivite ve tuza duyarlı hipertansiyonun TRPV1 aktivasyonu ile değiştirilebildiğini göstermektedir. Kapsaisinle TRPV1 aktivasyonunun renal sempatik sinir aktivitesini baskılayarak I/R sonrasında artmış tuz duyarlılığını azalttığı bildirilmiştir (Yu, Ma, & Wang, 2020). Bu durum TRPV1'in renal I/R'deki etkilerinin yalnızca akut tübüler hasarla sınırlı olmayabileceğini düşündürmektedir.

3.5.3. Serebral İskemi-Reperfüzyon Hasarında TRPV1

Serebral I/R, TRPV1 açısından diğer organlardan farklı ve özellikle dikkatli değerlendirilmesi gereken bir alandır. Nöronların Ca^{2+} yüklenmesine yüksek duyarlılığı ve TRPV1'in Ca^{2+} geçirgenliği nedeniyle kanal

aktivasyonunun nöroprotektif ve nörotoksik etkileri farklı deneysel koşullarda ortaya çıkabilir. Miyanohara ve arkadaşları (2015), transient fokal serebral iskemi modelinde TRPV1 knockout farelerin WT farelere göre daha düşük infarkt hacmi ve daha hafif nörolojik/motor defisit gösterdiğini bildirmiştir. İntraserebroventriküler kapsazepin uygulaması da WT farelerde infarkt hacmini ve nörolojik bozukluğu azaltmıştır. Kapsazepinin koruyucu etkisinin TRPV1 knockout farelerde görülmemesi, etkinin TRPV1 bağımlılığını desteklemiştir. İlginç olarak TRPV1 knockout ile WT fareler arasında Iba1 pozitif mikrogliya/makrofaj, GFAP pozitif astrosit veya Gr1 pozitif nötrofil sayılarındaki iskemi sonrası artış açısından belirgin fark saptanmamıştır. Dolayısıyla bu modelde TRPV1'in zararlı etkisinin basitçe glial veya nötrofil infiltrasyonundaki artışla açıklanması mümkün değildir (Miyanohara et al., 2015). Bununla birlikte serebral I/R'de TRPV1 agonizmasının da koruyucu sonuç oluşturabildiği deneysel bir yaklaşım bulunmaktadır. Cao ve arkadaşları (2014), TRPV1 agonisti dihidrokapsaisin kullanarak farmakolojik hipotermi oluşturmuştur. Dihidrokapsaisin WT farelerde vücut sıcaklığını yaklaşık 33°C'ye düşürürken TRPV1 knockout farelerde bu etki ortaya çıkmamıştır. Fokal serebral I/R'de reperfüzyondan sonra başlatılan TRPV1 agonisti aracılı hipotermi infarkt hacmini azaltmış ve nörolojik sonuçları iyileştirmiştir (Cao, Balasubramanian, & Marrelli, 2014). Bu iki çalışma aslında doğrudan çelişkili olmak zorunda değildir. Miyanohara ve arkadaşlarının (2015) çalışması beyin TRPV1 aktivitesinin lokal iskemi hasarına katkısını değerlendirirken, Cao ve arkadaşlarının (2014) yaklaşımında TRPV1 agonizmasının sistemik termoregülatuar etkisi kullanılarak terapötik hipotermi oluşturulmaktadır. Dolayısıyla ikinci çalışmadaki nöroproteksiyon, nöronal TRPV1'in doğrudan aktivasyonunun yararlı olduğunu kanıtlamaz. Serebral I/R bu nedenle, TRPV1 çalışmalarında hedef hücre ile sistemik fizyolojik etkinin ayrılması gerektiğini gösteren önemli bir örnektir.

3.5.4. Pulmoner İskemi-Reperfüzyon Hasarında TRPV1

Pulmoner I/R; akciğer transplantasyonu, pulmoner tromboendarterektomi ve çeşitli kardiyopulmoner cerrahi durumlarda önemli klinik sonuçlara yol açabilir. Endotel ve epitel hasarı, artmış vasküler permeabilite, ödem, inflamatuvar sitokin üretimi ve hücre ölümü pulmoner I/R patogenezinin önemli bileşenleridir. Li ve arkadaşları (2018), WT ve TRPV1 knockout farelerde sol pulmoner hilusun bir saat klempelenmesi ve iki saat reperfüzyon uygulanmasıyla oluşturulan modelde TRPV1 ile $\alpha 7$ nikotinik asetilkolin reseptörü ($\alpha 7$ nAChR) arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. TRPV1 agonisti kapsaisin pulmoner I/R hasarını azaltırken, TRPV1 veya $\alpha 7$ nAChR'nin farmakolojik inhibisyonu bu koruyucu etkiyi zayıflatmıştır. Çalışmada kan gazları, akciğer yaş/kuru ağırlık oranı, histopatolojik hasar, IL-1 β , IL-6 ve TNF- α ile apoptoz ilişkili caspase, Bax ve Fas gibi göstergeler

değerlendirilmiştir. Bulgular TRPV1 aktivasyonunun pulmoner I/R'deki koruyucu etkilerinin en azından kısmen $\alpha 7nAChR$ ilişkili antiinflamatuvar mekanizmalarla bağlantılı olabileceğini desteklemektedir (Li, Xu, Cheng, & Wang, 2018). Bununla birlikte bu veriler deneysel hayvan modellerinden elde edilmiştir. TRPV1 agonizmasının insan akciğer transplantasyonunda primer greft disfonksiyonunu veya diğer pulmoner I/R komplikasyonlarını azalttığına ilişkin klinik etkinlik bu çalışmalarla gösterilmiş değildir.

3.5.5. İntestinal İskemi-Reperfüzyon Hasarında TRPV1

İntestinal I/R hasarı mezenterik iskemi, şok, travma, intestinal transplantasyon ve kardiyopulmoner bypass gibi klinik durumlarda gelişebilir. Barsak epitel bariyerinin bozulması lokal hasarın yanında sistemik inflamasyon ve uzak organ hasarını da kolaylaştırabilir. İntestinal I/R açısından TRPV1 ile ilgili en dikkat çekici mekanizmalardan biri ferroptozdur. Ferroptoz demire bağımlı lipid peroksidasyonu ile karakterize düzenlenen hücre ölüm biçimidir. Deng ve arkadaşları (2021), fare intestinal I/R modeli ile ileal organoid hipoksi/reoksijenasyon modelini birlikte kullanarak bağırsak mikrobiyotası metaboliti capsiate'in etkilerini incelemiştir. Capsiate intestinal I/R ile ilişkili ferroptotik hasarı azaltmış ve glutathione peroxidase-4 (GPX4) ekspresyonunu artırmıştır. TRPV1 antagonisti JNJ-17203212, capsiate'in GPX4 ekspresyonunu artırıcı ve ferroptozu baskılayıcı etkisini ortadan kaldırmıştır. Ayrıca GPX4 inhibitörü RSL3 de capsiate'in koruyucu etkisini engellemiştir (Deng et al., 2021). Bu sonuçlar capsiate-TRPV1-GPX4 ekseninin intestinal I/R sırasında ferroptozun düzenlenmesine katkıda bulunabileceğini desteklemektedir.

3.6. TRPV1'in Terapötik Hedef Olarak Değerlendirilmesi

Mevcut deneysel literatür TRPV1'in I/R hasarında farmakolojik olarak hedeflenebilecek bir molekül olduğunu desteklemektedir. Ancak veriler global TRPV1 agonizmasının bütün I/R durumlarında uygun bir yaklaşım olacağını göstermemektedir. Kalpte TRPV1 aktivasyonunun CGRP/SP, NO-cGMP, PI3K/Akt ve mitokondriyal mekanizmalar üzerinden koruyucu olabileceğine ilişkin güçlü prelinik kanıt bulunmaktadır. Böbrek, akciğer ve bağırsak çalışmalarında da agonist temelli koruyucu sonuçlar bildirilmiştir. Buna karşılık serebral I/R'de, lokal TRPV1 inhibisyonunun koruyucu olması organ-spesifik farklılığı açıkça göstermektedir. Ayrıca farmakolojik özgüllük önemli bir sorundur. Kapsaisin ve kapsazepin gibi klasik TRPV1 agonist ve antagonistlerinin etkilerinin, yalnızca tek bir hedef üzerinden gerçekleştiği varsayılmamalıdır. Bu nedenle TRPV1 knockout modelleri, hücre-spesifik genetik manipülasyonlar ve daha seçici farmakolojik araçlarla hedef doğrulaması yapılması önemlidir. TRPV1'in fizyolojik termoregülasyon ve nosisepsiyondaki rolü de sistemik tedavi geliştirilmesini etkileyebilmektedir. Bu nedenle gelecekte global agonist veya antagonistlerden çok organ/hücre

hedefli ilaç taşıma sistemleri, TRPV1'in belirli protein etkileşimlerinin modülasyonu veya belirli sinyal yollarına yönlendirilmiş farmakolojik yaklaşımlar daha uygun olabilir. İnsanlara translasyon açısından ise kanıtlar halen yetersizdir. Mevcut literatürün büyük bölümü izole organ, hücre kültürü ve deneysel hayvan I/R modellerine dayanmaktadır. Bu nedenle TRPV1 agonizması veya antagonizmasının miyokard enfarktüsü, iskemik inme, renal I/R veya organ transplantasyonunda klinik olarak etkili bir I/R tedavisi olduğu sonucuna varılamaz.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

TRPV1 kanalları iskemi-reperfüzyon hasarında Ca^{2+} sinyalleme, duyuşal nöropeptid salınımı, vasküler fonksiyon, oksidatif stres, inflamasyon, mitokondriyal homeostaz ve düzenlenmiş hücre ölüm mekanizmalarının kesişiminde bulunan önemli moleküler düzenleyicilerdir. Sonuç olarak TRPV1'i I/R hasarında evrensel olarak “koruyucu” veya “zararlı” bir kanal şeklinde sınıflandırmak uygun değildir. Kanalin biyolojik sonucu; organ, hücre tipi, subselüler lokalizasyon, aktivasyonun şiddeti ve süresi, iskemi/reperfüzyon evresi ve ilişkili olduğu sinyal mekanizmalarına bağlı görünmektedir. Gelecekte hücre tipine özgü genetik modeller, daha seçici TRPV1 modülatörleri ve insan temelli translasyonel çalışmalar TRPV1'in I/R hasarında gerçek terapötik değerinin belirlenmesi açısından daha önemli veriler ortaya koyacaktır.

COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF THE ELECTRONIC AND REACTIVITY PROPERTIES OF 2-ACETYLTHIOPHENE-N-ETHYL THIOSEMICARBAZONE

Prof. Dr, İbrahim İsmet ÖZTÜRK¹ / Dr. Öğr. Üyesi, Okan UÇAR²

¹Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry,
iiozturk@nku.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0003-3164-0038

²Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry,
oucar@nku.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0001-5921-3324

Abstract

In this study, the electronic and vibrational properties of 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone (Hatetse) were investigated using Density Functional Theory (DFT). Geometry optimization calculations were performed at the B3LYP/6-31G(d,p) level of theory based on the crystallographic data reported in the literature. The HOMO and LUMO energy values were calculated and used to determine important quantum chemical parameters, including ionization potential, electron affinity, electronegativity, chemical hardness, softness, and electrophilicity index. The HOMO and LUMO energies were found to be -5.505 and -1.856 eV, respectively, with a HOMO–LUMO energy gap of 3.649 eV. These results indicate that the compound possesses good electronic stability and moderate chemical reactivity. In addition, the calculated vibrational frequencies were compared with the experimental FT-IR data available in the literature. A satisfactory agreement was observed between the theoretical and experimental values for the characteristic N–H, C=N, and C=S vibrational modes.

Keywords: Organic Compounds, Thiosemicarbazone, FMOs, Vibrational Calculation

1. INTRODUCTION

Thiosemicarbazones (TSCs) constitute an important class of ligands containing heteroatoms such as nitrogen and sulfur within their molecular structures (Biswas et al., 2022; Enyedy et al., 2011). The presence of nitrogen, oxygen, and sulfur atoms in organic molecules promotes the formation of various intermolecular interactions owing to their high electronegativity and the generation of regions with different polarities within the molecule (Akl et al., 2023; Bimoussa et al., 2022; Pandey et al., 2026). These characteristics have attracted considerable attention toward TSCs in the fields of crystal engineering, supramolecular chemistry, and coordination chemistry (Balakrishnan et al., 2022; Han et al., 2023; Sentürk et al., 2025).

Thiosemicarbazones are versatile ligands possessing N- and S-donor atoms and are capable of exhibiting diverse coordination behaviors due to the presence of additional functional groups in their structures (Lobana et al., 2007). These functional groups enhance the chelating ability and structural flexibility of the ligands, enabling the formation of complexes with a wide variety of metal ions through different coordination modes. Furthermore, intermolecular interactions between TSC molecules contribute to the construction of various supramolecular architectures (Santu et al., 2026; Altıparmak et al., 2025).

The synthesis of thiosemicarbazones is generally achieved through the straightforward and efficient Schiff base condensation reaction (Pandey et al., 2026). In this process, the amino group of a thiosemicarbazide reacts with aldehydes, ketones, or other carbonyl-containing compounds to generate thiosemicarbazone frameworks incorporating an azomethine (C=N) linkage (Ajudiya et al., 2026). The presence of the azomethine bond enables these compounds to exhibit thiol–thione tautomerism (Figure 1). In addition, the diversification of synthetic methodologies and advances in dynamic combinatorial chemistry have facilitated the preparation of a large number of novel thiosemicarbazone derivatives (Kozyra et al., 2023; Choudhury et al., 2026).

In recent years, the integration of crystal structure analysis with advanced computational approaches has enabled the rational design of new ligands and complexes possessing tailored properties. This strategy has improved the understanding of self-assembly processes and has provided greater insight into crystal packing arrangements and physicochemical properties (Lanero et al., 2026). Owing to their structural flexibility, thiosemicarbazones have become valuable building blocks for the development of coordination compounds whose solid-state organization and functional characteristics are governed by a variety of weak intermolecular interactions.

A wide range of non-covalent interactions, including hydrogen bonding, halogen bonding, π - π stacking, van der Waals forces, electrostatic interactions, host-guest interactions, and metallophilic contacts, play important roles in the crystal structures of thiosemicarbazone derivatives (Ujan et al., 2022). These interactions not only influence crystal packing but also significantly affect the chemical reactivity, stability, and supramolecular organization of the compounds (Pasha et al., 2021).

In this context, the calculations of the 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone (Hatetse) compound 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.

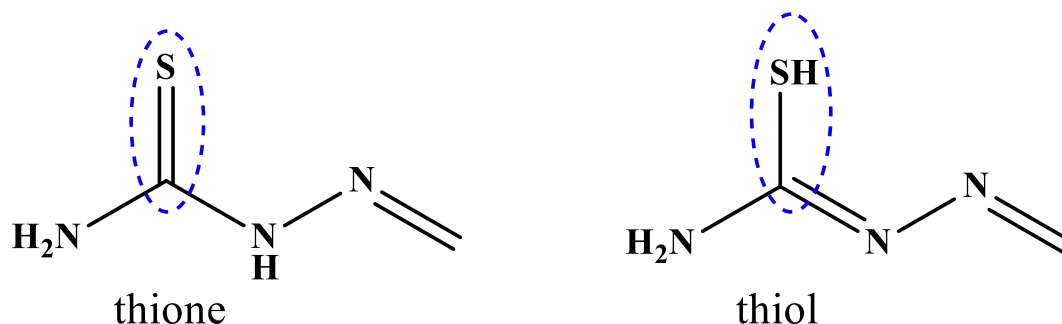


Figure 1. Tautomers of thiosemicarbazones: thione and thiol form

2. MATERIALS AND METHODS

The quantum chemical investigations of 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone were carried out based on the crystallographic information file (CIF) obtained from a previously reported crystal structure (Ozturk et al., 2023). Geometry optimization and electronic structure calculations were performed using the Gaussian 16W program package, and the resulting molecular properties were examined with GaussView 6.0.16. The Density Functional Theory (DFT) method was employed using the B3LYP exchange-correlation functional together with the 6-31G(d,p) basis set, providing a suitable balance between computational cost and accuracy for organic molecular systems (Belazghem et al., 2026). The quantum chemical descriptors were calculated according to the expressions given in Eqs. (1–8) (Abad et al., 2020).

$$I = -E_{HOMO}$$

$$EA = -E_{LUMO}$$

$$\Delta E = E_{HOMO} - E_{LUMO}$$

$$\chi = \frac{I + EA}{2}$$

$$\chi = -\mu$$

$$\eta = \frac{I - EA}{2}$$

$$\sigma = \frac{1}{\eta}$$

$$\omega = \frac{\chi^2}{2\eta}$$

Equations 1–8. Formulae used to calculate the quantum chemical parameters.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Geometric optimization of the compound 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone was performed using the B3LYP functional and the 6-31G(d,p) basis set. The optimized molecular structure of this compound is given in Figure 2. The boundary orbital energy values of the optimized structure were calculated in eV. Using these energy values in the formulas given in Eqs 1-8, the 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) parameters were calculated.

The calculated quantum chemical parameters of 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone (Hatetsc) provide valuable insight into its electronic structure, stability, and chemical reactivity. The HOMO energy was calculated as -5.505 eV. This relatively negative value indicates that the molecule possesses good electronic stability and requires a considerable amount of energy for electron donation. Therefore, Hatetsc can be considered moderately resistant toward oxidation processes. The LUMO energy was found to be -1.856 eV, reflecting the electron-accepting ability of the molecule. The negative LUMO energy suggests that Hatetsc is capable of accepting electrons from surrounding species and participating in charge-transfer processes. This characteristic is particularly important in ligand–metal interactions, where electron transfer plays a crucial role in coordination behaviour.

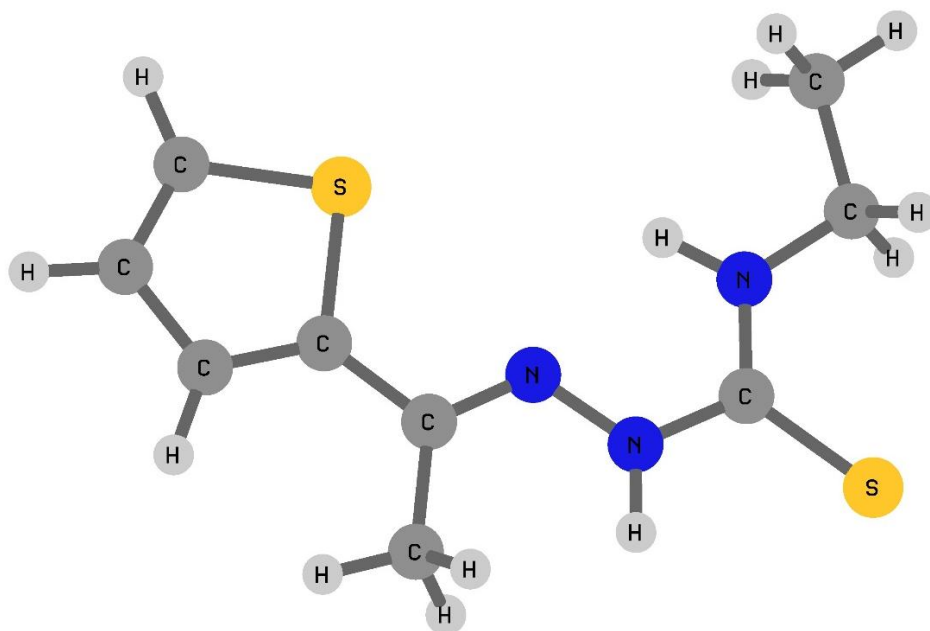


Figure 2. The geometric optimized structure of the 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone (Hatetsc).

The HOMO–LUMO energy gap (ΔE) was determined to be 3.649 eV. This value indicates that the molecule exhibits moderate chemical reactivity together with satisfactory kinetic stability. In general, a smaller HOMO–LUMO energy gap corresponds to higher chemical reactivity, whereas a larger gap is associated with enhanced molecular stability. Accordingly, Hatetsc may be regarded as a relatively stable compound while retaining sufficient reactivity for coordination and intermolecular interactions.

The ionization potential (I) and electron affinity (EA) values were calculated as 5.505 and 1.856 eV, respectively. The relatively high ionization potential confirms the resistance of the molecule toward electron loss, while the electron affinity value demonstrates its tendency to accept electrons from neighboring species. These results further support the dual electron-donor and electron-acceptor characteristics of the ligand.

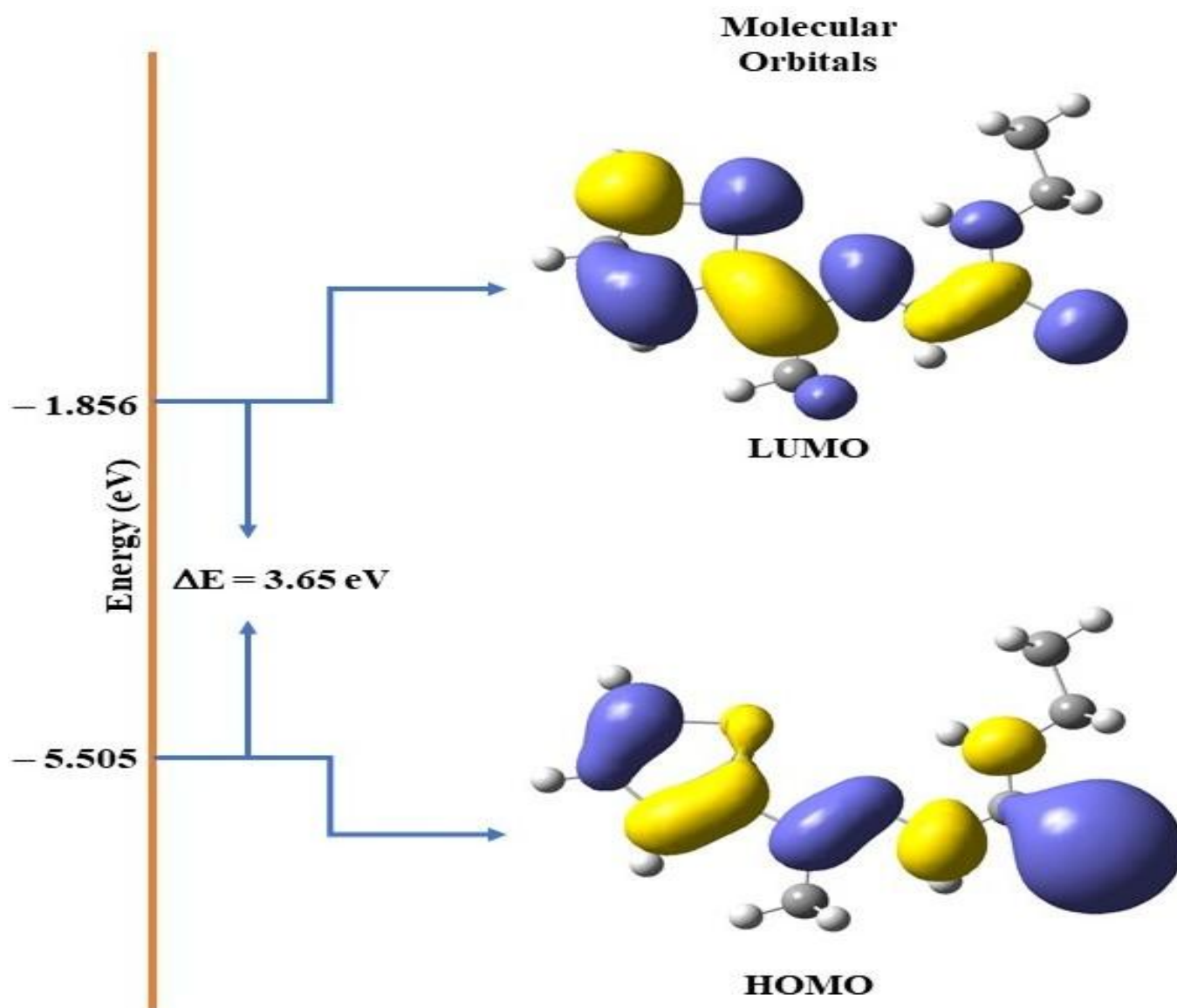


Figure 3. The frontiers molecular orbital of the 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone (Hatetsc).

The global hardness (η) and softness (σ) values were found to be 1.824 eV and 0.548 eV⁻¹, respectively. Chemical hardness is a measure of the resistance of a molecule toward charge transfer, whereas softness reflects the ease of electron density redistribution. The obtained hardness value suggests that Hatetsc exhibits a moderate resistance to charge transfer, while the corresponding softness value indicates an appreciable degree of polarizability. Such properties may facilitate coordination bond formation with metal ions and promote intermolecular interactions in the solid state.

Table 1. The quantum parameters of the 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone (Hatetsc).

Quantum Parameters (eV)	Hatetsc
E_{HOMO}	-5.505
E_{LUMO}	-1.856
ΔE	3.649
I	5.505
EA	1.856
η	1.824
σ	0.548
χ	3.680
μ	-3.680
ω	3.712

The electronegativity (χ) value was calculated as 3.680 eV, indicating a pronounced tendency of the molecule to attract electrons. Consistent with this result, the chemical potential ($\mu = -3.680$ eV) was found to be negative. A negative chemical potential is generally associated with thermodynamic stability and a tendency to accept electron density from the surrounding environment. The electronegativity and chemical potential values collectively suggest that Hatetsc can effectively participate in charge-transfer interactions.

Furthermore, the electrophilicity index (ω) was determined to be 3.712 eV. This relatively high value indicates a significant electrophilic character and a strong tendency to accept electron density from nucleophilic

species. Such behavior may enhance the coordination ability of the ligand toward metal centers and facilitate its involvement in electron-transfer processes. Overall, the calculated quantum chemical parameters reveal that Hatetsc possesses favorable electronic stability, moderate reactivity, and an appreciable charge-transfer capability, making it a promising ligand for coordination chemistry applications.

The infrared spectral features of the compound had previously been reported in the related experimental study available in the literature (Ozturk et al., 2023). According to the experimental FT-IR data, the stretching vibration attributed to the amine N–H group was detected at 3356 cm^{-1} , whereas the azomethine N–H stretching mode appeared at 3132 cm^{-1} (Figure 4). In the theoretical calculations, these vibrational frequencies were predicted at 3234 cm^{-1} and 3124 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 1590 cm^{-1} . In addition, the C=S stretching vibration was experimentally identified as a medium-intensity band at 814 cm^{-1} , and the calculated frequency for the same vibration was determined to be 729 cm^{-1} .

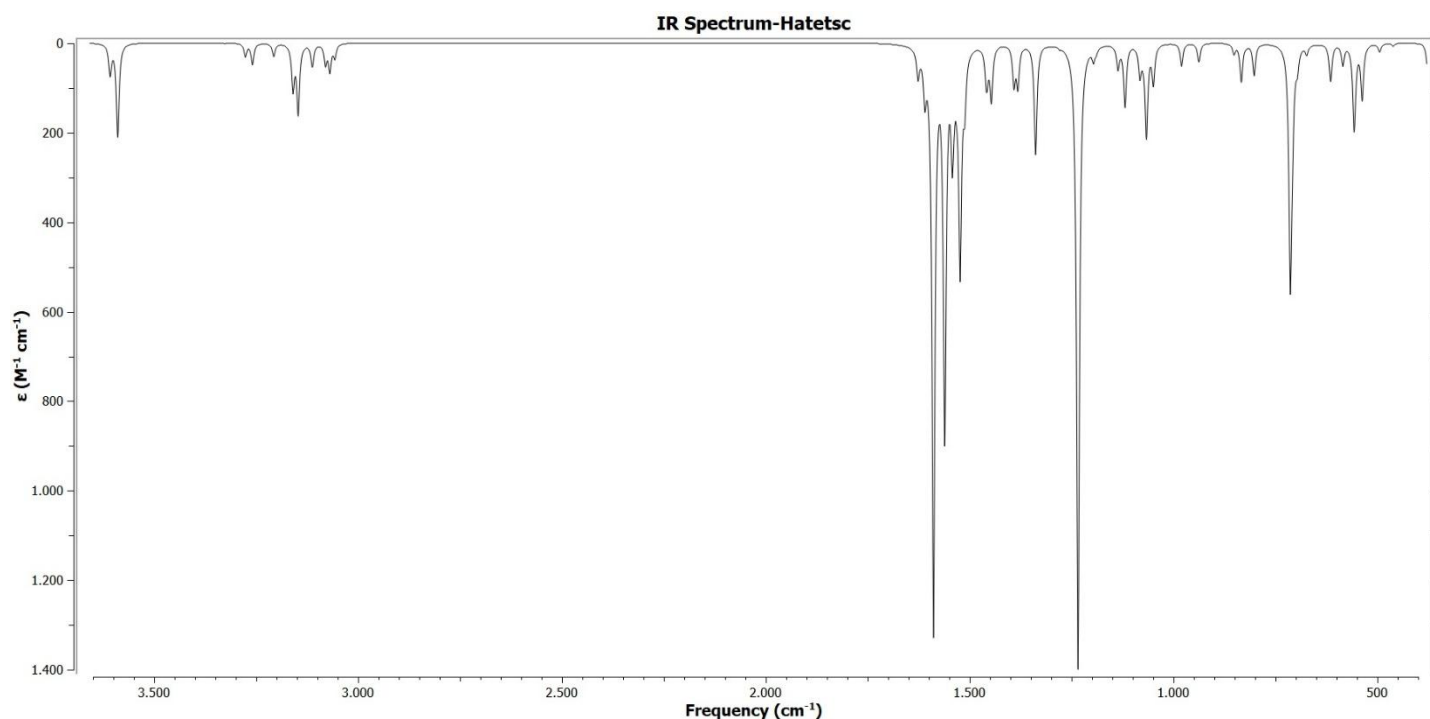


Figure 4. The infrared spectra of 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone (Hatetsc).

4. CONCLUSION DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

In the present study, the electronic structure and quantum chemical properties of 2-acetylthiophene-N-ethyl thiosemicarbazone (Hatetsc) were investigated using the DFT method at the B3LYP/6-31G(d,p) level of theory. The optimized molecular geometry was successfully obtained, and the frontier molecular orbital energies were employed to evaluate several important quantum chemical descriptors, including ionization potential, electron affinity, electronegativity, chemical hardness, softness, chemical potential, and electrophilicity index.

The calculated HOMO and LUMO energy values revealed that Hatetsc possesses good electronic stability together with moderate chemical reactivity. The HOMO–LUMO energy gap of 3.649 eV indicates that the molecule is sufficiently stable while maintaining the ability to participate in charge-transfer processes. The calculated global hardness and softness values further suggest a moderate resistance to charge transfer and an appreciable degree of polarizability, which may facilitate coordination interactions with metal ions. In addition, the relatively high electrophilicity index points to a significant tendency of the molecule to accept electron density from nucleophilic species.

The theoretical vibrational frequencies showed good agreement with the experimental FT-IR data reported in the literature. Characteristic vibrational modes associated with the N–H, azomethine C=N, and C=S groups were successfully reproduced by the calculations, confirming the reliability of the applied computational methodology. Minor deviations between experimental and theoretical frequencies can be attributed to the gas-phase approximation employed in the calculations and the absence of intermolecular interactions present in the solid state.

Overall, the results demonstrate that the B3LYP/6-31G(d,p) approach provides a satisfactory description of both the electronic and vibrational properties of Hatetsc. The obtained findings contribute to a better understanding of the electronic behaviour, stability, and coordination potential of this thiosemicarbazone derivative and may serve as a useful reference for future studies involving its metal complexes and related applications in coordination chemistry.

REFERENCES

- Abad, N., Lgaz, H., Atioglu, Z., Akkurt, M., Mague, J. T., Ali, I. H., Chung, I.-M., Salghi, R., Essassi, E. M., & Ramli, Y. (2020). Synthesis, crystal structure, Hirshfeld surface analysis, DFT computations and molecular dynamics study of 2-(benzyloxy)-3-phenylquinoxaline. *Journal of Molecular Structure*, 1221, 128727. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128727>
- Ajudiya, J. H., Patel, D. M., Pandya, P., Agheda, K., Chakrabarty, B. S., Shah, H., Shah, H., & Shah, M. C. (2026). Computational and biological insights into furan-2-carbaldehyde based thiosemicarbazone and DFT analysis of its Cu(II) complex: XRD, molecular docking, and anticancer activity. *Polyhedron*, 289, 117965. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2026.117965>
- Akl, M. A., Al-Awadhi, M. M. H., & El-Zeny, A. S. (2023). Divalent transition metal complexes of nitrogen, oxygen and sulfur containing ligand: Design, structural, spectral, pH-metric, theoretical molecular modeling, analytical and mechanism studies. *Applied Water Science*, 13, 195. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01988-1>
- Avcu Altıparmak, E., Uğuz Neli, Ö., Bal-Demirci, T., Özdemir, N., & Koca, A. (2025). Thiosemicarbazone structures including nickelophilic interaction as well as both hydrogen bonding and π - π stacking interactions: NLO, electrochemical, chromism, and spectroelectrochemical properties. *ACS Omega*, 10, 49692–49709. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c04784>
- 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>
- 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>
- Bimoussa, A., Koumya, Y., Oubella, A., Kaddouri, Y., Fawzi, M., Laamari, Y., Abouelfida, A., Ait Itto, M. Y., Touzani, R., Benyaich, A., & Auhmani, A. (2022). Synthesis, experimental and theoretical studies of sesquiterpenic thiosemicarbazone and semicarbazone as organic corrosion inhibitors for stainless steel

- 321 in H_2SO_4 1M. *Journal of Molecular Structure*, 1253, 132276. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.132276>
- Biswas, C., Chatterjee, A., Vijayan, V., Purohit, C. S., Kiran, M. S., & Ghosh, R. (2022). Synthesis, structural characterization and selective anticancer activity of $[\text{AgI}(\text{L})(\text{PPh}_3)]_2(\text{NO}_3)_2$ [L = N(4)-substituted 2-acetylpyridine-N(4)-methyl-3-thiosemicarbazone]. *Inorganic Chemistry Communications*, 136, 109178. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.109178>
- Choudhury, R. B., Shahnowaz, T., Mukherjee, S., Baildya, N., Sahin, O., Choudhury, N. A., Roy, S., Kanmazalp, S. D., & Adhikari, S. (2026). From coordination-induced tautomerism to therapeutics: Structural, supramolecular, and antimicrobial insights into a Hg(II)-thiosemicarbazone complex. *Journal of Molecular Structure*, 1360, 145504. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2026.145504>
- Enyedy, É. A., Primik, M. F., Kowol, C. R., Arion, V. B., Kiss, T., & Keppler, B. K. (2011). Interaction of Triapine and related thiosemicarbazones with iron(III)/(II) and gallium(III): A comparative solution equilibrium study. *Dalton Transactions*, 40, 5895–5905. <https://doi.org/10.1039/c0dt01835j>
- Han, Y.-J., Liu, Q.-R., & Xue, L.-W. (2023). Synthesis, characterization and crystal structures of thiosemicarbazones with urease inhibitory activity. *Journal of Structural Chemistry*, 64, 462–473. <https://doi.org/10.1134/S0022476623030113>
- Kozyra, P., Kaczor, A., Karczmarzyk, Z., Wysocki, W., & Pitucha, M. (2023). Experimental and computational studies of tautomerism pyridine carbonyl thiosemicarbazide derivatives. *Structural Chemistry*, 34, 1973–1984. <https://doi.org/10.1007/s11224-023-02152-w>
- 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., Khanna, S., Butcher, R. J., Hunter, A. D., & Zeller, M. (2007). Methyl substituent at C2 carbon of acetophenone thiosemicarbazone induces unusual heterobridging in the $[(\text{Ph}_3\text{P})\text{Cu}(\mu\text{-I})_2(\mu\text{-S-Haptsc})\text{Cu}(\text{PPh}_3)]$ dimer. *Inorganic Chemistry*, 46, 5826–5828. <https://doi.org/10.1021/ic700401h>
- 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>

- Pandey, S., Singh, A. K., Kumar, M., Singh, V. K., & Singh, A. P. (2026). Zn(II)/Cd(II) thiosemicarbazone complexes: Synthesis, structural characterisation, and comparative multifunctional applications. *Inorganica Chimica Acta*, 599, 123229. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2026.123229>
- Pasha, A. R., Khalid, M., Shafiq, Z., Khan, M. U., Naseer, M. M., Tahir, M. N., Hussain, R., Braga, A. A. C., & Jawaria, R. (2021). A comprehensive study of structural, non-covalent interactions and electronic insights into N-aryl substituted thiosemicarbazones via SC-XRD and first-principles DFT approach. *Journal of Molecular Structure*, 1230, 129852. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129852>
- Santu, A., Sreekanth, K., Sarath Josh, M. K., Radhakrishnan, E. K., & Manoj, E. (2026). Unraveling the therapeutic potential of a thiosemicarbazone-based Zn(II) metal–organic triangle complex. *Journal of Materials Chemistry B*, 14, 6643–6664. <https://doi.org/10.1039/D6TB00150E>
- Sentürk, B., Butschke, B., & Eisenreich, F. (2025). Thiosemicarbazones as versatile photoswitches with light-controllable supramolecular activity. *Chemical Science*, 16, 3130–3140. <https://doi.org/10.1039/D4SC08530B>
- Ujan, R., Arshad, N., Perveen, F., Abbas, Q., Channar, P. A., Saeed, A., Farooqi, S. I., Channar, K. A., Hökelek, T., & Flörke, U. (2022). Single crystal, Hirshfeld surface, DFT analyses of (E)-2-(2-chloro-6-fluorobenzylidene)hydrazinecarbothioamide: Elastase inhibition and DNA binding studies. *Journal of Physical Organic Chemistry*, 35, 1–16. <https://doi.org/10.1002/poc.4296>

DENSITY FUNCTIONAL THEORY INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, ELECTRONIC, AND VIBRATIONAL PROPERTIES OF ANTIMONY(III) BROMIDE COMPLEX WITH 2-MERCAPTO-4-METHYLTHIAZOLE

Prof. Dr. İbrahim İsmet ÖZTÜRK¹ / Dr. Öğr. Üyesi, Okan UÇAR²

¹Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, iiozturk@nku.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0003-3164-0038

²Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, oucar@nku.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0001-5921-3324

Abstract

The structural, electronic, and vibrational properties of the previously reported antimony(III) bromide complex $[\text{SbBr}_2(\mu_2\text{-S})(\eta^1\text{-S-Hmmthz})_2]_n$ (Hmmthz = 2-mercapto-4-methylthiazole) were investigated using density functional theory (DFT). The molecular structure was optimized at the B3LYP/LANL2DZ level of theory using the crystallographic structure reported in the literature as the starting geometry. The optimized structure was subsequently examined in terms of its frontier molecular orbitals, global quantum chemical descriptors, infrared vibrational frequencies, and molecular electrostatic potential (MEP) distribution. The calculated HOMO and LUMO energies were found to be -6.56 and -2.85 eV, respectively, giving a HOMO–LUMO energy gap of 3.71 eV. The relatively large energy gap, together with a global hardness of 1.85 eV and a softness of 0.54 eV⁻¹, indicates that the complex possesses considerable electronic stability and limited charge-transfer propensity. The calculated electrophilicity index of 5.97 eV further suggests an appreciable tendency of the complex to accept electron density. Comparison of the calculated and literature-reported experimental FT-IR data showed good agreement, particularly for the C=S stretching vibration, supporting the reliability of the applied computational approach and the proposed coordination behavior. Furthermore, MEP analysis revealed a continuous and balanced electron-density distribution throughout the coordination framework, consistent with the calculated electronic stability of the complex. Overall, the present study provides a detailed theoretical description of the structural, electronic, and vibrational characteristics of this antimony(III) complex and demonstrates the usefulness of DFT calculations in elucidating the bonding and electronic properties of antimony-containing coordination compounds.

Keywords: Coordination Chemistry, Heterocyclic Thioamide, Antimony, DFT Calculat

1. INTRODUCTION

Ligands containing sulfur and nitrogen donor atoms have attracted increasing attention in recent years owing to their unique coordination chemistry with both transition metals and main-group elements (Ozturk et al., 2026; Basuli et al., 2000; Ulchina et al., 2022). The incorporation of heterocyclic moieties, which often exhibit significant biological activities, further enhances the importance and potential applications of these ligand systems (Ozturk et al., 2021; Nadeem et al., 2015; Varna et al., 2019).

Heterocyclic thioamides constitute an important family of compounds that have found widespread use in synthetic chemistry, materials science, and various industrial applications (Bodurlar et al., 2026; Li et al., 2022; Chugh et al., 2022). Owing to prototropic tautomerism, these molecules can adopt both thione (--NH--C(=S)--) and thiol (--N=C(--SH)--) forms in solution, whereas the thione tautomer is predominantly stabilized in the crystalline state. The presence of multiple heteroatom donor sites allows these compounds to exhibit a broad range of coordination behaviors, leading to characteristic structural, chemical, and spectroscopic features (Xanthopoulou et al., 2003).

Ligands containing the mercaptothiazole moiety generally coordinate to metal ions through three different coordination modes. In the resulting metal complexes, these ligands have been reported to exhibit monodentate, bidentate, or sulfur-bridging coordination behavior (Figure 1) (Kumar et al., 2010; Heidari et al., 2020).

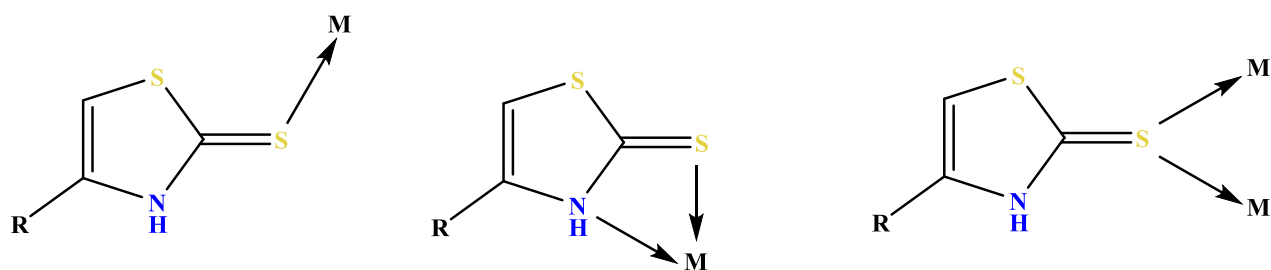


Figure 1. The coordination modes of mercaptothiazole ligands with metal ions.

Compared with the wide variety of complexes reported for transition metals, coordination studies of main-group elements with mercaptothiazole-containing ligands remain relatively limited. In the previously reported bismuth(III) chloride–mercaptothiazole complex, monodentate coordination through the sulfur atom resulted in a square-pyramidal geometry (Imran et al., 2014a). In the present study, antimony, another Group 15 element, was employed as the central metal ion (Ucar et al., 2025). Antimony is a metalloid capable of forming coordination complexes with ligands containing sulfur and nitrogen donor atoms (Wu et al., 2015; Urgut et al.,

2016). According to the Hard and Soft Acids and Bases (HSAB) theory, its affinity toward these donor atoms enables the formation of coordination compounds with diverse and structurally rich architectures (Imran et al., 2014b).

In the present study, the physicochemical and electronic properties of the previously reported $\{[\text{SbBr}_2(\square_2\text{-S})(\square^1\text{-S-Hmmthz})_2]_n\}$ complex (Hmmthz = 2-mercapto-4-methylthiazole, Figure 2), whose molecular structure had been established by spectroscopic characterization, were theoretically investigated. Density functional theory (DFT), one of the most widely employed computational approaches for studying molecular systems, was applied using the Gaussian software package to gain detailed insight into the structural and electronic characteristics of the complex.

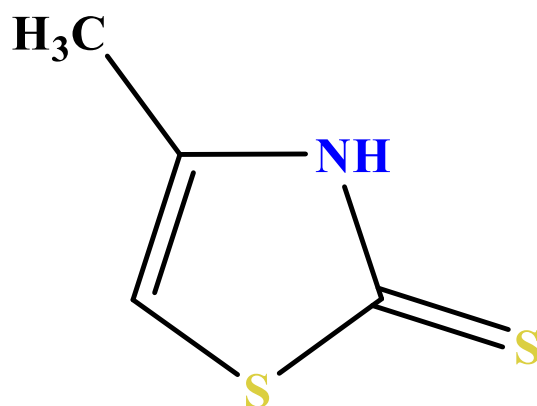


Figure 2. The molecular structure of 2-mercapto-4-methyl-thiazole ligand.

2. METHOD

To gain insight into the structural and electronic characteristics of the antimony complex containing 2-mercapto-4-methyl-thiazole, density functional theory (DFT) calculations were conducted. The starting geometry for the calculations was generated from the crystallographic information file (CIF) available in the literature, and the molecular structure was fully optimized without applying any symmetry restrictions. All quantum chemical computations were performed using the Gaussian 16W program, whereas GaussView 6.0.16 was employed to examine the optimized structures together with the frontier molecular orbitals and related electronic properties. The hybrid B3LYP functional combined with the LANL2DZ basis set was adopted as an appropriate computational approach, offering a good balance between computational efficiency and the accurate description of heavy-element inorganic systems. The energies of the HOMO and LUMO were then used to calculate the global reactivity descriptors, namely the ionization potential, electron affinity, chemical hardness,

chemical softness, electronegativity, chemical potential, and electrophilicity index, following Eqs. (1–8) (Belazghem et al., 2026).

$$\begin{aligned}
 I &= -E_{HOMO} \\
 EA &= -E_{LUMO} \\
 \Delta E &= E_{HOMO} - E_{LUMO} \\
 \chi &= \frac{I + EA}{2} \\
 \chi &= -\mu \\
 \eta &= \frac{I - EA}{2} \\
 \sigma &= \frac{1}{\eta} \\
 \omega &= \frac{\chi^2}{2\eta}
 \end{aligned}$$

Equation 1-8. The formulae of quantum parameters.

3.RESULT AND DISCUSSIONS

The molecular geometry of the antimony complex was optimized at the B3LYP/LANL2DZ level of theory to obtain its lowest-energy stable configuration. The resulting optimized structure is illustrated in Figure 3. Based on this optimized geometry, the energies of the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) were determined in electron volts (eV). These orbital energies were then used to evaluate the global reactivity descriptors according to Eqs. (1–8), including the ionization potential (I), electron affinity (EA), HOMO–LUMO energy gap (ΔE), electronegativity (χ), chemical potential (μ), global hardness (η), global softness (σ), and electrophilicity index (ω).

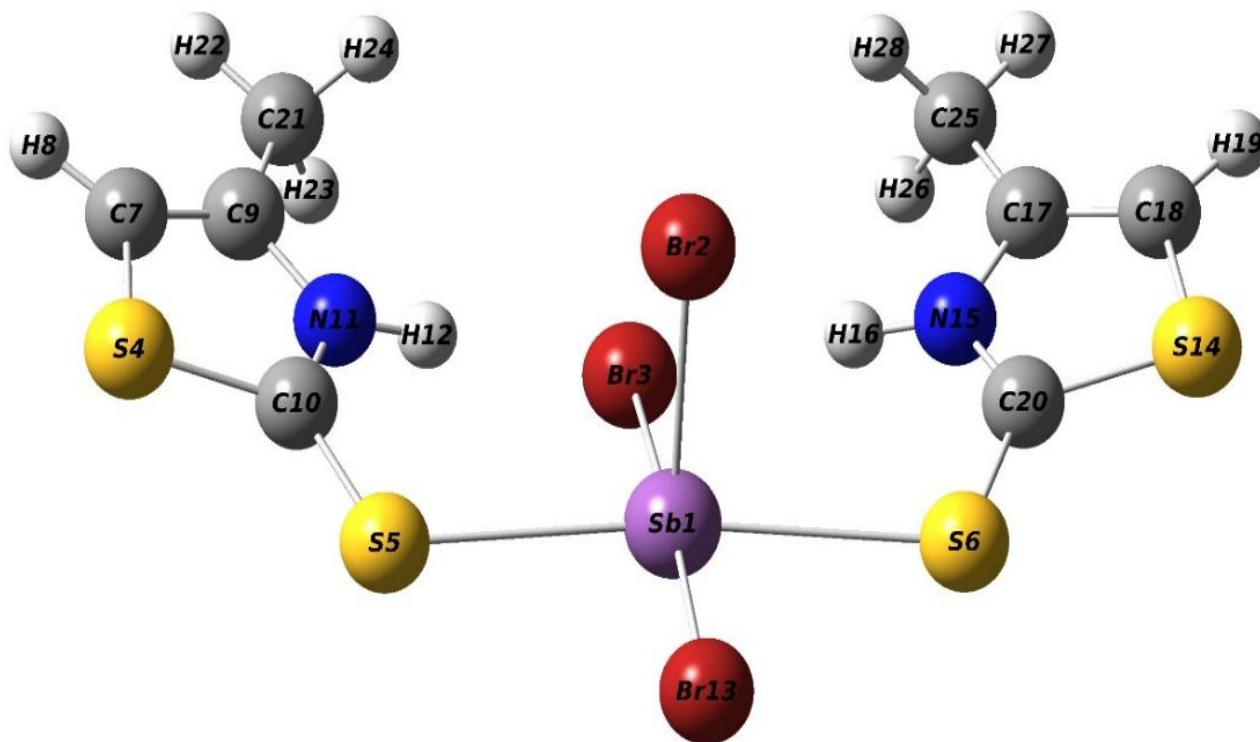


Figure 3. The geometric optimized structure of the antimony complex.

The frontier molecular orbital energies and the derived global quantum chemical descriptors of the Sb complex are presented in Table X. The HOMO energy was calculated as -6.56 eV, while the LUMO energy was found to be -2.85 eV, giving a HOMO–LUMO energy gap (ΔE) of 3.71 eV. The relatively large energy gap indicates that the complex possesses good kinetic stability and moderate chemical reactivity. Molecules with larger HOMO–LUMO gaps generally require higher excitation energy for electron transfer, making them less reactive and more chemically stable.

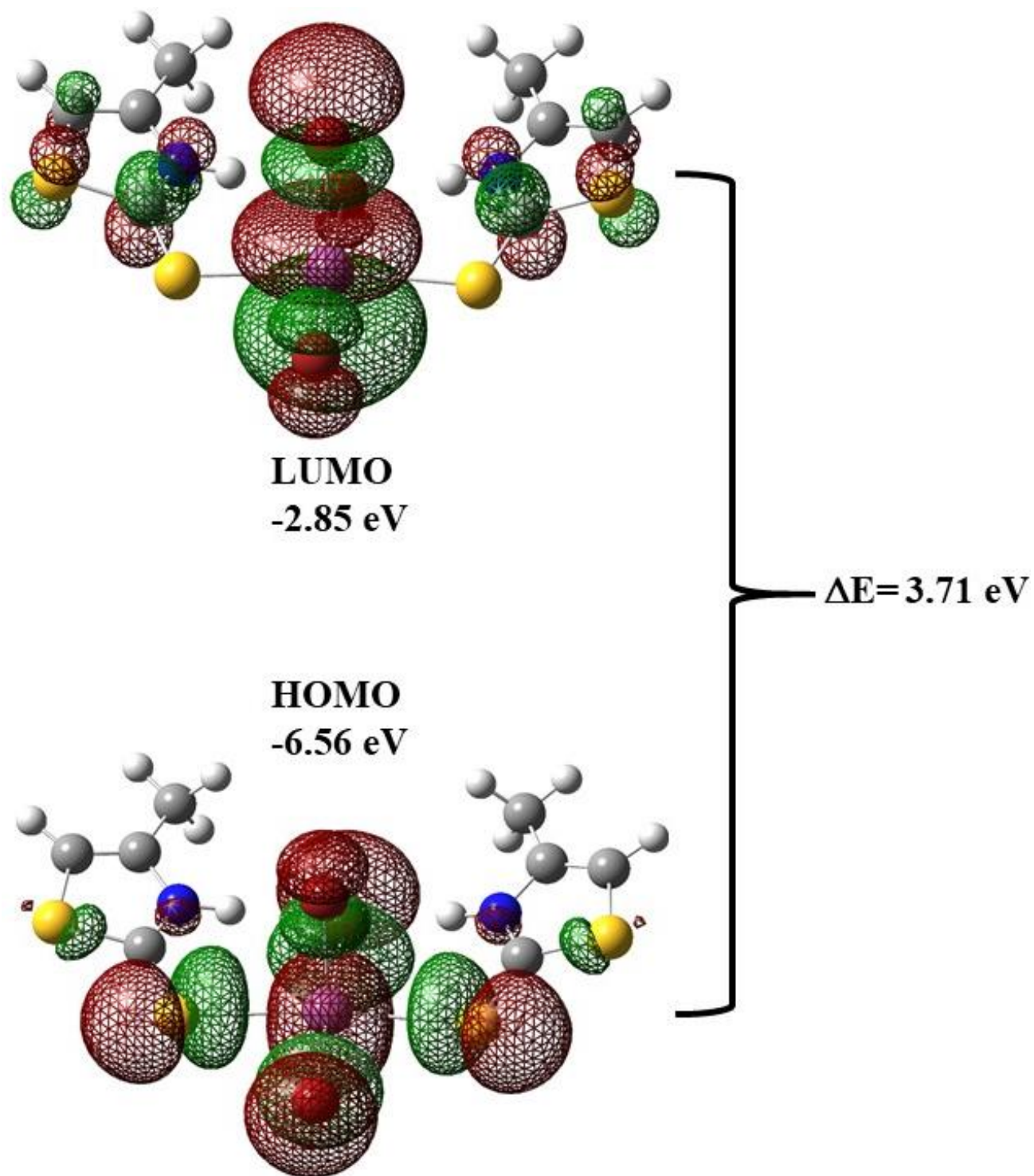


Figure 4. The frontiers molecular orbital of the antimony complex.

The ionization potential ($I = 6.56$ eV) suggests that the removal of an electron from the complex is energetically demanding, reflecting the presence of strongly bound valence electrons. Conversely, the electron affinity ($EA = 2.85$ eV) indicates a moderate tendency of the complex to accept electrons, which may facilitate interactions with suitable electron-donating species.

The global hardness ($\eta = 1.85$ eV) further supports the high stability of the complex. According to the Hard and Soft Acids and Bases (HSAB) principle, compounds with higher hardness values are generally more resistant to charge transfer and structural deformation. In agreement with this observation, the softness value ($\sigma = 0.54$ eV⁻¹) is relatively low, indicating limited polarizability and reduced chemical softness.

The electronegativity ($\chi = 4.70$ eV) demonstrates a considerable ability of the complex to attract electrons, while the chemical potential ($\mu = -4.70$ eV) reflects the thermodynamic tendency of electrons to remain within the molecular framework. The negative chemical potential confirms the thermodynamic stability of the complex and suggests that spontaneous electron loss is unfavorable.

Finally, the electrophilicity index ($\omega = 5.97$ eV) indicates that the Sb complex is a moderately strong electrophile. This value implies that the complex can effectively accept electron density from nucleophilic species, which may be advantageous in coordination chemistry and catalytic or biological interactions involving electron-rich substrates.

Table 1. The quantum parameters of the antimony complex.

Quantum Parameters (eV)	Sb Complex
E_{HOMO}	-6.56
E_{LUMO}	-2.85
ΔE	3.71
I	6.56
EA	2.85
η	1.85
σ	0.54
χ	4.70
μ	4.70
ω	5.97

Infrared spectroscopy is a useful technique for determining the coordination behavior of the thioamide-derived ligand in the antimony complex. The experimental vibrational data obtained from the literature were compared with the theoretical vibrational frequencies calculated using the DFT method. The resulting spectrum is presented in Figure 5, while the selected characteristic vibrational bands are summarized in Table 2. In particular, the C=S stretching vibration associated with coordination exhibits very close agreement between the experimental and theoretical results. This excellent agreement further supports the reliability of the theoretical calculations. In addition, the C=N stretching vibration was experimentally observed at 1490 cm^{-1} , whereas the corresponding theoretical frequency was calculated at 1417 cm^{-1} . The strong N-H stretching band observed at 3207 cm^{-1} , which is an important vibrational feature supporting the neutral coordination mode, indicates that coordination to the antimony center does not occur through the nitrogen atom. Overall, the close correspondence between the experimental and calculated vibrational frequencies supports the proposed coordination mode of the thioamide-derived ligand in the antimony complex.

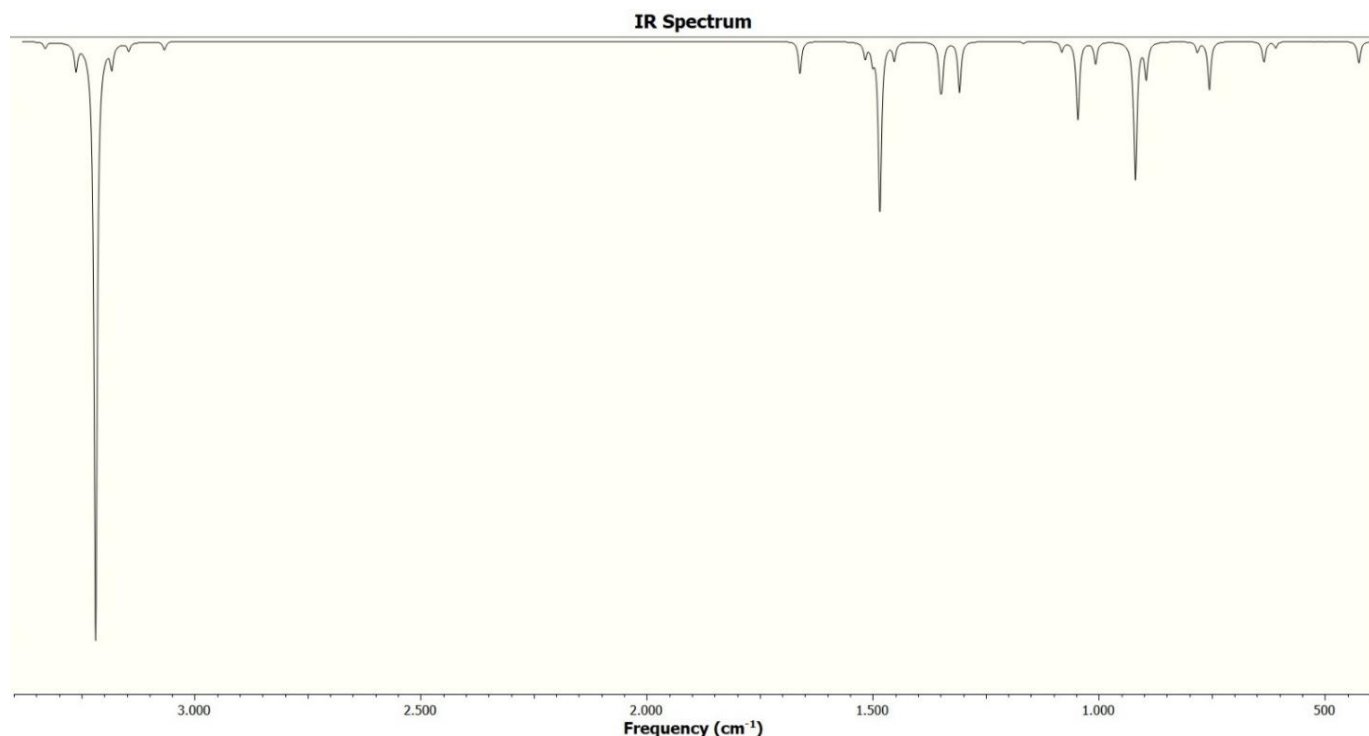


Figure 5. The infrared spectra of the antimony complex.

Table 2. The infrared peaks of the antimony complex (theoretically and experimentally).

Compound	$\nu(\text{N-H})$	$\nu(\text{C=N})$	$\nu(\text{C=S})$
Calculation	3207	1490	771
Experimental	3087	1417	763

Figure 6 shows the optimized three-dimensional electron density surface of the Sb complex. The electron density is distributed continuously over the entire molecular framework, indicating that the complex possesses a compact and well-defined molecular structure. The central antimony atom is coordinated by donor sulfur atoms, while the bromide ligands complete the coordination environment, resulting in a symmetric electron density distribution around the metal center. No isolated regions of excessive electron accumulation or

depletion are observed, suggesting a balanced electronic structure and effective delocalization of electron density throughout the coordination sphere. Such an electron density distribution is consistent with the relatively large HOMO–LUMO energy gap (3.71 eV) and the calculated global hardness (1.85 eV), supporting the electronic stability of the Sb complex.

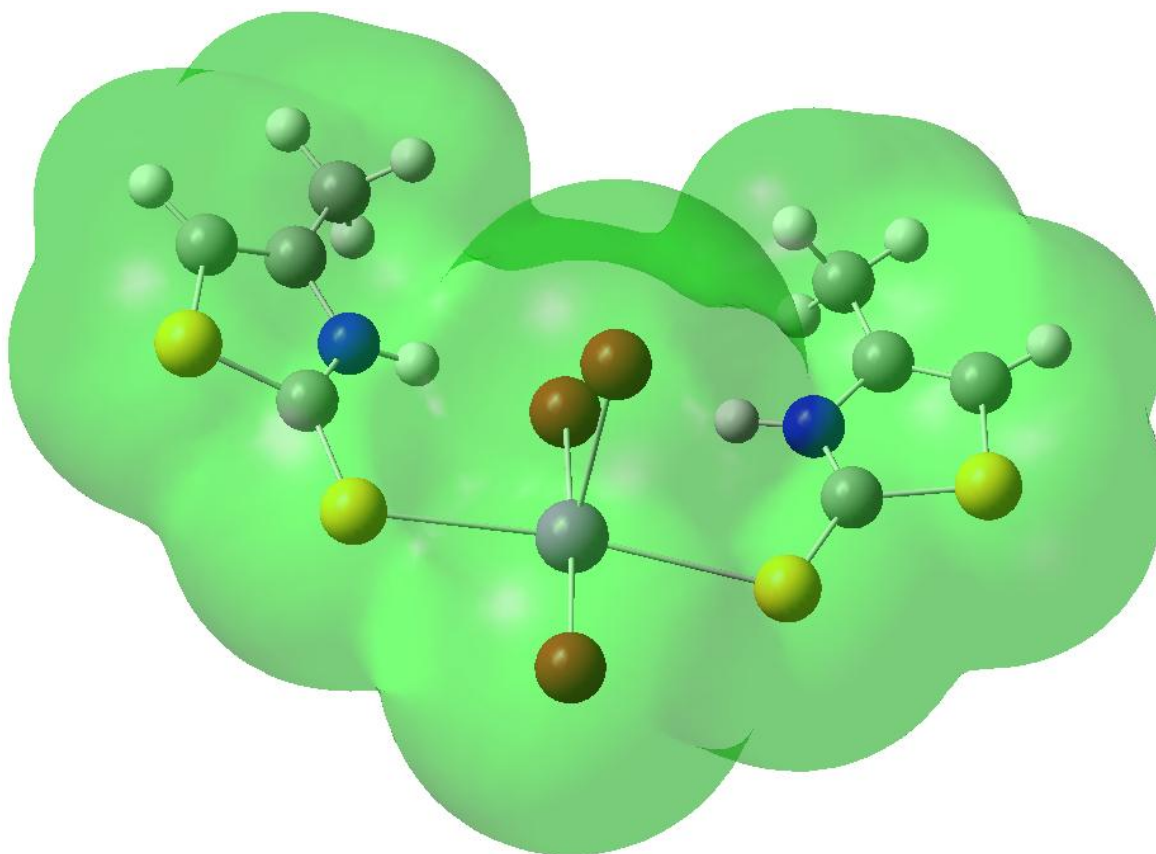


Figure 6. The MEP surface of the antimony complex.

4.CONCLUSION

In the present study, the structural, electronic, and vibrational properties of the previously reported $[\text{SbBr}_2(\mu_2\text{-S})(\eta^1\text{-S-Hmmthz})_2]_n$ antimony(III) bromide complex were investigated using DFT calculations at the B3LYP/LANL2DZ level of theory. Geometry optimization provided a stable structural model for the complex, while the frontier molecular orbital analysis yielded a HOMO–LUMO energy gap of 3.71 eV. The relatively large energy gap, high global hardness (1.85 eV), and low softness (0.54 eV^{-1}) indicate that the complex possesses considerable kinetic and electronic stability. The calculated ionization potential and chemical

potential further support the resistance of the system toward electron loss, whereas the electrophilicity index of 5.97 eV indicates a notable electron-accepting character.

The comparison of the calculated and experimentally reported FT-IR frequencies provided additional support for the theoretical model. In particular, the close agreement observed for the C=S stretching vibration is consistent with the sulfur-based coordination environment around the antimony center. The characteristic N-H stretching vibration also supports the proposed neutral coordination behavior and indicates that the nitrogen atom does not participate directly in coordination to antimony. MEP analysis further demonstrated a continuous electron-density distribution throughout the coordination framework and showed no pronounced localized regions of electron accumulation or depletion.

Overall, the combined structural, quantum chemical, vibrational, and MEP analyses provide a coherent description of the electronic nature and coordination behavior of the antimony(III) complex. The results demonstrate that the B3LYP/LANL2DZ approach can provide useful theoretical insight into the properties of antimony-containing coordination compounds and complement experimentally derived structural and spectroscopic information.

REFERENCES

- Basuli, F., Peng, S.-M., & Bhattacharya, S. (2000). Unusual coordination mode of thiosemicarbazone ligands: A search for the origin. *Inorganic Chemistry*, 39, 1120–1127. <https://doi.org/10.1021/ic991083r>
- 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>
- Bodurlar, Y., Ozturk, I. I., Grześkiewicz, A. M., Kubicki, M., Banti, C. N., & Hadjikakou, S. K. (2026). Structural diversity and bioactivity of antimony(III) complexes with 4-methyl-1,2,4-triazole-3-thiol. *Inorganic Chemistry Communications*, 183, 115915. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2025.115915>
- Chugh, V., Pandey, G., Rautela, R., & Mohan, C. (2022). Heterocyclic compounds containing thiazole ring as important material in medicinal chemistry. *Materials Today: Proceedings*, 69, 478–481. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.150>
- Heidari, L., Ghassemzadeh, M., Fenske, D., Fuhr, O., Saeidifar, M., & Mohsenzadeh, F. (2020). Unprecedented palladium(II) complex containing dipodal 1,3,4-thiadiazole derivatives: Synthesis, structure, and biological and thermal investigations. *New Journal of Chemistry*, 44, 16769–16775. <https://doi.org/10.1039/D0NJ02918A>
- Imran, M., Neumann, B., Stammler, H.-G., Monkowius, U., Ertl, M., & Mitzel, N. W. (2014a). Borate-based ligands with two soft heterocycle/thione groups and their sodium and bismuth complexes. *Dalton Transactions*, 43, 1267–1278. <https://doi.org/10.1039/C3DT52607K>
- Imran, M., Mix, A., Neumann, B., Stammler, H. G., Monkowius, U., Bleckenwegner, P., & Mitzel, N. W. (2014b). Synthesis, structural and photo-physical studies of bismuth(III) complexes with Janus scorpionate and co-ligands. *Dalton Transactions*, 43, 10956–10968. <https://doi.org/10.1039/c4dt00668b>
- 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, G., Xing, Y., Zhao, H., Zhang, J., Hong, X., & Szostak, M. (2022). Chemoselective transamidation of thioamides by transition-metal-free N–C(S) transacylation. *Angewandte Chemie International Edition*, 61. <https://doi.org/10.1002/anie.202200144>

- Nadeem, S., Tirmizi, S. A., Ali, M. I., Ahmad, S., Sirajuddin, M., & Hameed, A. (2015). Synthesis, spectral characterization and in vitro antibacterial evaluation and Petra/Osiris/Molinspiration analyses of new palladium(II) iodide complexes with thioamides. *Alexandria Journal of Medicine*, 52, 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2015.10.003>
- Ozturk, I. I., Sirinkaya, E. T., Cakmak, M., Gürkan, 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>
- 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>
- Ozturk, I. I., Ucar, O., Grześkiewicz, A. M., Kubicki, M., Banti, C. N., & Hadjikakou, S. K. (2026). Antimony(III) complexes of benzaldehyde thiosemicarbazones: Synthesis, structural analysis, and biological evaluation. *Polyhedron*, 285, 117912. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2025.117912>
- Sert, Y. (2025). Exploring the structural and electronic features of quinethazone using DFT. *Bozok Journal of Science*, 3, 60–65. <https://doi.org/10.70500/bjs.1678446>
- 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>
- Ulchina, I., Graur, V., Tsapkov, V., Chumakov, Y., Garbuz, O., Burduniuc, O., Ceban, E., & Gulea, A. (2022). Introducing N-heteroaromatic bases into copper(II) thiosemicarbazone complexes: A way to change their biological activity. *ChemistryOpen*, 11, 1–7. <https://doi.org/10.1002/open.202200208>
- Urgut, O. S., Ozturk, I. I., Banti, C. N., Kourkoumelis, N., Manoli, M., Tasiopoulos, A. J., & Hadjikakou, S. K. (2016). New antimony(III) halide complexes with dithiocarbamate ligands derived from thiuram degradation: The effect of the molecule's close contacts on in vitro cytotoxic activity. *Materials Science and Engineering C*, 58, 396–408. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.08.030>
- Varna, D., Zainuddin, D. I., Hatzidimitriou, A. G., Psomas, G., Pantazaki, A. A., Papi, R., Angaridis, P., & Aslanidis, P. (2019). Homoleptic and heteroleptic silver(I) complexes bearing diphosphane and thioamide ligands: Synthesis, structures, DNA interactions and antibacterial activity studies. *Materials Science and Engineering C*, 99, 450–459. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.01.107>

- Wu, H., Sun, X., Lu, Y., Fang, X., & Li, M. (2015). Palladium(II) and antimony(III) complexes derived from 2-benzoylpyridine N4-phenylthiosemicarbazone: Synthesis, crystal structure, antiproliferative activity, and low toxicity on normal hepatocyte QSG7701 cells. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 45, 1859–1863. <https://doi.org/10.1080/15533174.2013.865230>
- Xanthopoulou, M. N., Hadjikakou, S. K., Hadjiliadis, N., Schürmann, M., Jurkschat, K., Michaelides, A., Skoulika, S., Bakas, T., Binolis, J., Karkabounas, S., & Charalabopoulos, K. (2003). Synthesis, structural characterization and in vitro cytotoxicity of organotin(IV) derivatives of heterocyclic thioamides. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 96, 425–434. [https://doi.org/10.1016/S0162-0134\(03\)00178-8](https://doi.org/10.1016/S0162-0134(03)00178-8)

TETRAGONAL LiVH_4 HİDRÜRÜNÜN YAPISAL, MEKANİK, ELEKTRONİK VE OPTİK DAVRANIŞININ İLK İLKELER YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

Dr., Sümeyra YAMÇIÇIER¹/ Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER²/Prof. Dr., Cihan Kürkcü³

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Yoğun madde fiziği, sumeyrayamcicier@osmaniye.edu.tr, 0000-0002-7772-1258

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Yoğun madde fiziği, cagatayyamcicier@osmaniye.edu.tr, 0000-0003-3033-168X

³Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Yoğun madde fiziği, ckurkcü@ahievran.edu.tr, 0000-0003-3597-1950

Özet

Katı hâlde hidrojen depolama sistemleri, hafif ve yüksek kapasiteli metal hidrürlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu çalışmada, hidrojen depolama adayı LiVH_4 bileşiğinin temel fiziksel özellikleri Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) tabanlı CASTEP kodu kullanılarak geliştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA-PBE) çerçevesinde incelenmiştir. Kristal optimizasyonu sonucunda $P4/mmm$ uzay grubuna sahip tetragonal malzemenin örgü parametreleri $a = b = 2.8644 \text{ Å}$ ve $c = 4.7977 \text{ Å}$ olarak belirlenmiştir. Hesaplanmış negatif oluşum enerjisi (-0.2122 eV/atom), yapının enerjetik açıdan kararlı olduğunu doğrulamaktadır. LiVH_4 , %6.51 gravimetrik ve $168.70 \text{ g H}_2/\text{L}$ hacimsel hidrojen depolama kapasitesi ile uygulama hedefleri açısından kayda değer bir potansiyel sergilemektedir. Elektronik bant yapısı ve durum yoğunluğu (DOS) analizleri, enerji seviyelerinin Fermi düzeyini (E_F) belirgin şekilde kestiğini ve sistemin metalik bir karaktere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Fermi seviyesi civarındaki elektronik katkının baskın olarak $V-d$ orbitalleri ile H-s hibritleşmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Elastik sabitler analizi, yapının Born mekanik kararlılık ölçütlerini sağladığını göstermektedir. Hill yaklaşımına göre polikristal bulk modülü (B) 85.27 GPa , kayma modülü (G) 41.49 GPa ve Young modülü (E) 107.10 GPa olarak elde edilmiştir. Malzemenin B/G oranının 2.05 ve Poisson oranının 0.29 olması, Pugh kriterine göre sünek bir davranışa işaret etmektedir. Tian sertliği 5.67 GPa , ve Debye sıcaklığı 700.73 K olarak hesaplanmıştır. Optik spektrumlar; dielektrik fonksiyonunun düşük enerjilerdeki metalik tepkisini, sıfır frekanstaki yansıtıcılığı ve ultraviyole bölgede genişleyen absorpsiyon davranışını sergilemektedir. Elde edilen tüm veriler, LiVH_4 bileşiğinin hem mekanik kararlılığı hem de yüksek depolama kapasitesi ile ileri düzey hidrojen depolama uygulamalarında güçlü bir aday olduğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler: LiVH_4 , Hidrojen Depolama, DFT, CASTEP, Elastik Sabitler

FIRST-PRINCIPLES INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, MECHANICAL, ELECTRONIC, AND OPTICAL PROPERTIES OF TETRAGONAL LiVH_4

Abstract

Solid-state hydrogen storage systems focus on the development of lightweight, high-capacity metal hydrides. In this study, the fundamental physical properties of the hydrogen storage candidate compound LiVH_4 were investigated using the CASTEP code, which is based on Density Functional Theory (DFT), within the framework of the generalized gradient approach (GGA-PBE). As a result of crystal optimization, the lattice parameters of the tetragonal material with the $P4/mmm$ space group were determined to be $a = b = 2.8644 \text{ \AA}$ and $c = 4.7977 \text{ \AA}$. The calculated negative formation energy (-0.2122 eV/atom) confirms that the structure is energetically stable. LiVH_4 exhibits significant potential for practical applications, with a gravimetric hydrogen storage capacity of 6.51% and a volumetric capacity of 168.70 g H_2/L . Electronic band structure and density of states (DOS) analyses revealed that the energy levels clearly cross the Fermi level (E_F), indicating that the system exhibits a metallic character. It has been determined that the electronic contribution near the Fermi level stems predominantly from the hybridization of V-d orbitals with H-s orbitals. Analysis of the elastic constants shows that the structure satisfies the Born mechanical stability criteria. According to the Hill approximation, the polycrystalline bulk modulus (B) was determined to be 85.27 GPa, the shear modulus (G) 41.49 GPa, and the Young's modulus (E) 107.10 GPa. The material's B/G ratio of 2.05 and Poisson's ratio of 0.29 indicate ductile behavior according to the Pugh criterion. The Tian hardness was calculated to be 5.67 GPa, and the Debye temperature was calculated to be 700.73 K. The optical spectra reveal the metallic response of the dielectric function at low energies, reflectivity at zero frequency, and broadening of the absorption behavior in the ultraviolet region. All the data obtained demonstrate that the LiVH_4 compound is a strong candidate for advanced hydrogen storage applications due to both its mechanical stability and high storage capacity.

Keywords: LiVH_4 , Hydrogen Storage, DFT, CASTEP, Elastic Constants

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi, fosil yakıt rezervlerinin hızla azalması ve iklim değişikliğinin yarattığı çevresel baskılar nedeniyle son on yılda dramatik biçimde artmıştır (Schlabach & Züttel, 2001). Hidrojen, yüksek enerji yoğunluğu (yaklaşık 120 MJ/kg) ve yanma sonucunda yalnızca su açığa çıkarması nedeniyle gelecek vaat eden temiz bir enerji taşıyıcısı olarak öne çıkmaktadır (Züttel, 2003). Bununla birlikte, hidrojeni güvenli, kompakt ve geri alınabilir biçimde depolamak, geniş çaplı pratik uygulamanın önündeki en önemli teknolojik engellerden birini oluşturmaktadır (Durbin & Malardier-Jugroot, 2013).

Hidrojen depolama yöntemleri arasında katı-hal metal hidrürler, artan güvenlik ve yüksek hacimsel kapasite avantajları nedeniyle en kapsamlı biçimde araştırılan seçenekler arasında yer almaktadır (Sakintuna et al., 2007). Bu sistemler, hidrojenin metalik kafes yapıları veya bileşikler içinde kimyasal ya da fiziksel bağlarla tutulması esasına dayanmaktadır. Metal hidrürler için pratik kabul ölçütleri arasında %5,5'in üzerinde gravimetrik ağırlık yüzdesi, yüksek hacimsel hidrojen kapasitesi, düşük sıcaklıkta geri alınabilirlik ve mekanik dayanıklılık yer almaktadır (Orimo et al., 2007).

Lityum bazlı metal hidrürler, düşük atom kütlesi nedeniyle yüksek gravimetrik kapasiteleri ile ön plana çıkmaktadır. Öte yandan vanadyum, geçiş metal hidrürler ailesi içinde iyi bilinen hidrojen absorpsiyon ve desorpsiyon kinetiğiyle ayrı bir önem taşımaktadır (Fukai, 2005). LiVH_4 bileşiği, bu iki avantajı birleştiren yeni nesil tetragonal hidrürler sınıfının bir üyesidir. Ancak bu bileşiğin detaylı ilk-ilkeler hesaplamalarına dayalı kapsamlı fiziksel karakterizasyonu literatürde yeterince incelenmemiştir.

Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT), katı hal malzemelerin elektronik, yapısal ve mekanik özelliklerini yüksek doğrulukla hesaplamak için yaygın biçimde kullanılan kuantum mekanik bir yöntemdir (Kohn & Sham, 1965; Hohenberg & Kohn, 1964). Özellikle GGA-PBE (Perdew, Burke & Ernzerhof) fonksiyoneli, genel amaçlı katı hal hesaplamalarında başarısı kanıtlanmış bir standart yaklaşım olarak kabul görmektedir (Perdew et al., 1996). CASTEP (Cambridge Serial Total Energy Package) yazılımı ise düzlem dalga baz kümesi ve pseudopotansiyel yöntemi kullanarak bu teorik çerçeveyi katı hal sistemlerine verimli biçimde uygulamaktadır (Clark et al., 2005).

Bu çalışmanın amacı, tetragonal LiVH_4 hidrürünün yapısal, mekanik, elektronik ve optik özelliklerini DFT-GGA-PBE çerçevesinde sistematik ve kapsamlı biçimde incelemek; bileşiğin hidrojen depolama kapasitesini hesaplamak ve elde edilen bulguları literatürdeki benzer bileşiklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Çalışma; malzemenin kristal yapı parametrelerini, oluşum enerjisini, Born mekanik kararlılık

ölçütlerini, polikristal elastik modülleri, bant yapısını, durum yoğunluğunu (DOS) ve optik spektrumlarını kapsamakta; böylece bileşiğin enerji depolama malzemesi olarak potansiyelini bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymaktadır.

2. YÖNTEM

Tüm hesaplamalar, CASTEP (Cambridge Serial Total Energy Package) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Clark et al., 2005). Temel teorik çerçeve olarak Kohn–Sham Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi seçilmiş ve değişim-korelasyon fonksiyoneli olarak Perdew–Burke–Ernzerhof (PBE) parametrelili genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA-PBE) uygulanmıştır (Perdew et al., 1996). Düzlem-dalga baz setinin kesme enerjisi 450 eV olarak belirlenmiş; bu değer toplam enerji yakınsaklığı testleriyle ± 0.01 eV/atom hassasiyetinde doğrulanmıştır.

Elektron-iyon etkileşimleri ultrasoft sözde-potansiyeller (USP) ile modellenmiştir (Vanderbilt, 1990). Brillouin bölgesinin örneklenmesi için Monkhorst–Pack k-nokta örgüsü $13 \times 13 \times 8$ olarak seçilmiş ve bu yoğunluk elektron yoğunluğu ile enerjinin k-nokta sayısı açısından yakınsamış olduğunu doğrulamıştır. Elektronik yakınsama ölçütü 10^{-6} eV, kuvvet yakınsaklık ölçütü ise 0.01 eV/Å olarak ayarlanmıştır.

Kristal yapı optimizasyonu, Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) algoritması kullanılarak hem atomik konumlar hem de birim hücre parametreleri eş zamanlı olarak optimize edilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Fischer & Almlof, 1992). Başlangıç yapısı, tetragonal P4/mmm (uzay grubu No. 123) simetrisine uygun olarak hazırlanmıştır; V atomu merkezde (1a: 0,0,0), Li atomları köşelerde (1d: $1/2, 1/2, 1/2$) ve H atomları yüzey pozisyonlarında (2e: $0, 1/2, z$ ve 2f: $1/2, 0, z$) konumlandırılmıştır.

Oluşum enerjisi (E_f), aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$E_f = [E(\text{LiVH}_4) - E(\text{Li}) - E(\text{V}) - 4 \cdot E(\text{H})] / N$$

Burada $E(\text{LiVH}_4)$, $E(\text{Li})$, $E(\text{V})$ ve $E(\text{H})$ sırasıyla bileşiğin ve element atomlarının temel hal toplam enerjilerini; N ise formül birimindeki toplam atom sayısını ifade etmektedir.

Elastik sertlik katsayıları (C_{ij}), gerinim–gerilme (stress-strain) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır; bu yöntemde yapıya küçük homogen gerinim uygulanmakta ve ortaya çıkan gerilme Hooke yasasıyla ilişkilendirilmektedir (Nielsen & Martin, 1985). Tetragonal P4/mmm simetrisine sahip bir kristal için bağımsız elastik sabit sayısı altıdır: C_{11} , C_{12} , C_{13} , C_{33} , C_{44} ve C_{66} . Mekanik kararlılık, Born kriterleri çerçevesinde değerlendirilmiştir (Born, 1940). Voigt, Reuss ve Hill (VRH) ortalama yöntemiyle polikristal bulk modülü (B),

kayma modülü (G) ve Young modülü (E) elde edilmiştir (Hill, 1952). Debye sıcaklığı (θ_D), Anderson yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Anderson, 1963).

Elektronik bant yapısı, Z–A–M– Γ –Z–R–X– Γ yüksek simetri yolu boyunca optimize edilmiş yapı üzerinde hesaplanmıştır. Toplam ve kısmi durum yoğunlukları (TDOS/PDOS), tetrahedron yöntemiyle belirlenmiştir. Optik özellikler, kompleks dielektrik fonksiyonu $\epsilon(\omega) = \epsilon_1(\omega) + i\epsilon_2(\omega)$ üzerinden türetilmiştir; soğurma katsayısı, yansıtıcılık, optik iletkenlik ve kırılma indisi bu fonksiyondan elde edilmiştir (Ambrosch-Draxl & Sofo, 2006).

3. BULGULAR

3.1. Yapısal Özellikler ve Oluşum Enerjisi

Kristal optimizasyonu, LiVH⁴'ün P4/mmm uzay grubuna sahip tetragonal bir simetride kararlı olduğunu ortaya koymuştur. Tablo 1'de özetlenen optimize edilmiş yapısal parametreler, örgü sabitlerini $a = b = 2.8644 \text{ \AA}$ ve $c = 4.7977 \text{ \AA}$ olarak vermektedir; bu değerler $c/a = 1.6749$ oranına karşılık gelmektedir. Birim hücrede toplam 6 atom (1 Li, 1 V, 4 H) bulunmakta olup V atomu tetragonal hücrenin merkezinde, Li atomu köşelerde, H atomları ise V atomuna dört yüzey konumunda komşu durumdadır.

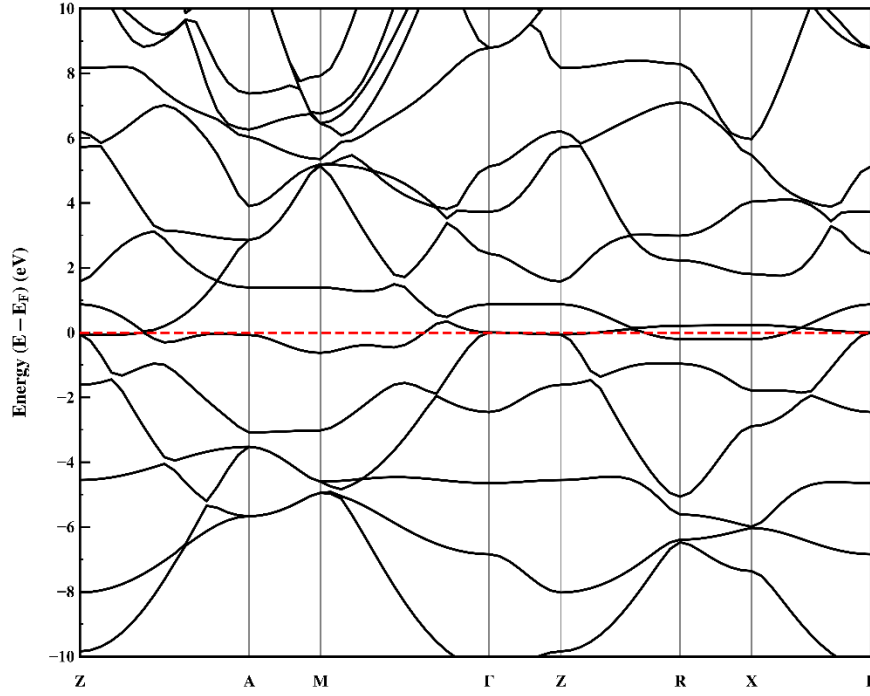
Tablo 1. LiVH₄ bileşiğinin optimize edilmiş yapısal parametreleri.

Uzay Grubu	Kristal Sistemi	a = b (Å)	c (Å)	c/a	E _f (eV/atom)
P ₄ /mmm (No.123)	Tetragonal	2.8644	4.7977	1.6749	–0.2122

Hesaplanmış oluşum enerjisi –0.2122 eV/atom olarak bulunmuş; bu negatif değer, yapının termodinamik açıdan kararlı ve sentez için uygun olduğunu göstermektedir. Benzer Li–M–H (M = geçiş metali) sistemleriyle yapılan karşılaştırmalarda, örneğin LiAlH₄'ün oluşum enerjisi –0.089 eV/atom (Aguayo & Singh, 2004) iken LiVH₄'ün daha negatif değeri, V'nin daha güçlü bir ağ oluşturma eğiliminde olduğuna ve tetragonal yapıyı daha kararlı kıldığına işaret etmektedir.

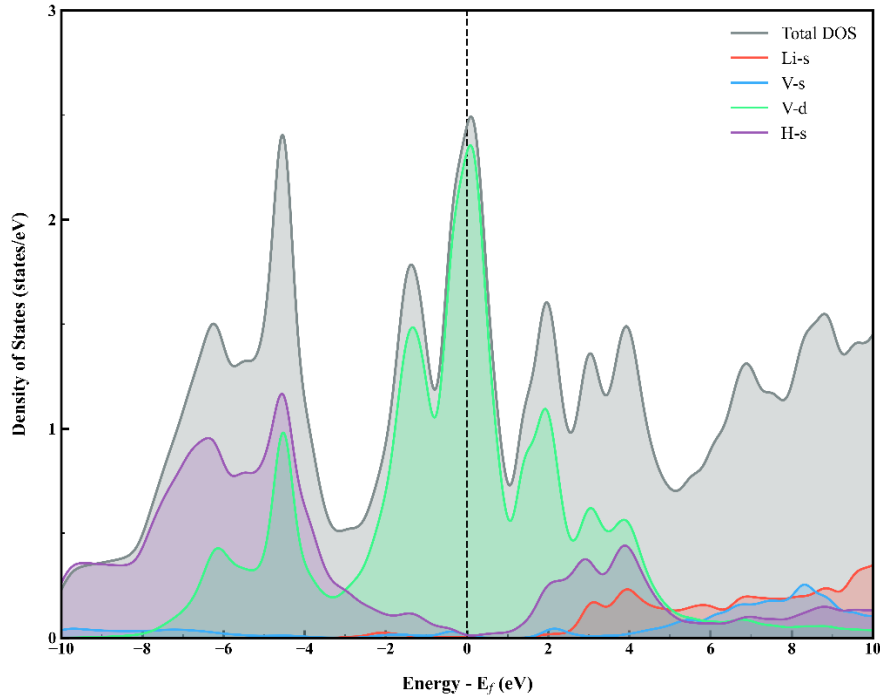
3.2. Elektronik Bant Yapısı ve Durum Yoğunluğu

Elektronik bant yapısı hesapları, LiVH₄'ün belirgin metalik bir karakter sergilediğini göstermektedir. Bant yapısı, Z–A–M– Γ –Z–R–X– Γ yüksek simetri yolu boyunca hesaplanmış ve Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de birden fazla enerji bandının Fermi düzeyini ($E_F = 0 \text{ eV}$) kestiği açıkça görülmektedir. Γ noktası civarında Fermi seviyesini kesen bandlar ve M noktası yakınındaki düz bant bölgeleri, yüksek durum yoğunluğuna işaret etmektedir.



Şekil 1. LiVH₄ bileşiğinin elektronik bant yapısı.

Toplam ve kısmi durum yoğunluğu (TDOS/PDOS) analizi Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2, Fermi seviyesindeki elektronik katkıların kökenini ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. Fermi seviyesinde belirgin bir V-3d piki (~2.4 durum/eV) gözlemlenirken -10 ile -4 eV arasındaki enerji aralığında H-1s katkısı baskındır; bu durum, güçlü V-H kovalent bağlarının varlığına işaret etmektedir. Li-2s katkısı oldukça zayıftır, dolayısıyla Li atomu bileşikte ağırlıklı olarak iyonik bir davranış sergilemektedir. Bu elektronik yapı, Li⁺[VH₄]⁻ şeklinde bir iyonik-kovalent karma bağ karakterini düşündürmektedir.



Şekil 2. Toplam ve kısmi durum yoğunluğu (TDOS / PDOS).

Benzer sistemlerle yapılan karşılaştırmada, LiAlH_4 ve NaAlH_4 'ün bandgap içeren yarıiletken özellikte oldukları bilinmektedir (Aguayo & Singh, 2004). Buna karşın LiVH_4 'ün metalik karakteri, geçiş metali olarak V'nin seçiminin elektronik yapıyı köklü biçimde değiştirdiğini ve ısı yönetim ile elektriksel iletkenlik açısından ek işlevsellik katabileceğini göstermektedir.

3.3. Elastik Sabitler ve Mekanik Kararlılık

Tetragonal simetri için hesaplanan bağımsız elastik sabitler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. LiVH_4 bileşiğinin elastik sertlik katsayıları (GPa).

$C_{11} = C_{22}$	C_{12}	$C_{13} = C_{23}$	C_{33}	$C_{44} = C_{55}$	C_{66}
133.99	92.80	40.83	153.41	40.09	61.61

Tetragonal kristaller için Born mekanik kararlılık ölçütleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Born, 1940; Mouhat & Coudert, 2014):

$$(i) C_{11} - C_{12} > 0 \rightarrow 133.99 - 92.80 = 41.19 \text{ GPa} \checkmark$$

$$(ii) C_{11} + C_{33} - 2C_{13} > 0 \rightarrow 205.74 \text{ GPa} \checkmark$$

$$(iii) 2(C_{11} + C_{12}) + C_{33} + 4C_{13} > 0 \rightarrow 770.30 \text{ GPa} \checkmark$$

$$(iv) C_{44} > 0 \rightarrow 40.09 \text{ GPa} \checkmark; C_{66} > 0 \rightarrow 61.61 \text{ GPa} \checkmark$$

Dört ölçütün de sağlanması, LiVH⁴'ün mekanik açıdan kararlı olduğunu kesin biçimde doğrulamaktadır. C₁₁ ve C₃₃'ün yüksek değerleri, a-b düzlemi ve c eksen boyunca güçlü bağları; C₁₃'ün görece düşük değeri ise a-b ve c yönleri arasındaki nispeten zayıf bağlanmayı yansıtmaktadır.

3.4. Polikristal Elastik Modüller ve Mekanik Davranış

Voigt–Reuss–Hill ortalama yöntemiyle elde edilen polikristal elastik büyüklükler Tablo 3'te özetlenmiştir.

Hill yaklaşımıyla elde edilen B = 85.27 GPa, malzemenin basınca karşı oldukça yüksek bir direnç sergilediğini göstermektedir. Pugh ölçütüne göre B/G > 1.75 değeri sünek malzeme davranışını karakterize etmekte olup (Pugh, 1954) LiVH₄ için B/G = 2.05 değeri, bileşiğin sünek bir malzeme olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Poisson oranı $\nu = 0.29$ da bu sonuçla uyumludur; bu değer, metalik bağ karakteri için tipik olan 0.25–0.33 aralığındadır (Frantsevich et al., 1983). Tian sertliği $H_v = 5.67$ GPa olarak hesaplanmıştır; bu değer, bileşiği orta-sert bir malzeme kategorisine yerleştirmektedir (Tian et al., 2012).

Tablo 3. LiVH₄ bileşiğinin Voigt, Reuss ve Hill yaklaşımlarıyla hesaplanmış elastik büyüklükleri.

Büyüklik	Voigt	Reuss	Hill
B (GPa)	85.59	84.95	85.27
G (GPa)	44.82	38.17	41.49
E (GPa)	114.48	99.58	107.10
B/G	1.91	2.23	2.05
ν (Poisson)	0.277	0.305	0.291
H _v (GPa)	6.51	4.88	5.67

3.5. Elastik Anizotropi ve Termoelastik Özellikler

LiVH₄ bileşiği belirgin bir elastik anizotropi sergilemektedir. Tablo 4'te görüldüğü üzere c eksenı boyunca Young modülü ($E_z = 138.71$ GPa), a–b düzlemindeki değerinin ($E_x = E_y = 68.59$ GPa) yaklaşık iki katıdır. Bu belirgin eksenel bağımlılık, tetragonal yapıdaki c eksenı boyunca daha güçlü V–H bağlarını yansıtmaktadır.

Tablo 4. Yön bağımlı Young modülü ve Poisson oranları ile termoelastik büyüklükler.

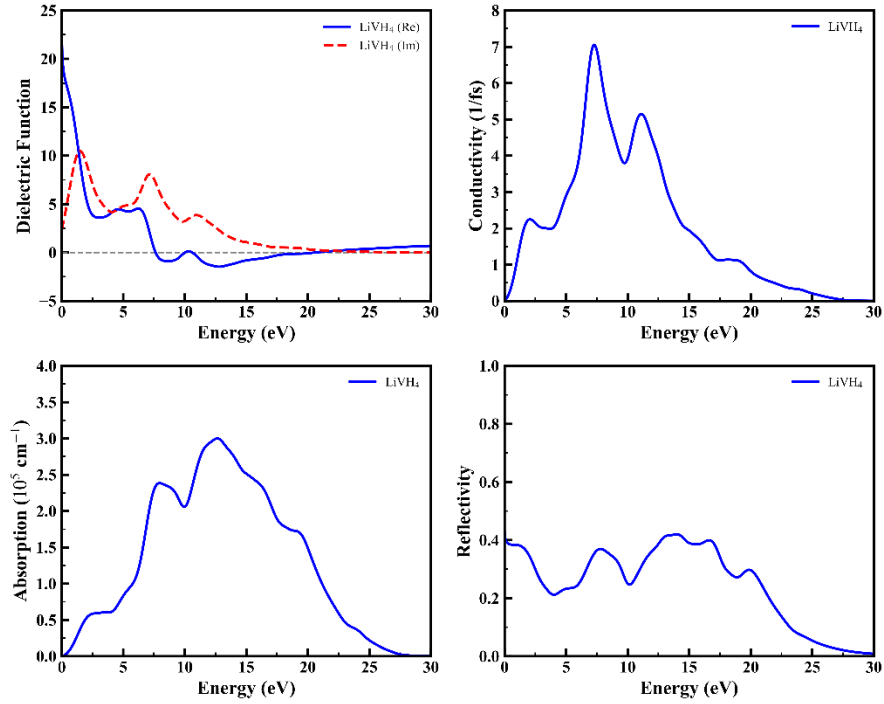
Büyükölük	Değer	Büyükölük	Değer
$E_x = E_y$ (GPa)	68.59	Debye sıcaklığı θ_D (K)	700.73
E_z (GPa)	138.71	Ortalama ses hızı (m/s)	4406.15
$\nu_{xy} = \nu_{yx}$	0.666	Anizotropi A^U	0.88
$\nu_{xz} = \nu_{yz} = \nu_{zx} = \nu_{zy}$	0.089 / 0.180	Sıkıştırılabilirlik (GPa ⁻¹)	0.0118

Evrensel anizotropi indeksi $A^U = 0.88$, tam izotropik malzeme ($A^U = 0$) değeriinden belirgin şekilde saparak anizotropik bir elastik tepkiyi doğrulamaktadır (Ranganathan & Ostoja-Starzewski, 2008). Debye sıcaklığı $\theta_D = 700.73$ K, ısı katkının yüksek sıcaklıklara kadar ağırlıklı olarak fonon modlarından geleceğine işaret etmekte ve bileşiğin yüksek termal kararlılığını öngörmektedir.

3.6. Optik Özellikler

LiVH₄'ün optik özellikleri, kompleks dielektrik fonksiyon $\epsilon(\omega) = \epsilon_1(\omega) + i\epsilon_2(\omega)$ üzerinden elde edilmiştir ve Şekil 3'de verilmiştir. Statik dielektrik sabiti $\epsilon_1(0) \approx 20$ gibi yüksek bir değeri almakta ve metalik serbest-taşıyıcı davranışı yansıtmaktadır. Düşük enerjilerde $\epsilon_1(\omega)$ 'nin negatife dönmesi, Drude tipi metalik tepkiyi karakterize etmektedir.

Soğurma katsayısı, 12–13 eV enerji aralığında yaklaşık 3.0×10^5 cm⁻¹ gibi yüksek bir değeri ulaşmakta; bu da ultraviyole (UV) bölgesinde belirgin bir soğurma aktivitesine işaret etmektedir. Optik iletkenlik en yüksek değeri ~7 eV'de sergilemekte ve bu değeri, V-d → boş durum arası elektronik geçişlerle ilişkilendirilebilmektedir. Sıfır frekanstaki yansıtıcılık ~0.40 olup metalik malzemelerin tipik değeriyle uyumludur (Ambrosch-Draxl & Sofo, 2006). Bu sonuçlar, bileşiğin görünür bölgede opaklığına karşın UV aralığında güçlü soğurma özelliklerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3. LiVH₄ bileşiğinin optik özellikleri.

3.7. Hidrojen Depolama Kapasitesi

LiVH₄'ün gravimetrik ve hacimsel hidrojen depolama kapasitesi, aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır (Züttel, 2003):

$$wt\% = [n \cdot M(H_2) / M(LiVH_4)] \times 100 = [4 \times 2.016 / 123.88] \times 100 = 6.51\%$$

Hacimsel kapasite, örgü parametrelerinden hesaplanan birim hücre hacmi ve her hücredeki dört H² molekülü gözetilerek 168.70 g H₂/L olarak bulunmuştur. Bu değerler, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve ABD Enerji Bakanlığı'nın (DOE) 2025 hedefleri olan %5.5 gravimetrik ve 40 g H₂/L hacimsel kapasiteyi ikisini de aşmaktadır (DOE, 2017). Depolama kapasitesinin benzer sistemlerle karşılaştırması Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5. LiVH₄'ün benzer metal hidrürlerle hidrojen depolama kapasitesi karşılaştırması.

Malzeme	Gravimetrik (wt%)	Hacimsel (g H ₂ /L)	Referans
LiVH ₄ (bu çalışma)	6.51	168.70	—
LiAlH ₄	10.6	86.0	Orimo et al. (2007)
MgH ₂	7.6	109.0	Sakintuna et al. (2007)
NaBH ₄	10.8	125.0	Züttel (2003)
TiH ₂	4.0	150.0	Fukai (2005)

Tablo 5'teki karşılaştırma, LiVH₄'ün özellikle hacimsel depolama kapasitesi açısından oldukça rekabetçi bir konumda olduğunu göstermektedir. Gravimetrik kapasite, LiAlH₄ ve NaBH₄ gibi yaygın adayların altında kalsa da elde edilen %6.51 değeri DOE hedefini karşılamaktadır. Mekanik kararlılık ve metalik elektriksel iletkenlik, LiVH₄'ü pratik depolama tankı entegrasyonu açısından önemli bir avantajlı konuma getirmektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, DFT/GGA-PBE çerçevesinde gerçekleştirilen kapsamlı ilk-ilkeler hesaplamaları aracılığıyla tetragonal LiVH₄ hidrürünün yapısal, elektronik, mekanik ve optik özellikleri sistematik biçimde araştırılmış; aşağıdaki ana bulgular elde edilmiştir:

LiVH₄ bileşiği, $a = b = 2.8644 \text{ Å}$ ve $c = 4.7977 \text{ Å}$ örgü parametreleriyle P₄/mmm (No. 123) uzay grubuna sahip tetragonal bir yapıda kararlı biçimde optimize edilmiştir. Negatif oluşum enerjisi (−0.2122 eV/atom), bileşiğin termodinamik açıdan sentezlenebilir nitelikte olduğunu doğrulamaktadır. Elektronik bant yapısı ve DOS analizleri, LiVH₄'ün metalik bir karakter taşıdığını ve Fermi seviyesindeki baskın katkının V-3d ile H-1s hibritleşmesinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Bu elektronik yapı, bileşikte iyonik-kovalent karma bağ türünün varlığına işaret etmektedir. Tetragonal simetri için Born mekanik kararlılık ölçütlerinin dördü de sağlanmış; böylece yapının mekanik kararlılığı kesin biçimde teyit edilmiştir. Hesaplanan $C_{11} = 133.99 \text{ GPa}$ ve $C_{33} = 153.41 \text{ GPa}$ değerleri, her iki eksenel yönde güçlü bağ karakterini yansıtmaktadır. Hill yaklaşımıyla elde edilen $B = 85.27 \text{ GPa}$, $G = 41.49 \text{ GPa}$ ve $E = 107.10 \text{ GPa}$ değerleri, malzemenin mekanik sertliğini ortaya koymaktadır. $B/G = 2.05$ ve $\nu = 0.29$ değerleri, Pugh ölçütüne göre sünek malzeme davranışını; $A^U = 0.88$ ise belirgin elastik anizotropiyi karakterize etmektedir. Yüksek Debye sıcaklığı (700.73 K), malzemenin termal kararlılığını güçlü biçimde desteklemektedir. Optik özellikler, düşük enerjilerde metalik dielektrik tepki ve UV bölgesinde (~12–13 eV) yüksek soğurma ($\sim 3.0 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$) sergilenmesini içermekte; bu da bileşiğin optik işlevselliğini açıkça ortaya koymaktadır. LiVH₄, %6.51 gravimetrik ve 168.70 gH₂/L

hacimsel hidrojen depolama kapasitesi ile DOE'nin 2025 hedeflerini karşılayan nadir bileşikler arasına girmektedir. Metalik iletkenlik ve mekanik sağlamlık bu kapasiteye değer katar.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, LiVH₄'ün mekanik kararlılık, yüksek depolama kapasitesi ve metalik elektronik yapı gibi çok yönlü özellikleriyle ileri düzey katı-hal hidrojen depolama uygulamaları için güçlü bir aday malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Gelecek çalışmalarda; sonlu sıcaklık etkileri için ab initio moleküler dinamik simülasyonları, hidrojen desorpsiyon aktivasyon engellerinin hesaplanması ve deneysel sentez ile karakterizasyon çalışmaları planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada sunulan sayısal hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi (TRUBA) kaynakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışma, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2026-YPDP-001 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Katkı ve desteklerinden ötürü TÜBİTAK ULAKBİM'e ve Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aguayo, A., & Singh, D. J. (2004). Electronic structure of the complex hydride NaAlH₄: implications for hydrogen dynamics. *Physical Review B*, 69(15), 155103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.69.155103>
- Ambrosch-Draxl, C., & Sofo, J. O. (2006). Linear optical properties of solids within the full-potential linearized augmented planewave method. *Computer Physics Communications*, 175(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2006.03.005>
- Anderson, O. L. (1963). A simplified method for calculating the Debye temperature from elastic constants. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 24(7), 909–917. [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(63\)90067-2](https://doi.org/10.1016/0022-3697(63)90067-2)
- Born, M. (1940). On the stability of crystal lattices. I. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 36(2), 160–172. <https://doi.org/10.1017/S0305004100017138>
- Clark, S. J., Segall, M. D., Pickard, C. J., Hasnip, P. J., Probert, M. I., Refson, K., & Payne, M. C. (2005). First principles methods using CASTEP. *Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials*, 220(5–6), 567–570. <https://doi.org/10.1524/zkri.220.5.567.65075>
- DOE (2017). DOE technical targets for onboard hydrogen storage for light-duty vehicles. U.S. Department of Energy, Fuel Cell Technologies Office. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-onboard-hydrogen-storage-light-duty-vehicles>
- Durbin, D. J., & Malardier-Jugroot, C. (2013). Review of hydrogen storage techniques for on board vehicle applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(34), 14595–14617. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.07.058>
- Fischer, T. H., & Almlof, J. (1992). General methods for geometry and wave function optimization. *The Journal of Physical Chemistry*, 96(24), 9768–9774. <https://doi.org/10.1021/j100203a036>
- Frantsevich, I. N., Voronov, F. F., & Bokuta, S. A. (1983). Elastic constants and elastic moduli of metals and insulators handbook. Naukova Dumka.
- Fukai, Y. (2005). *The metal-hydrogen system: Basic bulk properties* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-28883-X>
- Hill, R. (1952). The elastic behaviour of a crystalline aggregate. *Proceedings of the Physical Society Section A*, 65(5), 349–354. <https://doi.org/10.1088/0370-1298/65/5/307>

- Hohenberg, P., & Kohn, W. (1964). Inhomogeneous electron gas. *Physical Review*, 136(3B), B864–B871. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.136.B864>
- Kohn, W., & Sham, L. J. (1965). Self-consistent equations including exchange and correlation effects. *Physical Review*, 140(4A), A1133–A1138. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.140.A1133>
- Mouhat, F., & Coudert, F.-X. (2014). Necessary and sufficient elastic stability conditions in various crystal systems. *Physical Review B*, 90(22), 224104. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.90.224104>
- Nielsen, O. H., & Martin, R. M. (1985). Quantum-mechanical theory of stress and force. *Physical Review B*, 32(6), 3780–3791. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.32.3780>
- Orimo, S., Nakamori, Y., Eliseo, J. R., Züttel, A., & Jensen, C. M. (2007). Complex hydrides for hydrogen storage. *Chemical Reviews*, 107(10), 4111–4132. <https://doi.org/10.1021/cr0501846>
- Perdew, J. P., Burke, K., & Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. *Physical Review Letters*, 77(18), 3865–3868. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.77.3865>
- Pugh, S. F. (1954). XCII. Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 45(367), 823–843. <https://doi.org/10.1080/14786440808520496>
- Ranganathan, S. I., & Ostoja-Starzewski, M. (2008). Universal elastic anisotropy index. *Physical Review Letters*, 101(5), 055504. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.101.055504>
- Sakintuna, B., Lamari-Darkrim, F., & Hirscher, M. (2007). Metal hydride materials for solid hydrogen storage: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(9), 1121–1140. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.11.022>
- Schlapbach, L., & Züttel, A. (2001). Hydrogen-storage materials for mobile applications. *Nature*, 414(6861), 353–358. <https://doi.org/10.1038/35104634>
- Tian, Y., Xu, B., & Zhao, Z. (2012). Microscopic theory of hardness and design of novel superhard crystals. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2012.02.021>
- Vanderbilt, D. (1990). Soft self-consistent pseudopotentials in a generalized eigenvalue formalism. *Physical Review B*, 41(11), 7892–7895. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.41.7892>
- Züttel, A. (2003). Materials for hydrogen storage. *Materials Today*, 6(9), 24–33. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(03\)00922-2](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(03)00922-2)

KScH₃ BİLEŞİĞİNİN MEKANİK STABİLİTESİ, İZOTROPİK DAVRANIŞI VE ELEKTRONİK YAPISININ YOĞUNLUK FONKSİYONELİ TEORİSİ İLE MODELLENMESİ

Dr., Sümeyra YAMÇIÇIER¹/ Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER²/Prof. Dr., Cihan Kürkcü³

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Yoğun madde fiziği, sumeyrayamcicier@osmaniye.edu.tr, 0000-0002-7772-1258

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Yoğun madde fiziği, cagatayyamcicier@osmaniye.edu.tr, 0000-0003-3033-168X

³Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Yoğun madde fiziği, ckurkcü@ahievran.edu.tr, 0000-0003-3597-1950
Özet

Temiz enerji teknolojilerinde katı hâlde hidrojen depolama malzemelerinin geliştirilmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, kübik perovskit yapılı KScH₃ hidrür bileşiğinin yapısal, elektronik, mekanik ve optik özellikleri, Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) tabanlı CASTEP kodu kullanılarak geliştirilmiş gradyan yaklaşımı çerçevesinde incelenmiştir. Kristal optimizasyonu sonucunda $Pm\bar{3}m$ uzay grubundaki kübik malzemenin örgü parametresi $a = b = c = 4.1255 \text{ Å}$ olarak belirlenmiştir. Hesaplanmış negatif oluşum enerjisi (-0.3391 eV/atom), yapının enerjetik ve termodinamik olarak kararlı bir formda olduğunu teyit etmektedir. Hidrojen depolama kabiliyeti değerlendirildiğinde KScH₃ bileşiği, %3.45 gravimetrik ve 70.93 g H₂/L hacimsel depolama kapasitesi sunmaktadır. Elektronik bant yapısı ve durum yoğunluğu (DOS) analizleri, enerji seviyelerinin Fermi düzeyini (E_F) kestiğini ve sistemin iletken (metalik) karakter sergilediğini ortaya koymuştur. Fermi enerjisi seviyesindeki baskın katkının Sc-*d* orbitallerinden kaynaklandığı, valans bandının alt seviyelerinde ise H-s ve Sc-*d* orbitalleri arasında güçlü bir hibritleşme bulunduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan elastik sertlik katsayıları, kübik sistemler için geçerli Born mekanik kararlılık ölçütlerini sağlamaktadır. Polikristal Hill yaklaşımına göre bulk modülü (B) 40.41 GPa, kayma modülü (G) 29.75 GPa ve Young modülü (E) 71.65 GPa olarak elde edilmiştir. Malzemenin B/G oranının 1.36 ve Poisson oranının 0.20 çıkması, Pugh kriteri çerçevesinde KScH₃'ün gevrek bir mekanik davranış sergilediğini kanıtlamaktadır. Tian mikrosertliği 7.17 GPa, Debye sıcaklığı 517.75 K ve evrensel anizotropi indeksinin oldukça düşük (0.0104) olması, malzemenin yüksek elastik izotropiye sahip olduğunu göstermektedir. Optik spektrumlar ise metalik karakterle uyumlu olarak sıfır frekansta belirgin yansıtıcılık ve ultraviyole bölgede yüksek absorpsiyon pikleri sergilemektedir.

Anahtar kelimeler: KScH₃, Perovskit Hidrür, DFT, CASTEP, Mekanik Kararlılık, Elektronik Özellikler.

MODELING THE MECHANICAL STABILITY, ISOTROPIC BEHAVIOR, AND ELECTRONIC STRUCTURE OF THE KScH_3 COMPOUND USING DENSITY FUNCTIONAL THEORY

Abstract

The development of solid-state hydrogen storage materials is of great importance in clean energy technologies. In this study, the structural, electronic, mechanical, and optical properties of the cubic perovskite-structured KScH_3 hydride compound were investigated using the CASTEP code, which is based on Density Functional Theory (DFT), within the framework of the generalized gradient approach. As a result of crystal optimization, the lattice parameters of the cubic material in the $Pm\bar{3}m$ space group were determined to be $a = b = c = 4.1255 \text{ \AA}$. The calculated negative formation energy (-0.3391 eV/atom) confirms that the structure is energetically and thermodynamically stable. When evaluating hydrogen storage capacity, the KScH_3 compound exhibits a gravimetric storage capacity of 3.45% and a volumetric storage capacity of 70.93 g H_2/L . Electronic band structure and density of states (DOS) analyses revealed that the energy levels intersect the Fermi level (E_F) and that the system exhibits a conductive (metallic) character. It was determined that the dominant contribution at the Fermi energy level originates from Sc-d orbitals, while strong hybridization between H-s and Sc-d orbitals is present in the lower levels of the valence band. The calculated elastic stiffness coefficients satisfy the Born mechanical stability criteria for cubic systems. According to the polycrystalline Hill approach, the bulk modulus (B) was determined to be 40.41 GPa, the shear modulus (G) 29.75 GPa, and the Young's modulus (E) 71.65 GPa. The material's B/G ratio of 1.36 and Poisson's ratio of 0.20 demonstrate that KScH_3 exhibits brittle mechanical behavior according to the Pugh criterion. A Tian microhardness of 7.17 GPa, a Debye temperature of 517.75 K, and a very low universal anisotropy index (0.0104) indicate that the material possesses high elastic isotropy. The optical spectra, consistent with its metallic character, exhibit distinct reflectivity at zero frequency and high absorption peaks in the ultraviolet region.

Keywords: KScH_3 , Perovskite Hydride, DFT, CASTEP, Mechanical Stability, Electronic Properties.

1. GİRİŞ

Fosil yakıtlara dayalı enerji sisteminin yol açtığı karbon salımı ve kaynakların sınırlılığı, temiz ve sürdürülebilir enerji taşıyıcılarına yönelik araştırmaları hızlandırmıştır. Hidrojen, kütle başına yaklaşık 120 MJ/kg ile tüm kimyasal yakıtlar arasında en yüksek enerji içeriğine sahip olması ve kullanım noktasında yalnızca su üretmesi nedeniyle bu geçişin merkezinde yer almaktadır (Mazloomi & Gomes, 2012; Schlapbach & Züttel, 2001). Ne var ki hidrojenin standart koşullarda son derece düşük yoğunluklu bir gaz olması, onu güvenli, kompakt ve tersinir biçimde depolamayı hidrojen ekonomisinin önündeki en kritik teknik engel hâline getirmektedir (Züttel, 2003).

Yüksek basınçlı gaz tankları ve kriyojenik sıvı hidrojen gibi fiziksel depolama yöntemleri, yüksek enerji maliyeti ve güvenlik kaygıları nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Buna karşılık hidrojenin bir katı kafes içinde kimyasal olarak bağlandığı katı hâl depolama, özellikle hacimsel yoğunluk ve güvenlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Sakintuna vd., 2007). ABD Enerji Bakanlığı (DOE), araç içi depolama sistemleri için sistem düzeyinde %5.5 gravimetrik ve 40 g H₂/L hacimsel kapasiteyi ara hedef olarak tanımlamıştır (U.S. Department of Energy, t.y.). Metal hidrürler ve kompleks hidrürler, bu hedeflere ulaşılabilmesi için en kapsamlı biçimde incelenen malzeme sınıfları arasındadır (Orimo vd., 2007).

Metal hidrürler arasında ABH_3 genel formülüne sahip perovskit tipi hidrürler, basit kristal yapıları, geniş kimyasal çeşitlilikleri ve A ile B konumlarındaki katyonların değiştirilmesiyle ayarlanabilen fiziksel özellikleri nedeniyle son yıllarda dikkat çekmektedir. NaMgH₃ gibi perovskit hidrürlerin tersinir hidrürleme ve dehidrürleme tepkimeleri deneysel olarak gösterilmiş (Ikeda vd., 2005), Goldschmidt tolerans faktörünün hidrürleri de kapsayacak biçimde genelleştirilmesiyle yeni perovskit hidrürlerin kararlılığının öngörülmesi kolaylaşmıştır (Sato vd., 2016). Bu yapılarda B konumuna bir geçiş metalinin yerleştirilmesi, kısmen dolu d durumları aracılığıyla elektronik yapıyı köklü biçimde değiştirebilmekte ve hidrojen–metal etkileşimini düzenleyebilmektedir.

Bir hidrürün depolama malzemesi olarak değerlendirilmesinde yalnızca hidrojen kapasitesi değil, tekrarlanan yükleme–boşaltma çevrimleri sırasında maruz kalacağı hacimsel genleşme ve gerilmelere karşı mekanik dayanımı da belirleyicidir. Elastik sabitler, sertlik, süneklik/gevreklik ve elastik anizotropi gibi büyüklükler, malzemenin çevrimsel yükler altında çatlama eğilimine ilişkin önemli ipuçları sağlamaktadır. Özellikle yön bağımsız (izotropik) elastik tepki, iç gerilmelerin homojen dağılmasına katkıda bulunarak mikroçatlak oluşumunu sınırlayabilmektedir (Ranganathan & Ostoja-Starzewski, 2008).

Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT), deneysel sentezi henüz yapılmamış veya ayrıntılı karakterize edilmemiş malzemelerin temel hâl özelliklerini öngörmek için güçlü bir araçtır (Hohenberg & Kohn, 1964; Kohn & Sham, 1965). Düzlem dalga ve sözde-potansiyel yaklaşımına dayanan CASTEP kodu, katıların yapısal, elastik, elektronik ve optik özelliklerinin tutarlı bir çerçevede hesaplanmasına olanak vermektedir (Clark vd., 2005; Segall vd., 2002). Bu çalışmada, K ve Sc katyonlarından oluşan kübik perovskit KScH_3 hidrürünün yapısal kararlılığı, hidrojen depolama kapasitesi, elektronik yapısı, elastik ve termoelastik özellikleri ile optik tepkisi ilk ilkeler yöntemiyle bütüncül olarak incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, bileşiğin mekanik kararlılığını ve izotropik elastik davranışını elektronik yapı ile ilişkilendirerek, perovskit hidrür ailesi içindeki konumunu ortaya koymaktır.

2. YÖNTEM

Tüm hesaplamalar, Kohn–Sham DFT formalizmini düzlem dalga baz kümesiyle uygulayan CASTEP yazılım paketi ile gerçekleştirilmiştir (Clark vd., 2005). Değişim–korelasyon etkileşimleri Perdew–Burke–Ernzerhof (PBE) parametrizasyonlu genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA) ile tanımlanmıştır (Perdew vd., 1996). İyon–elektron etkileşimleri Vanderbilt tipi ultrasoft sözde-potansiyeller (USP) ile modellenmiştir (Vanderbilt, 1990). Düzlem dalga kesme enerjisi 450 eV olarak seçilmiş, Brillouin bölgesi integrasyonları $8 \times 8 \times 8$ Monkhorst–Pack k-noktası ızgarası ile gerçekleştirilmiştir (Monkhorst & Pack, 1976). Hesaplama parametreleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler.

Parametre	Değer
Yazılım paketi	CASTEP
Teori	Kohn–Sham DFT
Değişim–korelasyon fonksiyoneli	GGA-PBE
Geometri optimizasyonu	BFGS algoritması
Sözde-potansiyel	Ultrasoft (USP)
Kesme enerjisi	450 eV
k-noktası ızgarası	$8 \times 8 \times 8$ (Monkhorst–Pack)

2.2. Yapı Optimizasyonu ve Termodinamik Kararlılık

Kristal yapı, $Pm-3m$ (No. 221) uzay grubuna sahip ideal kübik perovskit düzeninde oluşturulmuştur. Atomik konumlar ve örgü parametresi, Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) yarı-Newton algoritması

kullanılarak atomlara etkiyen kuvvetler ve hücre gerilmeleri yakınsama ölçütlerini sağlayana dek eş zamanlı olarak gevşetilmiştir (Pfrommer vd., 1997). Optimize yapının enerjetik kararlılığı, atom başına oluşum enerjisi ile değerlendirilmiştir:

$$E_f = [E_{\text{tot}}(\text{KScH}_3) - E(\text{K}) - E(\text{Sc}) - 3E(\text{H})] / 5 \quad (1)$$

Burada $E_{\text{tot}}(\text{KScH}_3)$ bileşiğin birim hücre başına toplam enerjisini, $E(\text{K})$, $E(\text{Sc})$ ve $E(\text{H})$ ise ilgili elementlerin referans hâllerindeki atom başına toplam enerjilerini göstermektedir; payda, formül birimindeki atom sayısıdır. Negatif E_f değeri, bileşiğin kurucu elementlerine göre enerjetik olarak kararlı olduğunu ifade eder.

2.3. Hidrojen Depolama Kapasitesi

Gravimetrik hidrojen depolama kapasitesi (C_{wt}) ve hacimsel kapasite (C_{v}) aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmıştır (Züttel, 2003):

$$C_{\text{wt}}(\%) = [(H/M) \cdot M_{\text{H}}] / [M_{\text{host}} + (H/M) \cdot M_{\text{H}}] \times 100 \quad (2)$$

$$C_{\text{v}} = n_{\text{H}} \cdot M_{\text{H}} / (N_{\text{A}} \cdot V_{\text{cell}}) \quad (3)$$

Burada M_{H} hidrojenin, M_{host} ana malzemenin (KSc) molar kütesini; H/M hidrojenin metal atomlarına oranını; n_{H} birim hücredeki hidrojen atomu sayısını; N_{A} Avogadro sayısını ve V_{cell} optimize birim hücre hacmini göstermektedir.

2.4. Elastik ve Termoelastik Özellikler

Elastik sertlik katsayıları (C_{ij}), optimize yapıya küçük homojen gerinimler uygulanarak elde edilen gerilmelerin Hooke yasasına uydurulduğu gerinim–gerilme yöntemiyle hesaplanmıştır (Nielsen & Martin, 1985). Kübik simetride üç bağımsız elastik sabit (C_{11} , C_{12} ve C_{44}) bulunmaktadır ve mekanik kararlılık için Born ölçütleri şu şekildedir (Born & Huang, 1954; Mouhat & Coudert, 2014):

$$C_{11} - C_{12} > 0, \quad C_{11} + 2C_{12} > 0, \quad C_{44} > 0 \quad (4)$$

Polikristal bulk (B) ve kayma (G) modülleri Voigt (1928) üst sınırı ile Reuss (1929) alt sınırından hesaplanmış, gerçekçi değerler Hill (1952) ortalaması ile elde edilmiştir:

$$B_{\text{V}} = B_{\text{R}} = (C_{11} + 2C_{12}) / 3, \quad G_{\text{V}} = (C_{11} - C_{12} + 3C_{44}) / 5 \quad (5)$$

$$G_{\text{R}} = 5(C_{11} - C_{12})C_{44} / [4C_{44} + 3(C_{11} - C_{12})], \quad X_{\text{H}} = (X_{\text{V}} + X_{\text{R}}) / 2 \quad (6)$$

Young modülü (E), Poisson oranı (ν), Zener anizotropi faktörü (A) ve evrensel anizotropi indeksi (A^{U}) ise şu bağıntılarla belirlenmiştir (Ranganathan & Ostoja-Starzewski, 2008; Zener, 1948):

$$E = 9BG / (3B + G), \quad \nu = (3B - 2G) / [2(3B + G)] \quad (7)$$

$$A = 2C_{44} / (C_{11} - C_{12}), \quad A^U = 5G_V/G_R + B_V/B_R - 6 \quad (8)$$

Vickers sertliği Tian vd. (2012) modeli ile, Debye sıcaklığı (θ_D) ise ortalama ses hızından (v_m) Anderson (1963) yöntemiyle hesaplanmıştır:

$$H_V = 0.92k^{1.137}G^{0.708} \quad (k = G/B), \quad \theta_D = (h/k_B)[(3n/4\pi)(N_A\rho/M)]^{1/3}v_m \quad (9)$$

Burada h Planck sabiti, k_B Boltzmann sabiti, n formül birimindeki atom sayısı, ρ yoğunluk ve M molar kütledir. Kırılma tokluğu (K_{IC}) Niu vd. (2019) tarafından önerilen model ile tahmin edilmiştir.

2.5. Elektronik ve Optik Özellikler

Elektronik bant yapısı, kübik Brillouin bölgesinin X–R–M– Γ –R yüksek simetri yolu boyunca hesaplanmış; toplam ve kısmi durum yoğunlukları (TDOS/PDOS) optimize yapı üzerinden elde edilmiştir. Optik özellikler, kompleks dielektrik fonksiyon $\epsilon(\omega) = \epsilon_1(\omega) + i\epsilon_2(\omega)$ üzerinden türetilmiştir. Sanal kısım $\epsilon_2(\omega)$ dolu ve boş durumlar arasındaki geçiş matris elemanlarından hesaplanmış, gerçek kısım $\epsilon_1(\omega)$ Kramers–Kronig bağıntıları ile elde edilmiştir (Saha vd., 2000). Metalik sistemlerde bant içi geçişlerin katkısı Drude terimi ile dikkate alınmıştır. Yansıtıcılık $R(\omega)$ ve soğurma katsayısı $\alpha(\omega)$ şu bağıntılarla hesaplanmıştır (Fox, 2010):

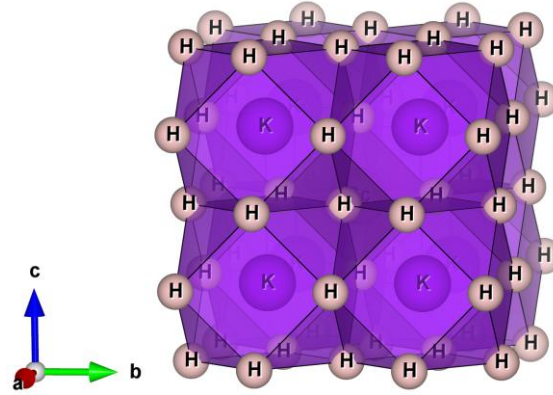
$$R(\omega) = |(\sqrt{\epsilon(\omega)} - 1) / (\sqrt{\epsilon(\omega)} + 1)|^2, \quad \alpha(\omega) = \sqrt{2} \omega [(\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)^{1/2} - \epsilon_1]^{1/2} \quad (10)$$

3. BULGULAR

3.1. Yapısal Özellikler

Geometri optimizasyonu, $KScH_3$ bileşiğinin $Pm-3m$ uzay grubunda ideal kübik perovskit düzeninde kararlı olduğunu göstermiştir. Birim hücrede K atomu $1a$ (0, 0, 0), Sc atomu $1b$ ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$) ve H atomları $3c$ (0, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$) Wyckoff konumlarında bulunmaktadır. Bu düzende Sc atomu altı H atomu tarafından çevrelenerek köşe paylaşımlı ScH_6 oktahedronları oluşturmakta, K atomu ise bu oktahedral ağı boşluklarında on iki H atomu ile koordine olmaktadır (Şekil 1). Optimize edilmiş örgü parametresi $a = 4.1255$ Å olup buna karşılık gelen birim hücre hacmi yaklaşık 70.21 Å³'tür. Bu geometriden Sc–H bağ uzunluğu $a/2 \approx 2.063$ Å, K–H uzaklığı ise $a/\sqrt{2} \approx 2.917$ Å olarak elde edilmektedir; kısa Sc–H mesafesi, oktahedral çerçevede güçlü bir Sc–H etkileşimine işaret etmektedir. Optimize yapısal parametreler ve oluşum enerjisi Tablo 2'de verilmiştir. Hesaplanan -0.3391 eV/atom'luk oluşum enerjisi, $KScH_3$ 'ün kurucu elementlerinden oluşumunun ekzotermik olduğunu ve bileşiğin termodinamik olarak kararlı bir faz olarak elde edilebileceğini göstermektedir. Örgü parametresi ve formül kütlesinden hesaplanan kuramsal yoğunluk yaklaşık 2.06 g/cm³'tür. Oluşum enerjisinin negatif ancak aşırı büyük olmayan bir değer alması, depolama uygulamaları açısından da anlamlıdır: çok kararlı hidrürler hidrojeni

ancak yüksek sıcaklıklarda salarken, orta düzeyde kararlılık tersinir çevrim için daha elverişli koşullar sunabilir (Sakintuna vd., 2007).



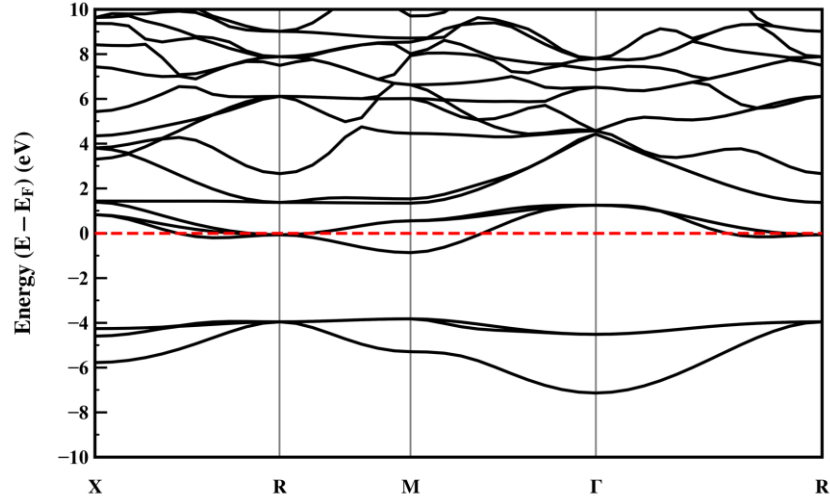
Şekil 1. KScH₃ Bileşiğinin Kübik Perovskit Kristal Yapısı.

Tablo 2. KScH₃ Bileşiğinin Optimize Edilmiş Yapısal Parametreleri.

Uzay grubu	Kristal sistemi	$a = b = c$ (Å)	$\alpha = \beta = \gamma$	V (Å ³)	E_f (eV/atom)
$Pm-3m$ (221)	Kübik perovskit	4.1255	90°	70.21	-0.3391

3.2. Elektronik Bant Yapısı

KScH₃'ün X-R-M-Γ-R yüksek simetri yolu boyunca hesaplanan elektronik bant yapısı Şekil 2'de sunulmuştur. Fermi seviyesi 0 eV olarak alınmıştır. Birden fazla bandın Fermi düzeyini kestiği ve Fermi seviyesi civarında herhangi bir yasak enerji aralığının bulunmadığı açıkça görülmektedir; dolayısıyla bileşik metalik (iletken) karakterdedir.

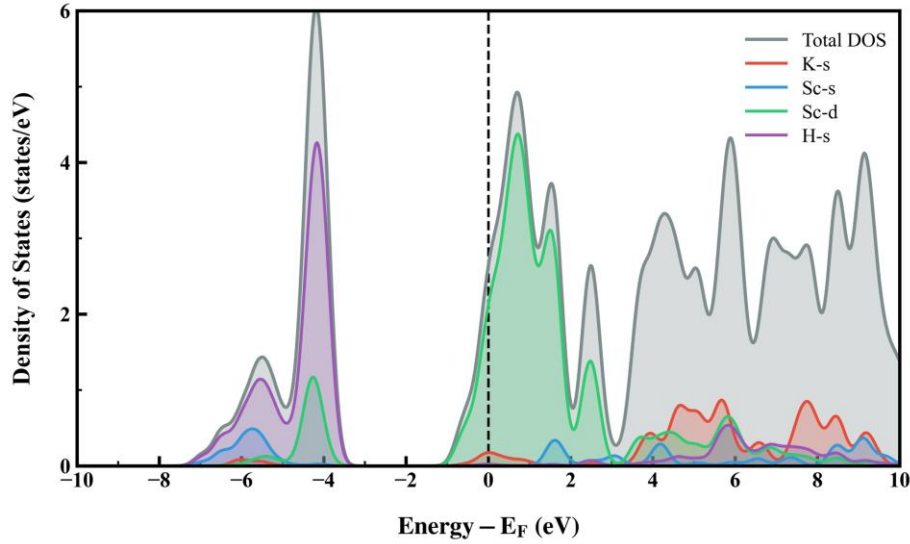


Şekil 2. KScH₃ Bileşiğinin Elektronik Bant Yapısı.

Fermi düzeyini kesen bantlar yaklaşık -1 eV ile $+1.5$ eV arasında yer almakta olup M noktası civarında Fermi seviyesinin altına, Γ noktasında ise yaklaşık 1.2 eV üzerine çıkmaktadır. Yaklaşık -7.1 ile -3.9 eV arasında, Fermi civarındaki bantlardan belirgin bir enerji boşluğu ile ayrılmış, yalıtılmış bir valans bandı grubu bulunmaktadır. Bu bant grubunun en düşük enerjisi Γ noktasında (≈ -7.1 eV) yer almakta ve dağılımı, Sc-H bağlanma durumlarının oluşturduğu kovalent karakterli bir alt bandı yansıtmaktadır. Fermi seviyesinin üzerindeki bölgede ise $2-10$ eV aralığında yoğun ve iç içe geçmiş iletim bantları yer almaktadır.

3.3. Durum Yoğunluğu

Toplam ve kısmi durum yoğunlukları Şekil 3'te verilmiştir. Fermi seviyesinde sıfırdan farklı bir toplam durum yoğunluğunun (yaklaşık 2.7 durum/eV) bulunması, bant yapısından çıkarılan metalik karakteri doğrulamaktadır. Fermi seviyesi civarındaki durumlara baskın katkı Sc-*d* orbitallerinden gelmektedir; Sc-*d* PDOS'u, Fermi düzeyinin hemen üzerinde (≈ 0.7 eV) yaklaşık 4.4 durum/eV değerinde keskin bir pik oluşturmaktadır. Yaklaşık 1.5 ve 2.5 eV'deki ek pikler de büyük ölçüde Sc-*d* karakterlidir.



Şekil 3. KScH₃ Bileşiğinin Toplam ve Kısmi Durum Yoğunluğu (TDOS/PDOS).

Valans bandının alt bölgesinde (-7 ile -4 eV arası) H-s durumları baskındır ve -4.2 eV civarında toplam DOS'ta en yüksek pik gözlenmektedir. Aynı enerji aralığında Sc-*d* ve Sc-*s* katkılarının H-s ile örtüşmesi, Sc ile H arasında güçlü bir orbital hibritleşmesinin, dolayısıyla kısmen kovalent bir Sc-H bağının varlığını göstermektedir. K-s durumlarının Fermi seviyesi civarındaki katkısı oldukça zayıftır ve K katkıları esas olarak 4 eV'nin üzerindeki iletim bandında belirginleşmektedir; bu durum K atomunun yapıya elektron vererek ağırlıklı olarak iyonik (K^+) davrandığını göstermektedir.

Gözlenen metalik karakter basit bir elektron sayımıyla da açıklanabilir. K^+ ve üç H^- iyonundan oluşan kapalı kabuklu bir yapı için B konumundaki katyonun +2 değerlikli olması gerekir; nitekim KMgH₃ gibi toprak alkali perovskit hidrürler geniş bant aralıklı yalıtkanlardır. Sc ise üç değerlik elektronuna sahiptir; H^- iyonlarına aktarılamayan fazladan bir elektron boş Sc-3*d* iletim bandına yerleşerek Fermi seviyesini bu bandın içine taşımaktadır. Bu nedenle KScH₃'teki iletkenlik, esas olarak kısmen dolu Sc-*d* bandından kaynaklanmaktadır.

3.4. Elastik Sabitler ve Mekanik Kararlılık

Kübik KScH₃ için hesaplanan elastik sertlik katsayıları Tablo 3'te verilmiştir. $C_{11} = 82.35$ GPa, [100] doğrultusundaki boyuna gerinime karşı direnci; $C_{44} = 28.66$ GPa ise kayma gerinimine karşı direnci temsil etmektedir. C_{11} 'in C_{44} 'ten belirgin biçimde büyük olması, malzemenin tek eksenli sıkıştırmaya karşı kayma deformasyonuna göre daha dirençli olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. KScH₃ Bileşiğinin Elastik Sertlik Katsayıları ve Born Kararlılık Ölçütleri (GPa).

Büyüklik	Değer	Born ölçütü	Değer	Durum
$C_{11} = C_{22} = C_{33}$	82.35	$C_{11} - C_{12} > 0$	62.91	Sağlanıyor
$C_{12} = C_{13} = C_{23}$	19.44	$C_{11} + 2C_{12} > 0$	121.22	Sağlanıyor
$C_{44} = C_{55} = C_{66}$	28.66	$C_{44} > 0$	28.66	Sağlanıyor
Zener faktörü A	0.911	Cauchy basıncı $C_{12} - C_{44}$	-9.22	—

Üç Born ölçütünün de sağlanması, KScH₃'ün sıfır basınç altında mekanik olarak kararlı olduğunu göstermektedir (Mouhat & Coudert, 2014). Elastik sabitlerden türetilen Cauchy basıncı ($C_{12} - C_{44}$) -9.22 GPa olarak negatif bir değer almaktadır. Pettifor (1992) yaklaşımına göre negatif Cauchy basıncı açısıl (yönlü) bağ karakterinin baskın olduğunu ve gevrek davranışı işaret eder; bu sonuç, DOS analizinde belirlenen Sc-H hibritleşmesi ile uyumludur.

3.5. Polikristal Elastik Modüller ve Mekanik Davranış

Voigt, Reuss ve Hill yaklaşımlarıyla elde edilen polikristal elastik büyüklükler Tablo 4'te özetlenmiştir. Hill yaklaşımıyla elde edilen bulk modülü ($B = 40.41$ GPa) hacimsel sıkıştırmaya karşı orta düzeyde bir direnç, kayma modülü ($G = 29.75$ GPa) ve Young modülü ($E = 71.65$ GPa) ise görece yüksek bir rijitlik ifade etmektedir. Sıkıştırılabilirlik ($\beta = 1/B$) 0.0248 GPa^{-1} olarak elde edilmiştir. Kübik sistemlerde B_V ile B_R 'nin özdeş olması beklenen bir sonuçtur; ancak G_V ile G_R arasındaki farkın yalnızca 0.07 GPa olması, kayma tepkisinin yöne neredeyse bağımsız olduğunu göstermekte ve aşağıda tartışılan yüksek izotropinin doğrudan bir göstergesi niteliğindedir.

Tablo 4. Voigt, Reuss ve Hill Yaklaşımlarıyla Elde Edilen Polikristal Elastik Büyüklükler.

Büyüklik	Voigt	Reuss	Hill
B (GPa)	40.41	40.41	40.41
G (GPa)	29.78	29.71	29.75
E (GPa)	71.71	71.59	71.65
B/G	1.36	1.36	1.36
ν	0.204	0.205	0.204
H_V (GPa)	7.19	7.16	7.17

Pugh (1954) ölçütüne göre $B/G > 1.75$ sünek, $B/G < 1.75$ gevrek davranışı işaret eder. KScH_3 için bulunan $B/G = 1.36$ değeri kritik sınırın belirgin biçimde altındadır. Benzer şekilde, Frantsevich vd. (1983) ölçütünde $\nu < 0.26$ gevrek malzemeleri karakterize eder ve hesaplanan $\nu = 0.204$ değeri bu sınıflandırmayla uyumludur. Negatif Cauchy basıncı ile birlikte değerlendirildiğinde üç bağımsız ölçüt de KScH_3 'ün gevrek bir malzeme olduğunda birleşmektedir. Poisson oranının 0.25'in altında kalması, bağlanmada merkezi kuvvetlerin değil yönlü (kovalent karakterli) etkileşimlerin belirleyici olduğunu da düşündürmektedir.

Tian vd. (2012) modeliyle hesaplanan 7.17 GPa'lık Vickers sertliği, KScH_3 'ü orta sertlikte bir malzeme olarak konumlandırmaktadır. G/B oranının yüksek olması (≈ 0.74) sertlik değerini artıran başlıca etkidir. Niu vd. (2019) modeliyle tahmin edilen kırılma tokluğu ($K_{IC} \approx 0.54 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) ise gevrek karakterle tutarlı olarak düşük bir değerdir. Bu sonuç, bileşiğin depolama uygulamalarında çevrimsel hacim değişimlerine bağlı çatlak ilerlemesine karşı dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini; nano-yapılandırma veya kompozit oluşturma gibi stratejilerin tokluğu iyileştirmek için yararlı olabileceğini göstermektedir.

3.6. Elastik İzotropi ve Termoelastik Özellikler

Elastik anizotropi, mikroçatlak oluşumu, fonon yayılımı ve iç gerilme dağılımı ile yakından ilişkilidir. Kübik bir kristalde Zener faktörü $A = 1$ tam izotropiyi gösterir. KScH_3 için $A = 0.911$ değeri birime oldukça yakındır. Evrensel anizotropi indeksi A^U , tüm kristal sistemlerine uygulanabilen ve tam izotropide sıfır değerini alan bir ölçüttür (Ranganathan & Ostoja-Starzewski, 2008); KScH_3 için hesaplanan $A^U = 0.0104$ değeri, malzemenin pratik olarak elastik izotropik olduğunu açıkça göstermektedir.

Tablo 5. KScH_3 Bileşiğinin Anizotropi ve Termoelastik Büyüklükleri.

Büyüklük	Değer	Büyüklük	Değer
$E_x = E_y = E_z$ (GPa)	74.92	Zener faktörü A	0.911
$\nu_{xy} = \nu_{xz} = \nu_{yz}$	0.191	Evrensel indeks A^U	0.0104
Ortalama ses hızı v_m (m/s)	4195.60	Debye sıcaklığı θ_D (K)	517.75
Boyuna ses hızı v_l (m/s)	≈ 6235	Sıkıştırılabilirlik β (GPa^{-1})	0.0248
Enine ses hızı v_t (m/s)	≈ 3800	Kırılma tokluğu K_{IC} ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	0.539

Kübik simetri gereği x , y ve z eksenleri boyunca Young modülleri (74.92 GPa) ve Poisson oranları (0.191) özdeştir; dolayısıyla izotropinin asıl ölçüsü farklı kristalografik doğrultular arasındaki farktır. Elastik

uyum sabitlerinden (Nye, 1985) hesaplanan doğrultusal Young modülleri $E[100] \approx 74.9$ GPa, $E[110] \approx 70.8$ GPa ve $E[111] \approx 69.5$ GPa olup en büyük ile en küçük değer arasındaki oran yalnızca yaklaşık 1.08'dir. $A < 1$ olması nedeniyle en rijit doğrultu $[100]$ eksenidir. Bu düşük yön bağımlılığı, çevrimsel yükleme sırasında iç gerilmelerin kristal içinde homojen dağılmasına katkıda bulunabilir ve ince film ile kaplama uygulamalarında yön bağımsız mekanik tepki sağlar.

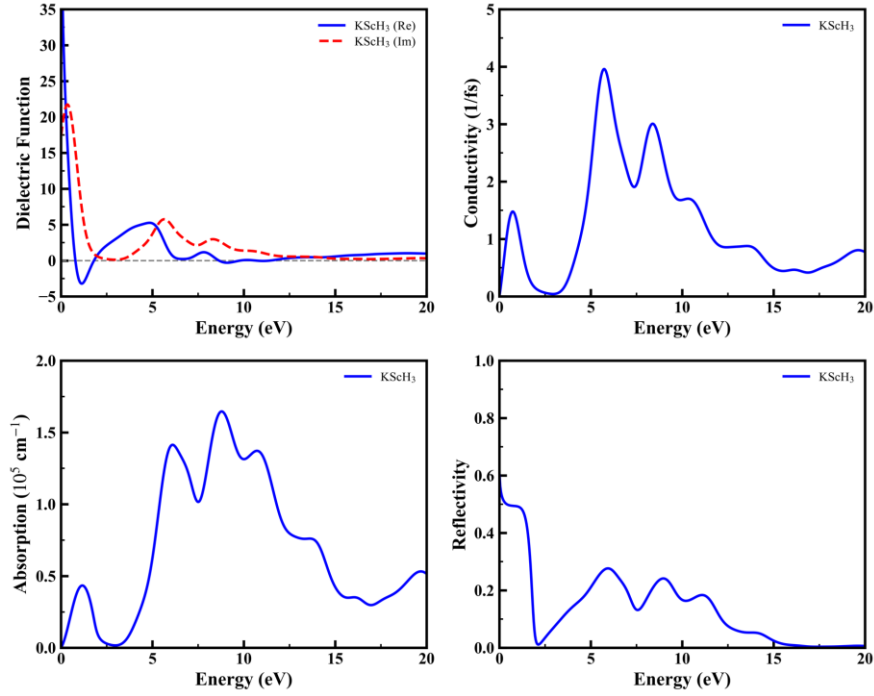
Debye sıcaklığı, örgü titreşimleriyle ilişkili ısı kapasitesi, erime noktası ve termal iletkenlik gibi özelliklerle bağlantılı temel bir parametredir (Anderson, 1963). KScH₃ için elde edilen $\theta_D = 517.75$ K değeri, hafif H atomlarının yüksek frekanslı titreşimleri ve Sc-H bağlarının görece rijitliği ile ilişkilendirilebilir. Yüksek Debye sıcaklığı, örgünün güçlü atomlar arası kuvvetlere sahip olduğunu ve oda sıcaklığı civarında iyi bir termal kararlılık beklenebileceğini göstermektedir. Ortalama ses hızının 4195.60 m/s olması da bu değerlendirmeye tutarlıdır.

3.7. Optik Özellikler

KScH₃'ün 0–20 eV enerji aralığında hesaplanan dielektrik fonksiyonu, optik iletkenliği, soğurma katsayısı ve yansıtıcılığı Şekil 4'te verilmiştir. Dielektrik fonksiyonun gerçek kısmı $\epsilon_1(\omega)$ sıfır frekans limitinde çok yüksek değerlere (≈ 35) ulaşmakta ve enerji arttıkça hızla azalarak yaklaşık 1.1 eV civarında negatif bir minimum (≈ -3) göstermektedir. $\epsilon_1(\omega)$ 'nın düşük enerjilerde bu şekilde negatif değerler alması, serbest taşıyıcıların Drude tipi tepkisinin tipik bir göstergesidir ve metalik karakteri doğrulamaktadır (Fox, 2010). Sanal kısım $\epsilon_2(\omega)$ düşük enerjide (≈ 0.3 eV) bant içi geçişlerden kaynaklanan belirgin bir pik, ≈ 5.6 eV ve ≈ 8.3 eV'de ise bant arası geçişlere karşılık gelen pikler sergilemektedir.

Optik iletkenlik, düşük enerjide (≈ 0.7 eV) bant içi taşıyıcılara ait bir pikin ardından ≈ 5.7 eV'de en yüksek değerine ulaşmakta ve ≈ 8.4 eV'de ikinci bir belirgin pik göstermektedir. DOS analizi ile birlikte değerlendirildiğinde bu pikler, esas olarak H-s/Sc-d karakterli valans durumlarından Sc-d ve K-s katkılı boş iletim durumlarına gerçekleşen geçişlere atfedilebilir. Soğurma katsayısı görünür bölgede görece düşük kalırken ultraviyole bölgede hızla artmakta; ≈ 6.1 , ≈ 8.8 ve ≈ 10.7 eV'de pikler oluşturmakta ve ≈ 8.8 eV'de yaklaşık $1.6 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ile en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bu yüksek UV soğurması, KScH₃'ün UV koruyucu kaplamalar gibi uygulamalar açısından da ilgi çekici olabileceğini düşündürmektedir. Yansıtıcılık sıfır frekansta yaklaşık 0.57 değerini almakta ve yaklaşık 1.8 eV'ye kadar ≈ 0.5 düzeyinde kalmaktadır. Yaklaşık 2 eV civarında yansıtıcılıkta gözlenen keskin düşüş, serbest taşıyıcıların plazma kenarına karşılık gelmektedir; bu enerjinin

üzerinde malzeme gelen ışığa karşı giderek daha geçirgen hâle gelir. Düşük enerjilerdeki yüksek yansıtıcılık ve plazma kenarının varlığı, bant yapısı ve DOS'tan elde edilen metalik karakterle tam bir uyum içindedir.



Şekil 4. KScH₃ Bileşiğinin Optik Özellikleri.

3.8. Hidrojen Depolama Kapasitesi

Denklem 2 ve 3 kullanılarak KScH₃ için gravimetrik kapasite %3.45, hacimsel kapasite ise 70.93 g H₂/L olarak hesaplanmıştır. Tablo 6'da bu değerler, stokiyometrik formüllerinden elde edilen kuramsal kapasiteleriyle bazı bilinen hidrürlerle karşılaştırılmıştır.

KScH₃'ün %3.45'lik gravimetrik kapasitesi, görece ağır K (39.10 g/mol) ve Sc (44.96 g/mol) atomlarının formül kütlesine yüksek katkısı nedeniyle MgH₂ ve Mg tabanlı perovskit hidrürlerin gerisinde kalmakta ve DOE'nin sistem düzeyindeki gravimetrik hedefinin altında bulunmaktadır. Buna karşın 70.93 g H₂/L'lik hacimsel kapasite, sıvı hidrojenin yoğunluğunu (≈ 70.8 g/L) yakalayan düzeydedir ve malzeme düzeyinde DOE hacimsel hedefinin (40 g H₂/L) belirgin biçimde üzerindedir (Züttel, 2003). Bu durum, KScH₃'ün kütle kısıtının ikincil, hacim kısıtının ise öncelikli olduğu sabit (durağan) depolama uygulamaları için değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Tablo 6. Bazı Hidrürlerin Kuramsal Gravimetrik Hidrojen Kapasitelerinin Karşılaştırılması.

Bileşik	Yapı	Gravimetrik kapasite (ağ. %)
KScH ₃ (bu çalışma)	Kübik perovskit	3.45
KMgH ₃	Kübik perovskit	4.55
NaMgH ₃	Perovskit (ortorombik)	6.01
MgH ₂	Rutil tipi	7.66

Bileşiğin metalik iletkenliği, depolama sırasında ısı ve yük transferini kolaylaştırabilecek olması bakımından ayrıca avantaj sağlayabilir. Yüksek elastik izotropisi ve mekanik kararlılığı, yapısal bütünlüğün öncelikli olduğu uygulamalarda olumlu özellikler olarak öne çıkarken, gevrek doğası ve düşük kırılma tokluğu çevrimsel dayanım açısından sınırlayıcı olabilir. A konumunda daha hafif alkali metallerin (örneğin Li veya Na) kullanılması ya da kısmi katyon ikamesi, hem gravimetrik kapasiteyi artırmak hem de mekanik davranışı ayarlamak için izlenebilecek stratejiler arasındadır.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kübik perovskit yapılı KScH₃ hidrürünün yapısal, elektronik, mekanik, termoelastik ve optik özellikleri CASTEP kodu ile GGA-PBE çerçevesinde ilk ilkeler yöntemiyle incelenmiştir. KScH₃, *Pm-3m* uzay grubunda $a = 4.1255 \text{ Å}$ örgü parametresi ile kararlı bir kübik perovskit yapıda optimize edilmiştir. -0.3391 eV/atom 'luk negatif oluşum enerjisi, bileşiğin enerjetik ve termodinamik olarak kararlı olduğunu teyit etmektedir. Bant yapısı ve DOS analizleri, Fermi düzeyini kesen bantlar ile sıfırdan farklı Fermi seviyesi DOS'u nedeniyle bileşiğin metalik karakterde olduğunu göstermiştir. Fermi seviyesindeki baskın katkı Sc-*d* orbitallerinden gelmekte, valans bandının alt bölgesinde ise H-*s* ile Sc-*d* orbitalleri güçlü biçimde hibritleşmektedir. Metalik karakter, Sc'nin H⁻ iyonlarına aktaramadığı fazladan elektronun Sc-3*d* bandına yerleşmesi ile açıklanabilmektedir. Elastik sabitler ($C_{11} = 82.35$, $C_{12} = 19.44$, $C_{44} = 28.66 \text{ GPa}$) kübik sistemler için Born kararlılık ölçütlerini sağlamaktadır. Hill yaklaşımıyla $B = 40.41 \text{ GPa}$, $G = 29.75 \text{ GPa}$ ve $E = 71.65 \text{ GPa}$ elde edilmiştir. $B/G = 1.36$, $\nu = 0.20$ ve negatif Cauchy basıncı, KScH₃'ün gevrek bir malzeme olduğunu tutarlı biçimde ortaya koymaktadır. Tian sertliği 7.17 GPa 'dır. $A = 0.911$ ve $A^U = 0.0104$ değerleri ile doğrultusal Young modüllerindeki yaklaşık %8'lik sınırlı değişim, bileşiğin pratik olarak elastik izotropik olduğunu göstermektedir. Debye sıcaklığı 517.75 K ve ortalama ses hızı 4195.60 m/s olarak hesaplanmıştır. Optik spektrumlar, düşük enerjide Drude tipi metalik tepki, sıfır frekansta ≈ 0.57 yansıtıcılık, $\approx 2 \text{ eV}$ 'de plazma kenarı ve UV bölgesinde $\approx 1.6 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ düzeyinde yüksek soğurma sergilemektedir. KScH₃, %3.45

gravimetrik ve 70.93 g H₂/L hacimsel hidrojen depolama kapasitesine sahiptir. Gravimetrik kapasite ağır katyonlar nedeniyle sınırlı kalsa da yüksek hacimsel kapasite, mekanik kararlılık ve elastik izotropi, bileşiği özellikle durağan depolama uygulamaları için ilgi çekici kılmaktadır.

Gelecek çalışmalarda fonon dağılımı hesaplamalarıyla dinamik kararlılığın doğrulanması, hidrojen desorpsiyon entalpisinin ve difüzyon bariyerlerinin belirlenmesi, katyon ikamesi yoluyla gravimetrik kapasitenin artırılması ve bulguların deneysel sentez ve karakterizasyon çalışmalarıyla sınanması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada sunulan sayısal hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi (TRUBA) kaynakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışma, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2026-YPDP-001 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Katkı ve desteklerinden ötürü TÜBİTAK ULAKBİM'e ve Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Anderson, O. L. (1963). A simplified method for calculating the Debye temperature from elastic constants. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 24(7), 909–917. [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(63\)90067-2](https://doi.org/10.1016/0022-3697(63)90067-2)
- Born, M., & Huang, K. (1954). *Dynamical theory of crystal lattices*. Clarendon Press.
- Clark, S. J., Segall, M. D., Pickard, C. J., Hasnip, P. J., Probert, M. I. J., Refson, K., & Payne, M. C. (2005). First principles methods using CASTEP. *Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials*, 220(5–6), 567–570. <https://doi.org/10.1524/zkri.220.5.567.65075>
- Fox, M. (2010). *Optical properties of solids* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Frantsevich, I. N., Voronov, F. F., & Bokuta, S. A. (1983). *Elastic constants and elastic moduli of metals and insulators: Handbook*. Naukova Dumka.
- Hill, R. (1952). The elastic behaviour of a crystalline aggregate. *Proceedings of the Physical Society. Section A*, 65(5), 349–354. <https://doi.org/10.1088/0370-1298/65/5/307>
- Hohenberg, P., & Kohn, W. (1964). Inhomogeneous electron gas. *Physical Review*, 136(3B), B864–B871. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.136.B864>
- Ikeda, K., Kogure, Y., Nakamori, Y., & Orimo, S. (2005). Reversible hydriding and dehydriding reactions of perovskite-type hydride NaMgH₃. *Scripta Materialia*, 53(3), 319–322. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2005.04.014>
- Kohn, W., & Sham, L. J. (1965). Self-consistent equations including exchange and correlation effects. *Physical Review*, 140(4A), A1133–A1138. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.140.A1133>
- Mazloomi, K., & Gomes, C. (2012). Hydrogen as an energy carrier: Prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3024–3033. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.028>
- Monkhorst, H. J., & Pack, J. D. (1976). Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B*, 13(12), 5188–5192. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.13.5188>
- Mouhat, F., & Coudert, F.-X. (2014). Necessary and sufficient elastic stability conditions in various crystal systems. *Physical Review B*, 90(22), Article 224104. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.90.224104>
- Nielsen, O. H., & Martin, R. M. (1985). Quantum-mechanical theory of stress and force. *Physical Review B*, 32(6), 3780–3791. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.32.3780>

- Niu, H., Niu, S., & Oganov, A. R. (2019). Simple and accurate model of fracture toughness of solids. *Journal of Applied Physics*, 125(6), Article 065105. <https://doi.org/10.1063/1.5066311>
- Nye, J. F. (1985). *Physical properties of crystals: Their representation by tensors and matrices*. Oxford University Press.
- Orimo, S., Nakamori, Y., Eliseo, J. R., Züttel, A., & Jensen, C. M. (2007). Complex hydrides for hydrogen storage. *Chemical Reviews*, 107(10), 4111–4132. <https://doi.org/10.1021/cr0501846>
- Perdew, J. P., Burke, K., & Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. *Physical Review Letters*, 77(18), 3865–3868. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.77.3865>
- Pettifor, D. G. (1992). Theoretical predictions of structure and related properties of intermetallics. *Materials Science and Technology*, 8(4), 345–349. <https://doi.org/10.1179/mst.1992.8.4.345>
- Pfrommer, B. G., Côté, M., Louie, S. G., & Cohen, M. L. (1997). Relaxation of crystals with the quasi-Newton method. *Journal of Computational Physics*, 131(1), 233–240. <https://doi.org/10.1006/jcph.1996.5612>
- Pugh, S. F. (1954). Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 45(367), 823–843. <https://doi.org/10.1080/14786440808520496>
- Ranganathan, S. I., & Ostoja-Starzewski, M. (2008). Universal elastic anisotropy index. *Physical Review Letters*, 101(5), Article 055504. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.101.055504>
- Reuss, A. (1929). Berechnung der Fließgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitätsbedingung für Einkristalle. *ZAMM – Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 9(1), 49–58. <https://doi.org/10.1002/zamm.19290090104>
- Saha, S., Sinha, T. P., & Mookerjee, A. (2000). Electronic structure, chemical bonding, and optical properties of paraelectric BaTiO₃. *Physical Review B*, 62(13), 8828–8834. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.62.8828>
- Sakintuna, B., Lamari-Darkrim, F., & Hirscher, M. (2007). Metal hydride materials for solid hydrogen storage: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(9), 1121–1140. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.11.022>
- Sato, T., Takagi, S., Deledda, S., Hauback, B. C., & Orimo, S. (2016). Extending the applicability of the Goldschmidt tolerance factor to arbitrary ionic compounds. *Scientific Reports*, 6, Article 23592. <https://doi.org/10.1038/srep23592>

- Schlapbach, L., & Züttel, A. (2001). Hydrogen-storage materials for mobile applications. *Nature*, 414(6861), 353–358. <https://doi.org/10.1038/35104634>
- Segall, M. D., Lindan, P. J. D., Probert, M. J., Pickard, C. J., Hasnip, P. J., Clark, S. J., & Payne, M. C. (2002). First-principles simulation: Ideas, illustrations and the CASTEP code. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 14(11), 2717–2744. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/14/11/301>
- Tian, Y., Xu, B., & Zhao, Z. (2012). Microscopic theory of hardness and design of novel superhard crystals. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2012.02.021>
- U.S. Department of Energy. (t.y.). *DOE technical targets for onboard hydrogen storage for light-duty vehicles*. Erişim adresi: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-onboard-hydrogen-storage-light-duty-vehicles>
- Vanderbilt, D. (1990). Soft self-consistent pseudopotentials in a generalized eigenvalue formalism. *Physical Review B*, 41(11), 7892–7895. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.41.7892>
- Voigt, W. (1928). *Lehrbuch der Kristallphysik*. B. G. Teubner.
- Zener, C. (1948). *Elasticity and anelasticity of metals*. University of Chicago Press.
- Züttel, A. (2003). Materials for hydrogen storage. *Materials Today*, 6(9), 24–33. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(03\)00922-2](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(03)00922-2)

SEBZE BİTKİLERİNDE MELATONİN: BÜYÜME, ABİYOTİK STRES TOLERANSI, ÜRÜN KALİTESİ VE HASAT SONRASI FİZYOLOJİDE ÇOK İŞLEVİLİ BİR DÜZENLEYİCİ

Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD¹, Doç. Dr. Yahya NAS²

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

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

Özet

Su yetersizliği, toprak tuzluluğu, aşırı sıcaklıklar ve ağır metal kirliliği gibi çevresel kısıtlayıcı faktörler, sebze yetiştiriciliğinde önemli sorunlar oluşturmakta; bitki büyümesini, verimliliği, pazarlanabilir ürün kalitesini ve hasat sonrası dayanım süresini olumsuz yönde etkilemektedir. Melatonin (N-asetil-5-metoksitriptamin), bitkilerde doğal olarak bulunan endojen bir indolamin olup çeşitli düzenleyici süreçlerde görev almakta ve bitki gelişimi ile olumsuz çevre koşullarına uyum süreçlerinin koordinasyonuna katkıda bulunmaktadır. Bu derlemede, sebze türlerinde melatoninin büyüme, abiyotik stres toleransı, ürün kalitesi ve hasat sonrası fizyoloji üzerindeki etkileri fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler mekanizmalar çerçevesinde eleştirel olarak değerlendirilmektedir. Mevcut bulgular, eksojen melatonin uygulamalarının tohum çimlenmesi ve kök gelişimini destekleyebildiğini, fotosentetik etkinlik ve pigment bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunduğunu, su ve iyon homeostazını düzenlediğini ve stres kaynaklı büyüme kayıplarını sınırlandırabildiğini göstermektedir. Bu etkiler; reaktif oksijen türleri homeostazının düzenlenmesi, antioksidan savunma sistemlerinin güçlendirilmesi, ozmotik dengenin ve membran bütünlüğünün korunması ve stresle ilişkili genler ile sinyal yollarının modülasyonu ile ilişkilendirilmektedir. Melatoninin ayrıca fitohormonlar, nitrik oksit ve Ca^{2+} ile etkileşimleri stres yanıtlarının koordinasyonunda önemli rol oynamaktadır. Bunun yanında melatonin, pigment ve sekonder metabolit metabolizmasını düzenleyerek ürün kalitesini etkileyebilmekte; hasat sonrası dönemde yaşlanma ve oksidatif hasarı sınırlandırarak kalite ve depolama ömrünün korunmasına katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, melatonin etkinliğinin tür, genotip, gelişme dönemi, doz, uygulama yöntemi ve stres şiddetine bağlı olarak değişmesi sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Gelecekteki araştırmaların türlere özgü doz-yanıt ilişkilerinin standardizasyonuna, saha koşullarında doğrulamaya, melatonin aracılı sinyal ağlarının multi-omik yaklaşımlarla açıklanmasına ve agronomik uygulanabilirliğinin değerlendirilmesine odaklanması gerekmektedir. Genel olarak melatonin, sebze üretiminde stres dayanıklılığı, verim, kalite ve hasat sonrası performansın geliştirilmesi açısından umut verici bir düzenleyici olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Melatonin, sebze bitkileri, antioksidan savunma, fitohormon sinyalleşmesi, ürün kalitesi.

MELATONIN IN VEGETABLE CROPS: A MULTIFUNCTIONAL REGULATOR OF GROWTH, ABIOTIC STRESS TOLERANCE, PRODUCT QUALITY, AND POSTHARVEST PHYSIOLOGY

Abstract

Environmental constraints such as water deficit, soil salinity, extreme temperatures, and heavy metal contamination represent major challenges to vegetable cultivation, adversely influencing crop growth, productivity, marketable quality, and postharvest longevity. Melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamine) is an endogenous plant indoleamine that participates in diverse regulatory processes and contributes to the coordination of plant development and acclimation to unfavorable environmental conditions. This review critically evaluates the effects of melatonin on growth, abiotic stress tolerance, product quality, and postharvest physiology in vegetable crops, with particular emphasis on the underlying physiological, biochemical, and molecular mechanisms. Current evidence indicates that exogenous melatonin can promote seed germination and root development, preserve photosynthetic performance and pigment stability, regulate water and ion homeostasis, and mitigate stress-induced growth inhibition. These beneficial effects are primarily associated with the regulation of reactive oxygen species homeostasis, enhancement of antioxidant defense systems, maintenance of osmotic balance and membrane integrity, and modulation of stress-responsive genes and signaling pathways. Interactions between melatonin and phytohormones, nitric oxide, and Ca^{2+} also play important roles in coordinating plant stress responses. Moreover, melatonin can influence product quality by regulating pigment and secondary metabolite metabolism, while during postharvest storage it may delay senescence, alleviate oxidative damage, and contribute to the preservation of quality and extension of storage life. However, the effectiveness of melatonin varies considerably depending on species, genotype, developmental stage, application dose and method, and stress severity, thereby limiting the generalization of reported responses. Future research should focus on establishing species-specific dose-response relationships and standardized application protocols, validating melatonin efficacy under field conditions, elucidating melatonin-mediated signaling networks through multi-omics approaches, and assessing its agronomic feasibility. Overall, melatonin represents a promising regulatory tool for enhancing stress resilience, productivity, quality, and postharvest performance in vegetable production systems.

Keywords: Melatonin, vegetable crops, antioxidant defense, phytohormone signaling, product quality.

1. Giriş

Bahçe bitkileri üretiminde günümüzde yalnızca yüksek verim elde edilmesi değil, aynı zamanda ürünlerin görsel özelliklerinin, besinsel değerinin, duyuşal niteliklerinin, depolanabilirliğinin ve pazarlanabilirliğinin geliştirilmesi de temel hedefler arasında yer almaktadır. Meyve ve sebzelerde kalite; tohum çimlenmesi ve vejetatif büyümeden başlayarak çiçeklenme, meyve tutumu, gelişme, olgunlaşma ve hasat sonrası yaşlanmaya kadar uzanan karmaşık gelişimsel ve metabolik süreçlerin sonucunda şekillenmektedir. Bu süreçler, endojen sinyal molekülleri ile çevresel ve gelişimsel uyaranlar arasındaki etkileşimler tarafından düzenlenmektedir. Son yıllarda üzerinde giderek daha fazla durulan düzenleyici moleküllerden biri olan melatonin, bitkilerde büyüme ve gelişmenin kontrolünde önemli bir bileşen olarak öne çıkmaktadır (Manzoor et al., 2023; Sharma et al., 2024). Kimyasal olarak N-asetil-5-metoksitriptamin şeklinde tanımlanan melatonin ilk olarak hayvanlarda belirlenmiş, daha sonraki araştırmalarda ise çok sayıda bitki türünde doğal olarak bulunduğu ortaya konulmuştur. Bitkisel kökenli melatonin çoğunlukla “fitomelatonin” olarak adlandırılmaktadır. Melatoninin bitkilerde belirlenmesinden sonra araştırmalar başlangıçta bu molekülün antioksidan özellikleri üzerinde yoğunlaşmış, ilerleyen yıllarda ise bitki sinyal mekanizmaları, büyüme ve gelişme, metabolizma ve ürün kalitesinin düzenlenmesindeki daha kapsamlı işlevlerine yönelmiştir. Güncel bulgular, melatoninin tohum çimlenmesi, kök sisteminin gelişimi, fotosentetik süreçlerin düzenlenmesi, çiçeklenme, üreme süreçleri, meyve gelişimi, pigment birikimi, olgunlaşma ve yaşlanma üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Arnao and Hernández-Ruiz, 2018; Manzoor et al., 2023; Sharma et al., 2024). Melatoninin bu işlevleri bahçe bitkileri açısından özellikle önemlidir. Çünkü ticari ürün kalitesi; meyve iriliği, sertlik, renk, şeker/asit dengesi, aroma, antioksidan bileşikler, fenolikler, flavonoidler ve depolama süresi gibi çok sayıda fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerle yakından ilişkilidir. Bu özelliklerde meydana gelen değişimler tüketici tercihlerini ve ürünün ekonomik değerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle melatoninin hasat öncesi dönemde biyostimülant özellikli bir düzenleyici veya hasat sonrasında kaliteyi koruyucu bir uygulama olarak değerlendirilmesi giderek daha fazla ilgi görmektedir (Manzoor et al., 2023; Aghdam and Arnao, 2024; Liu et al., 2025). Melatoninin fizyolojik aktivitesi tek bir mekanizmayla açıklanamamaktadır. Melatonin hücrel redoks dengesinin düzenlenmesine doğrudan veya dolaylı olarak katkı sağlamakta ve aynı zamanda çok sayıda bitki hormonu ve sinyal molekülüyle etkileşime girebilmektedir. Etilen, absisik asit (ABA), oksin, gibberellinler, sitokininler, jasmonik asit ve salisilik asitle olan ilişkileri, melatoninin tek başına işlev gören bir büyüme düzenleyicisinden

ziyade daha geniş bir düzenleyici ağı parçası olduğunu göstermektedir (Arnao and Hernández-Ruiz, 2018; Ali et al., 2024).

2. Bitkilerde Melatonin Biyosentezi ve Fizyolojik Roller

Bitkilerde melatonin biyosentezi temel olarak triptofandan başlamakta ve birden fazla enzimatik basamağı içermektedir. Triptofan ilk olarak triptofan dekarboksilaz enziminin aktivitesiyle triptamine dönüştürülebilmekte, bunu triptaminin hidroksilasyonu sonucu serotonin oluşumu izlemektedir. Serotonin daha sonra asetilasyon ve metilasyon reaksiyonları aracılığıyla melatonine dönüştürülmektedir. Bu biyosentetik yolda yaygın olarak görev alan enzimler arasında triptofan dekarboksilaz (TDC), triptamin 5-hidroksilaz (T5H), serotonin N-asetiltransferaz (SNAT), N-asetilserotonin metiltransferaz (ASMT) ve kafeik asit O-metiltransferaz (COMT) bulunmaktadır (Zhang et al., 2023; Gao et al., 2023). Bitkilerde melatonin biyosentez yolu, basit ve doğrusal bir biyosentetik diziden daha esnek bir yapıya sahiptir. Bitki türü, doku tipi, gelişme dönemi ve çevresel koşullara bağlı olarak alternatif reaksiyon sıraları ve farklı enzimler sürece katkıda bulunabilmektedir (Gao et al., 2023; Zhang et al., 2023). Melatoninin hücre içi lokalizasyonu da işlevleri açısından önem taşımaktadır. Kloroplastlar ve mitokondriler, melatonin sentezi ve metabolizmasının önemli merkezleri olarak kabul edilmektedir. Her iki organel de enerji üretimi ve reaktif oksijen türlerinin oluşumunda temel rol oynadığından, melatoninin bu organellerde bulunması redoks homeostazi, fotosentez, solunum ve hücrel koruma süreçlerindeki işlevleriyle uyumludur (Gao et al., 2023).

3. Eksojen Melatonin Uygulama Yöntemleri ve Doza Bağlı Yanıtlar

Deneyisel bulgular, bir bitki türü veya fizyolojik süreç için etkili olan melatonin konsantrasyonunun başka bir türe veya sürece doğrudan aktarılamayacağını açıkça göstermektedir. Örneğin, gelişme dönemindeki domates meyvelerine 50 veya 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ melatonin uygulanması primer ve sekonder metabolitlerde doza bağlı değişikliklere neden olmuş; özellikle 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ uygulamasının şeker, amino asit, fenolik bileşik, flavonoid ve uçucu bileşik metabolizması üzerinde daha belirgin etkiler oluşturduğu bildirilmiştir (Dou et al., 2022). Buna karşılık, diğer bitki türlerinde çok daha düşük konsantrasyonlar olgunlaşmayı etkileyebilmektedir. Açık yeşil gelişme dönemindeki çilek meyvelerine 10 μM melatonin enjeksiyonu, olgunlaşmayla ilişkili çeşitli değişimleri geciktirmiştir (Mansouri et al., 2023).

4. Tohum Çimlenmesi ve Vejetatif Büyüme Üzerine Etkileri

Tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi, bitkinin sonraki gelişme performansının belirlenmesinde temel aşamalardır. Çok sayıda bitki türünde melatoninin çimlenme davranışı ve erken dönem bitki gelişiminde

değişikliklere neden olduğu bildirilmektedir. Kök gelişimi, melatonin uygulamalarına karşı en sık bildirilen büyüme yanıtlarından biridir. Melatonin; kök uzunluğu, lateral kök oluşumu ve genel kök mimarisini değiştirebilmektedir (Manzoor et al., 2023). Melatonin ayrıca sürgün büyümesi, yaprak genişlemesi, biyokütle birikimi ve fizyolojik aktivite üzerinde de düzenleyici etkilere sahip olabilmektedir. Bununla birlikte, ortaya çıkan yanıt her zaman teşvik edici değildir ve konsantrasyon önemli bir belirleyicidir (Manzoor et al., 2023).

5. Fotosentez, Klorofil ve Pigment Metabolizması Üzerine Etkileri

Fotosentetik performans, bahçe bitkilerinde büyüme ve meyve üretiminin temelini oluşturmaktadır. Melatonin; klorofilin korunması, fotosentetik aktivitenin düzenlenmesi ve fotosentetik aygıtın işlevselliğinin sürdürülmesiyle ilişkilendirilmektedir (Manzoor et al., 2023). Domates bu açıdan oldukça açıklayıcı bir modeldir. Çünkü yeşil meyveden kırmızı meyveye geçiş sürecinde klorofil parçalanmakta ve başta likopen olmak üzere yoğun bir karotenoid birikimi gerçekleşmektedir. Deneysel bulgular melatoninin likopen birikimini ve karotenoid biyosenteziyle ilişkili genlerin ekspresyonunu etkileyebildiğini göstermektedir (Sun et al., 2015).

6. Çiçeklenme, Meyve Tutumu ve Verim Üzerine Etkileri

Generatif gelişme, bahçe bitkilerinde üretkenliğin temel belirleyicilerinden biridir. Mevcut bulgular melatoninin çiçeklenme, meyve oluşumu ve generatif gelişmeye katılabildiğini göstermektedir. Güncel literatürdeki çalışmalar, melatoninin çiçek gelişimi ve meyve olgunlaşmasını etkileyebildiğini ve bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde biyostimülant özellikli bir molekül olarak işlev görebileceğini göstermektedir (Manzoor et al., 2023). Bununla birlikte, verimde sürekli ve tutarlı bir artış sağladığına ilişkin kanıtlar, metabolik veya hasat sonrası etkilerine ilişkin kanıtlardan daha değişkendir. Bu nedenle kalite özelliklerindeki artışlar doğrudan verim artışının göstergesi olarak yorumlanmamalıdır.

7. Melatoninin Meyve Kalitesi ve Biyoaktif Bileşiklerin Düzenlenmesindeki Rolü

7.1. Şekerler ve Organik Asitler

Domateste elde edilen deneysel bulgular, melatoninin meyve gelişimi sırasında karbonhidrat metabolizmasını değiştirebildiğini göstermektedir. Gelişmekte olan meyvelere 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ melatonin uygulanması, çözünür şeker birikimini artırmış ve sakkaroz sentaz, sakkaroz fosfat sentaz ve asit invertaz aktivitelerindeki artışlarla ilişkilendirilmiştir. Aynı zamanda organik asitlerin konsantrasyonlarında azalma belirlenmiştir (Dou et al., 2022).

7.2. Amino Asitler

Domateste 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ melatonin uygulamasının meyve gelişimi sırasında on amino asidin birikimini artırdığı bildirilmiştir. Bu bulgu, melatonin aracılı metabolik düzenlemenin karbonhidratlarla sınırlı olmadığını göstermektedir (Dou et al., 2022).

7.3. Fenolik Bileşikler ve Flavonoidler

Domateste eksojen melatonin uygulaması altı fenolik asit ve üç flavonoidin birikimindeki artışlarla ilişkilendirilmiştir (Dou et al., 2022). Bu sonuçlar, melatoninin meyve kalitesinin yalnızca primer metabolitler üzerinden değil, sekonder metabolizma aracılığıyla da düzenlenmesine katkıda bulunabileceğini göstermektedir.

7.4. Aroma ve Uçucu Bileşikler

Melatonin uygulamasının gelişmekte olan domates meyvelerinin uçucu bileşik kompozisyonunu değiştirebildiği bildirilmiştir. Bu değişiklikler alkol, aldehit ve keton gruplarına ait çeşitli bileşikler kapsamaktadır (Dou et al., 2022).

8. Melatonin ve Meyve Olgunlaşması

8.1. Domates: Etilene Bağlı Olgunlaşmayla Etkileşim

Domates, olgunlaşmanın düzenlenmesinde etilenin merkezi role sahip olduğu klimakterik bir meyvedir. Araştırmalar, domatesin olgunlaşması sırasında melatonin ile etilen metabolizması arasında yakın bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Melatonin uygulamasının etilen üretimini, meyve yumuşamasını ve likopen birikimini etkileyebildiği bildirilmiştir (Sun et al., 2015; Arnao and Hernández-Ruiz, 2018).

8.2. Çilek: ABA ile İlişkili Olgunlaşma Yanıtları

Deneyssel bir çalışmada açık yeşil dönemdeki çilek meyvelerine 10 μM melatonin uygulanması, olgunlaşmayla ilişkili değişimleri geciktirmiştir. Olgunlaşmadaki gecikme, endojen ABA birikiminin azalması ve ABA biyosentezinde görev alan NCED genlerinin daha düşük ekspresyonuyla ilişkilendirilmiştir (Mansouri et al., 2023). Aynı çalışmada melatonin uygulamasının toplam fenolik içeriğini ve PAL aktivitesi ile ekspresyonunu artırdığı; kuersetin, gallik asit, kafeik asit ve klorojenik asit gibi bazı fenolik bileşiklerin birikimini teşvik ettiği de bildirilmiştir (Mansouri et al., 2023).

9. Hasat Sonrası Kalite ve Raf Ömrünün Düzenlenmesi

Melatonin, hasat sonrası dönemde sertlik, membran bütünlüğü, antioksidan kapasite ve ürün kalitesinin korunması açısından önemli bir potansiyele sahiptir (Liu et al., 2025).

9.1. Çilek

Hasat sonrası çilek oldukça dayanıksız bir üründür. Melatonin uygulamalarının depolama sırasında çürümenin azaltılması ve besinsel kalitenin korunmasına katkıda bulunabileceği; bu etkinin GABA şantının düzenlenmesiyle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Aghdam and Fard, 2017).

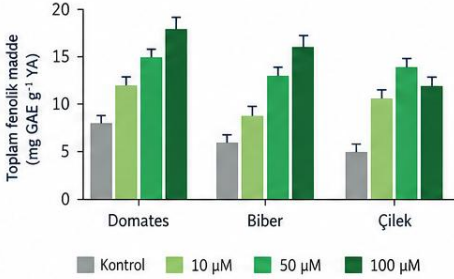
9.2. Biber

Yeşil biber meyveleri depolama sırasında yumuşama ve membran bozulmasına karşı hassastır. Eksojen melatonin uygulamasının hücre duvarı parçalanması, membran stabilitesi ve antioksidan sistemleri düzenleyerek meyve sertliğinin korunmasına katkıda bulunduğu gösterilmiştir (Li et al., 2024). Bağımsız bir başka çalışmada melatoninin yeşil biberde membran lipid metabolizmasını ve antioksidan kapasiteyi düzenlediği; SOD, CAT, APX ve POD dahil olmak üzere çeşitli antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırdığı ve depolama kalitesinin korunmasına katkı sağladığı belirlenmiştir (Huang et al., 2024). Uzun yeşil biber meyvelerinde 25–100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ melatonin uygulamalarının 28 günlük düşük sıcaklıkta depolama sırasında soğuk zararı ve kalite özellikleri üzerindeki etkileri de incelenmiş ve melatoninin hasat sonrası koruma açısından potansiyel taşıdığı gösterilmiştir (Charoenphun et al., 2024).

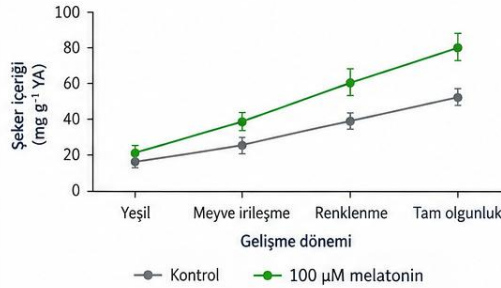
10. Türe, Gelişme Dönemine ve Doza Bağlı Yanıtlar

Gelişmekte olan domates meyvelerinde 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ melatonin; şekerler, amino asitler, fenolikler, flavonoidler ve uçucu bileşiklerde belirgin değişikliklere neden olurken (Dou et al., 2022), doğrudan çilek meyvelerine uygulanan 10 μM melatonin olgunlaşma fizyolojisini önemli ölçüde değiştirebilmiştir (Mansouri et al., 2023). Biberde ise 25–100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ aralığındaki uygulamalar hasat sonrası soğuk zararı ve kalite bakımından değerlendirilmiştir (Charoenphun et al., 2024). Dolayısıyla melatonin uygulamasının biyolojik sonucu en az altı temel faktöre bağlıdır: bitki türü ve genotip, gelişme dönemi, uygulama konsantrasyonu, uygulama yöntemi, uygulama sıklığı ve süresi ile hedeflenen fizyolojik yanıt (**Şekil 1**).

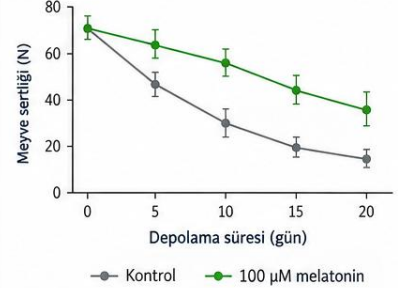
A. Farklı türlerde melatonin dozunun meyve kalitesi üzerindeki etkisi



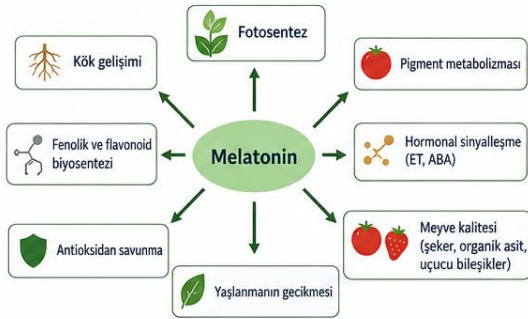
B. Gelişme dönemine göre melatonin yanıtı (domates meyvesi)



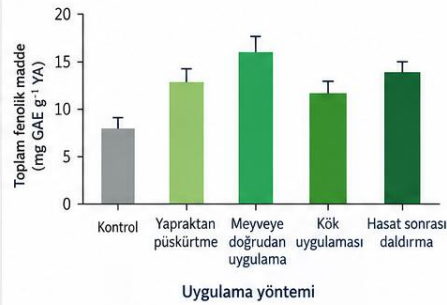
C. Hasat sonrası melatonin uygulamasının meyve sertliği üzerindeki etkisi (biber)



D. Melatoninin fizyolojik ve biyokimyasal etkileri



E. Uygulama yöntemlerine göre melatonin etkinliği (örnek: fenolik madde birikimi, biber)



F. Melatonin uygulamalarında dikkate alınması gereken temel faktörler



Şekil 1. Bahçe bitkilerinde melatonin uygulamalarına verilen yanıtların bitki türü, gelişme dönemi, uygulama dozu ve yöntemine bağlı değişimi ile melatoninin başlıca fizyolojik ve biyokimyasal etkilerinin şematik gösterimi.

11. Gelecek Perspektifleri

Bahçe bitkilerinde melatonin kullanımına ilişkin deneysel bulgular hızla artmakla birlikte, yaygın ticari kullanıma geçilebilmesi için bazı önemli konuların açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

İlk olarak, daha kapsamlı doz-yanıt çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut araştırmaların önemli bir bölümünde sınırlı sayıda melatonin konsantrasyonu karşılaştırılmakta ve bu durum biyolojik yanıtın gerçek yapısının belirlenmesini güçleştirmektedir. Daha geniş konsantrasyon aralıklarını kapsayan çalışmalar, teşvik edici etkinin başladığı eşiklerin, doygunluk noktalarının ve olası inhibisyon düzeylerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

İkinci olarak, uygulama protokollerinin standardize edilmesi gerekmektedir. Yapraktan püskürtme, doğrudan meyveye uygulama, kök bölgesinden uygulama, enjeksiyon ve hasat sonrası daldırma yöntemleri fizyolojik açıdan birbirine eşdeğer kabul edilemez. Bu nedenle çalışmalarda çözelti konsantrasyonu, çözücü bileşimi,

yüzey aktif maddeler, uygulama hacmi, uygulama zamanı ve sıklığı, bitkinin gelişme dönemi ve çevresel koşullar açık ve ayrıntılı biçimde bildirilmelidir.

Üçüncü olarak, tarla ve ticari ölçekli doğrulama çalışmalarına daha fazla önem verilmelidir. Kontrollü koşullarda yürütülen çalışmalar, melatoninin etki mekanizmalarının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde önemli düzeyde çevresel ve biyolojik değişkenlik bulunmaktadır. Bu nedenle kontrollü koşullarda açık biçimde gözlenen yanıtlar, ticari üretim koşullarında daha düşük düzeyde ortaya çıkabilir veya tutarlılığını kaybedebilir.

Dördüncü olarak, multi-omik yaklaşımların kullanılması melatoninin etki mekanizmalarının daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına önemli katkılar sağlayabilir. Transkriptomik, metabolomik, proteomik ve hormon profillemeye çalışmalarının bütünleştirilmesi, sinyal yollarında meydana gelen değişikliklerin metabolit birikimi ve gözlemlenebilir kalite özellikleriyle ilişkilendirilmesine olanak sağlayacaktır.

Beşinci olarak, melatoninin meyve olgunlaşması üzerindeki karşıt etkilerinin daha ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir. Klimakterik meyvelerde melatonin ile etilen arasındaki ilişki ve klimakterik olmayan meyvelerde melatonin ile ABA arasındaki etkileşim önemli bir araştırma çerçevesi sunmakla birlikte, türler arasında gözlenen önemli farklılıkların nedenleri henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır.

Altıncı olarak, gelecekteki araştırmalarda farklı üretim hedefleri açık biçimde birbirinden ayrılmalıdır. Büyümenin teşvik edilmesi, verimin artırılması, besinsel içeriğin zenginleştirilmesi, pigmentasyonun düzenlenmesi, olgunlaşmanın yönetilmesi ve hasat sonrası kalitenin korunması birbirinden farklı hedeflerdir ve her biri farklı melatonin konsantrasyonları ile uygulama dönemleri gerektirebilir.

Son olarak, ekonomik uygulanabilirlik, formülasyon stabilitesi, yasal düzenlemeler, kalıntı durumu ve melatonin uygulamalarının mevcut bahçe bitkileri yetiştirme teknikleriyle uyumluluğu daha ayrıntılı olarak ele alınmalıdır. İstatistiksel olarak anlamlı bir fizyolojik etkinin ortaya konulması, melatoninin ticari uygulamaya aktarılması sürecinin yalnızca ilk aşamasını oluşturmaktadır.

12. Sonuç

Melatonin, bitkilerde yalnızca antioksidan savunmayla ilişkili bir molekül olmaktan öte, büyüme ve gelişme, abiyotik stres yanıtları, ürün kalitesi, meyve olgunlaşması ve hasat sonrası fizyolojinin düzenlenmesinde rol oynayan çok işlevli bir düzenleyici olarak öne çıkmaktadır. Mevcut bulgular, melatoninin kök gelişimi ve fotosentetik süreçlerden pigment metabolizması, hormonal sinyalleşme ve primer ve sekonder metabolizmaya kadar uzanan çok sayıda fizyolojik ve biyokimyasal süreci etkileyebildiğini göstermektedir. Ayrıca reaktif

oksijen türleri homeostazının düzenlenmesi, antioksidan savunmanın güçlendirilmesi, membran bütünlüğünün korunması ve su ve iyon dengesinin sürdürülmesine katkıları, melatoninin olumsuz çevre koşullarına karşı bitki yanıtlarının düzenlenmesindeki önemini ortaya koymaktadır. Melatoninin sebze ürünlerinin kalite özellikleri üzerindeki etkileri de dikkat çekicidir. Deneysel çalışmalar, melatonin uygulamalarının şeker ve organik asit metabolizmasını, amino asit birikimini, fenolik ve flavonoid bileşiklerin oluşumunu, pigment metabolizmasını ve uçucu bileşik kompozisyonunu değiştirebildiğini göstermektedir. Bunun yanında, melatoninin meyve olgunlaşmasını düzenleyen hormonal mekanizmalarla etkileşimi türe bağlı farklılıklar gösterebilmektedir. Domateste etilen metabolizmasıyla, çilekte ise ABA sinyalleşmesiyle bildirilen ilişkiler, melatoninin olgunlaşma üzerindeki etkisinin bitki türüne, gelişme dönemine ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır. Hasat sonrası dönemde ise melatonin uygulamalarının meyve sertliği ve membran bütünlüğünün korunmasına, antioksidan kapasitenin sürdürülmesine, oksidatif hasar ve soğuk zararının sınırlandırılmasına ve depolama süresince ürün kalitesinin korunmasına katkıda bulunabileceği görülmektedir. Bununla birlikte, melatonin bütün bitki türleri ve yetiştirme koşullarında benzer yanıtlar oluşturan evrensel bir büyüme teşvik edicisi veya koruyucu olarak değerlendirilmemelidir. Bitki türü ve genotip, gelişme dönemi, uygulama konsantrasyonu ve yöntemi, uygulama zamanı ve hedeflenen fizyolojik süreç, melatoninin etkinliğini belirleyen temel faktörlerdir. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların türe ve gelişme dönemine özgü doz–yanıt ilişkilerinin belirlenmesine, uygulama protokollerinin standardizasyonuna, etki mekanizmalarının moleküler düzeyde açıklanmasına ve kontrollü koşullarda elde edilen sonuçların tarla ve ticari üretim koşullarında doğrulanmasına odaklanması gerekmektedir. Bu gerekliliklerin karşılanması durumunda melatonin, sebze yetiştiriciliğinde abiyotik stres toleransının desteklenmesi, ürün kalitesinin geliştirilmesi ve hasat sonrası kayıpların azaltılması açısından önemli bir uygulama potansiyeline sahip olabilir.

Kaynaklar

- Aghdam, M. S., & Arnao, M. B. (2024). Phytomelatonin: From intracellular signaling to global horticulture market. *Journal of Pineal Research*, 76(5), e12990. DOI: 10.1111/jpi.12990.
- Aghdam, M.S., Fard, J.R. (2017). Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. *Food Chemistry*, 221, 1650–1657. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.10.123.
- Ali, M. A. A., Nasser, M. A., Abdelhamid, A. N., Ali, I. A. A., Saudy, H. S., & Hassan, K. M. (2024). Melatonin as a key factor for regulating and relieving abiotic stresses in harmony with phytohormones in horticultural plants A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24, 54–73. DOI: 10.1007/s42729-023-01586-9.
- Arnao, M.B., Hernández-Ruiz, J. (2018). Melatonin and its relationship to plant hormones. *Annals of Botany*, 121(2), 195–207. DOI: 10.1093/aob/mcx114.
- Back, K., Tan, D.X., Reiter, R.J. (2016). Melatonin biosynthesis in plants: multiple pathways catalyze tryptophan to melatonin in the cytoplasm or chloroplasts. *Journal of Pineal Research*, 61(4), 426–437. DOI: 10.1111/jpi.12364.
- Charoenphun, N., Pham, N.H., Rattanawut, J., Venkatachalam, K. (2024). Exogenous application of melatonin on the preservation of physicochemical and enzymatic qualities of pepper fruit from chilling injury. *Horticulturae*, 10(6), 550. DOI: 10.3390/horticulturae10060550.
- Cheng, C., Liu, J., Qu, P., Tong, Z., & Zhang, Y. (2023). Molecular and functional insights into MaTDC and MaASMT genes associated with melatonin biosynthesis and low temperature stress in banana. *Scientia Horticulturae*, 318, 112090. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112090.
- Dou, J., Wang, J., Tang, Z., Yu, J., Wu, Y., Liu, Z., Wang, J., Wang, G., Tian, Q. (2022). Application of exogenous melatonin improves tomato fruit quality by promoting the accumulation of primary and secondary metabolites. *Foods*, 11(24), 4097. DOI: 10.3390/foods11244097.
- Gao, Y., Chen, H., Chen, D., & Hao, G. (2023). Genetic and evolutionary dissection of melatonin response signaling facilitates the regulation of plant growth and stress responses. *Journal of Pineal Research*, 74(2), e12850. DOI: 10.1111/jpi.12850.

- Huang, T., Kou, X., Qiao, L., Li, J., Luo, D., Wang, X., Cao, S. (2024). Maintaining quality of postharvest green pepper fruit using melatonin by regulating membrane lipid metabolism and enhancing antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 460, 140671. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.140671.
- Li, P., Zhang, R., Zhou, H., Mo, Y., Wu, S., Zhang, X., Xie, Z., Zhang, T., Zhao, K., Lv, J., Deng, M. (2024). Melatonin delays softening of postharvest pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) by regulating cell wall degradation, membrane stability and antioxidant systems. *Postharvest Biology and Technology*, 212, 112852. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2024.112852.
- Liu, Y., Xu, J., Lu, X., Huang, M., Yu, W., Li, C. (2025). The role of melatonin in delaying senescence and maintaining quality in postharvest horticultural products. *Plant Biology*, 27, 3–17. DOI: 10.1111/plb.13706.
- Mansouri, S., Koushesh Saba, M., Sarikhani, H. (2023). Exogenous melatonin delays strawberry fruit ripening by suppressing endogenous ABA signaling. *Scientific Reports*, 13, 14209. DOI: 10.1038/s41598-023-41311-1.
- Manzoor, M.A., Xu, Y., Xu, J., Wang, Y., Sun, W., Liu, X., Zhang, C. (2023). Melatonin: A multi-functional regulator of fruit crop development and abiotic stress response. *Scientia Horticulturae*, 321, 112282. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112282.
- Sharma, P., Thakur, N., Ann, N., Mann, A., & Umar, A. (2024). Melatonin as plant growth regulator in sustainable agriculture. *Scientia Horticulturae*, 323, 112421. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112421.
- Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Zhang, H., Li, D., Shi, J., Li, R., Weeda, S., Zhao, B., Ren, S., Guo, Y.-D. (2015). Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. *Journal of Experimental Botany*, 66(3), 657–668. DOI: 10.1093/jxb/eru332.
- Zhang, Z., Zhang, X., Chen, Y., Jiang, W., Zhang, J., Wang, J., Wu, Y., Wang, S., Yang, X., Liu, M., & Zhang, Y. (2023). Understanding the mechanism of red light-induced melatonin biosynthesis facilitates the engineering of melatonin-enriched tomatoes. *Nature Communications*, 14, 5525. DOI: 10.1038/s41467-023-41307-5.

BAHÇE BİTKİLERİNDE NANOTEKNOLOJİ: GÜNCEL GELİŞMELER VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD¹, Doç. Dr. Yahya NAS²

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

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

Özet

Nanoteknoloji, bahçe bitkileri üretiminde besin elementi kullanım etkinliğini artırma, verim ve ürün kalitesini iyileştirme ve sürdürülebilir bitki besleme yaklaşımlarını destekleme potansiyeli nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu derleme, başta ZnO, Fe, SiO₂ ve Cu temelli nanomateriyaller olmak üzere nanogübreler ve mühendislik ürünü nanopartiküllerin bahçe bitkilerindeki agronomik, fizyolojik ve biyokimyasal rollerine ilişkin güncel bulguları eleştirel biçimde sentezlemektedir. Mevcut çalışmalar, nano-temelli materyallerin besin elementlerinin alımı ve taşınımını düzenleyebildiğini; kök gelişimi, klorofil biyosentezi, fotosentetik performans, redoks dengesi ve sekonder metabolizma üzerinden büyüme, verim, mineral kompozisyonu ile ürünün besinsel ve fonksiyonel özelliklerini değiştirebildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, elde edilen sonuçlar nanomateriyalin kimyasal yapısı, partikül büyüklüğü, yüzey özellikleri, çözünme davranışı, konsantrasyonu ve uygulama yöntemi ile bitki türü, genotip, gelişme dönemi ve yetiştirme koşullarına göre farklılık göstermektedir. Uygun dozlarda olumlu yanıtlar gözlenirken, yüksek konsantrasyonlar reaktif oksijen türlerinin aşırı üretimine, beslenme dengesizliklerine, fitotoksisteye ve bitki dokuları ile çevrede istenmeyen birikimlere yol açabilmektedir. Literatürdeki başlıca bilgi boşluklarından biri, gözlenen yanıtların nanopartiküllerin nano-ölçekli özelliklerinden, çözünme sonucu açığa çıkan iyonlardan veya artan besin elementi kullanılabilirliğinden hangisinin temel belirleyici olduğunun yeterince açıklanamamasıdır. Ayrıca, mevcut kanıtların büyük bölümü kısa süreli ve kontrollü koşullarda yürütülen araştırmalardan elde edilmiş olup tam yetiştirme dönemini kapsayan sera ve tarla denemeleri, yenilebilir dokulardaki kalıntılar, biyotransformasyon süreçleri ve uzun dönemli çevresel sonuçlar hakkında yeterli veri bulunmamaktadır. Gelecekteki araştırmalarda nanomateriyallerin eşdeğer element dozlarındaki geleneksel gübrelerle karşılaştırılması, ayrıntılı fizikokimyasal karakterizasyonlarının yapılması ve bitki içerisindeki alım, taşınım, dönüşüm ve birikim mekanizmalarının açıklığa kavuşturulması öncelikli olmalıdır. Agronomik yararların gıda güvenliği, çevresel riskler ve ekonomik uygulanabilirlikle birlikte ele alınması, bahçe bitkilerinde bitkiye, formülasyona ve doza özgü güvenli ve sürdürülebilir nano-besleme stratejilerinin oluşturulması açısından kritik öneme sahiptir.

Anahtar kelimeler: Nanoteknoloji, besin elementi kullanım etkinliği, ürün kalitesi, gıda güvenliği

NANOTECHNOLOGY IN HORTICULTURAL CROPS: CURRENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES

Abstract

Nanotechnology is gaining increasing attention in horticultural production due to its potential to enhance nutrient-use efficiency, improve crop productivity and product quality, and support more sustainable plant nutrition strategies. This review critically synthesizes recent advances concerning the agronomic, physiological, and biochemical roles of nano-fertilizers and engineered nanoparticles in horticultural crops, with particular emphasis on ZnO-, Fe-, SiO₂-, and Cu-based nanomaterials. Current evidence indicates that nano-enabled materials can modulate nutrient uptake and translocation and influence root development, chlorophyll biosynthesis, photosynthetic performance, redox homeostasis, and secondary metabolism, thereby affecting plant growth, yield, mineral composition, and the nutritional and functional attributes of horticultural products. However, these responses vary considerably depending on the chemical composition, particle size, surface properties, dissolution behavior, concentration, and application method of the nanomaterial, as well as crop species, genotype, developmental stage, and growing conditions. While appropriate doses may elicit beneficial responses, excessive concentrations can promote overproduction of reactive oxygen species, nutrient imbalances, phytotoxicity, and undesirable accumulation in plant tissues and the environment. A major knowledge gap is the difficulty in determining whether observed plant responses arise primarily from nanoscale-specific properties, ions released through nanoparticle dissolution, or enhanced nutrient availability. Moreover, much of the available evidence originates from short-term experiments conducted under controlled conditions, whereas data from full-season greenhouse and field trials remain limited, particularly regarding residues in edible tissues, biotransformation processes, and long-term environmental consequences. Future research should prioritize direct comparisons of nanomaterials with conventional fertilizers at equivalent elemental doses, comprehensive physicochemical characterization, and elucidation of their uptake, translocation, transformation, and accumulation within plants. Integrating agronomic benefits with food safety, environmental risk, and economic feasibility will be essential for developing crop-, formulation-, and dose-specific nano-enabled nutrition strategies for safe and sustainable horticultural production.

Keywords: Nanotechnology, nutrient-use efficiency; product quality, food safety

1. Giriş

Yüksek ürün verimi ve kalitesi korunurken besin elementi kullanım etkinliğinin artırılması, sürdürülebilir bahçe bitkileri üretiminin temel sorunlarından birini oluşturmaktadır. Geleneksel gübreleme uygulamalarında besin elementleri yıkanma, buharlaşma, fiksasyon ve diğer süreçler yoluyla kayba uğrayabilmekte; bu durum gübre kullanım etkinliğini azaltırken çevresel kirlilik riskini de artırabilmektedir. Bu nedenle nanoteknoloji, besin elementlerinin bitkiye ulaştırılmasını ve tarımsal girdilerin kullanım etkinliğini iyileştirmeye yönelik alternatif veya tamamlayıcı bir yaklaşım olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir. Özellikle nanoformdaki besin elementlerinin uygun dozlarda kullanılması, besin elementi alımı ve kullanım etkinliğinin yanı sıra bitki büyümesi, verim ve ürün kalitesini de etkileyebilmektedir (Ahmed et al., 2023; Almendros et al., 2022). Son yıllardaki gelişmeler, tarımsal nanoteknolojinin kullanım alanını bahçe bitkilerini de kapsayacak biçimde genişletmiştir. Bahçe bitkilerinde üretim hedefleri yalnızca yüksek verimle sınırlı olmayıp görsel kalite, besin değeri, fonksiyonel özellikler ve hasat sonrası kaliteyi de kapsamaktadır. Zn, Fe, Si, Cu ve diğer elementleri içeren nanomateryallerin bitki besleme, büyüme, fotosentetik aktivite, antioksidan savunma, stres yanıtları, verim ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Nitekim ZnO ve Fe₃O₄ nanopartiküllerinin yapraktan uygulanmasının hıyarda klorofil içeriği, tohum verimi ve meyve ile tohumlardaki Zn ve Fe konsantrasyonlarını etkileyebildiği bildirilmiştir (Gupta et al., 2022). ZnO nanopartiküllerinin domateste büyüme, besin elementi alımı, verim ve kalite özelliklerini etkileyebildiği; farklı uygulama yöntemleri ve konsantrasyonlarının meyvenin antioksidan özellikleri, likopen, β -karoten ve şeker içeriğinde değişikliklere neden olabildiği bildirilmiştir (Włodarczyk et al., 2024). Ayrıca farklı boyutlardaki ZnO materyallerinin domateste büyüme, fotosentetik performans ve Zn taşınımı üzerinde farklı etkiler oluşturabildiği gösterilmiştir (Sun et al., 2023a). Yüzeyi prolin ve betain ile modifiye edilmiş ZnO nanopartiküllerinin kuraklık koşullarında domates bitkilerinin fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlarını düzenleyebildiği ve meyvenin besinsel özelliklerini etkileyebildiği ortaya konulmuştur (Hanif et al., 2024). Benzer şekilde, Si nanopartiküllerinin kuraklık koşullarında sera domatesinde büyüme, meyve özellikleri ve su kullanım etkinliği üzerinde uygulama dozu ve yöntemine bağlı etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Ayrıca Si nanopartiküllerinin tuzluluk koşullarında biberde çimlenme ve fizyolojik yanıtları etkilediği ve tarla koşullarında büyüme, fotosentetik performans ve verimi artırabildiği gösterilmiştir (Li et al., 2024). Bununla birlikte, nanomateryallerin agronomik performansı potansiyel biyolojik ve çevresel risklerinden bağımsız olarak değerlendirilmemelidir. Nanopartiküllerin biyolojik etkileri; partikül boyutu, konsantrasyon, kimyasal bileşim ve bitki dokularındaki birikim ve taşınım özelliklerine bağlı olarak önemli

ölçüde değişebilmektedir. Örneğin ZnO nanopartiküllerinin partikül boyutuna bağlı olarak Çin lahanasında (*Brassica chinensis* L.) fitotoksosite, birikim ve kökten yaprağa taşınım açısından farklı yanıtlar oluşturduğu gösterilmiştir (Kim et al., 2024). Benzer şekilde, CuO nanopartiküllerinin yüksek maruziyet düzeylerinde domateste çimlenme, biyokütle, klorofil ve meyve kalite özelliklerini olumsuz etkileyebildiği bildirilmiştir (Solanki and Khan, 2024). Bu bulgular, nanomateriyallerin potansiyel agronomik yararları değerlendirilirken doz, partikül özellikleri, yenilebilir dokulardaki birikim ve çevresel güvenlik konularının birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, söz konusu derlemede bahçe bitkilerinde nanogübre ve nanopartikül uygulamalarına ilişkin güncel gelişmeler; nanopartiküllerin alımı ve taşınması, besin kullanım etkinliği, bitki büyümesi ve fotosentetik performans, verim, ürün kalitesi, besin değeri, fitotoksosite ve çevresel güvenlik açısından değerlendirilmektedir.

2. Tarım ve Bahçe Bitkilerinde Nanoteknoloji Kavramı

Nanoteknoloji, genel olarak nanoskopik ölçekteki materyallerin tasarlanması, karakterizasyonu, kontrolü ve farklı amaçlarla uygulanmasını kapsayan disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Tarımsal üretimde nanomateriyaller; bitki besleme, gübrelerin kontrollü salınımı, bitki koruma, sensör teknolojileri ve tarımsal girdilerin daha etkin biçimde taşınması gibi farklı amaçlarla kullanılabilir. Özellikle nanogübreler, besin elementlerinin bitkiye daha kontrollü biçimde ulaştırılmasına ve geleneksel gübrelerden kaynaklanabilen besin kayıplarının sınırlandırılmasına yönelik yenilikçi yaklaşımlar arasında değerlendirilmektedir. Nitekim kontrollü salınımlı nano-üre formülasyonlarının domateste geleneksel üreye kıyasla azot alım etkinliğini artırabildiği ve daha düşük azot dozlarında dahi büyüme, verim ve bazı meyve kalite özelliklerinin korunmasına veya geliştirilmesine katkı sağlayabildiği bildirilmiştir. Nanomateriyallerin tarımsal açıdan önem kazanmasında küçük partikül boyutu, yüksek özgül yüzey alanı, yüksek yüzey reaktivitesi ve fizikokimyasal özelliklerinin amaca göre düzenlenebilmesi önemli rol oynamaktadır. Besin elementlerinin nanotaşıyıcılar veya nanokompozit yapılar içerisinde formüle edilmesi, besin elementlerinin salınım hızının düzenlenmesine ve bitkiler tarafından kullanım etkinliğinin artırılmasına olanak sağlayabilmektedir. Domateste yürütülen çalışmalar, nanoformülasyonların yalnızca bitki büyümesini değil, besin elementi kullanım etkinliği, verim ve meyvelerin besinsel özelliklerini de etkileyebildiğini ortaya koymaktadır (Ahmed et al., 2023). Özellikle ZnO nanopartiküllerinin yapraktan uygulanmasının domateste bitki büyümesi, besin elementi alımı, verim ve kalite özellikleri üzerinde doza bağlı değişiklikler oluşturduğu bildirilmiştir (Ahmed et al., 2023). Bahçe bitkilerinde nanoteknolojinin kullanım alanı yalnızca bitki besleme ve gübreleme uygulamalarıyla sınırlı değildir. Nano-

destekli sistemler; abiyotik stres koşullarında bitki performansının desteklenmesi, bitki koruma uygulamalarının geliştirilmesi, ürün kalitesinin izlenmesi ve hasat sonrası süreçlerin yönetilmesi gibi farklı alanlarda da değerlendirilmektedir. Örneğin domateste yapraktan uygulanan nano-besin çözeltisinin kuraklık koşullarında büyüme ve biyokimyasal özellikler üzerinde etkili olabildiği gösterilmiştir. Ayrıca nanopartikül tabanlı sensör teknolojilerinin meyve olgunlaşmasının önemli göstergelerinden biri olan etilenin belirlenmesinde kullanılabilmesi, nanoteknolojinin üretim aşamasının ötesinde kalite izleme ve hasat sonrası yönetimde de kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, nanomateriyallerin tarımsal kullanımında yalnızca sağladıkları agronomik yararların dikkate alınması yeterli değildir. Nanopartiküllerin fizikokimyasal dönüşümleri, bitki bünyesindeki davranışları, çevredeki kalıcılıkları ve olası toksikolojik etkileri uygulama başarısını ve güvenliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle bahçe bitkilerinde nanoteknolojinin sürdürülebilir kullanımının; uygun nanopartikül karakterizasyonu, optimum dozun belirlenmesi, bitki türüne özgü yanıtların değerlendirilmesi ve çevresel ve gıda güvenliğinin birlikte ele alınmasına dayandırılması gerekmektedir (Wei et al., 2024).

3. Bahçe Bitkileri Üretiminde Kullanılan Başlıca Nanomateriyaller

3.1. Çinko Oksit Nanopartikülleri

Çinko oksit nanopartikülleri (ZnO NP'ler), bitkisel üretimde en yaygın araştırılan nanomateriyaller arasında yer almaktadır. Çinko; enzim aktivasyonu, protein sentezi, membran bütünlüğü, oksin metabolizması ve antioksidan savunmada görev alan temel bir mikro besin elementidir. Bu nedenle nano-Zn formülasyonları, bitkilerin Zn beslenmesini ve agronomik performansını iyileştirmeye yönelik potansiyel araçlar olarak önemli ölçüde ilgi görmektedir. ZnO nanopartikülleri yapraktan uygulama, tohum ön uygulaması (priming), toprağa uygulama veya besin çözeltisine ilave edilme yoluyla bitkilere verilebilmektedir. Konsantrasyon ve bitki türüne bağlı olarak ZnO NP uygulamalarının çimlenme, kök ve sürgün gelişimi, klorofil içeriği, fotosentetik performans, besin elementi alımı, biyokütle üretimi, verim ve kalite üzerinde değişikliklere yol açabildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte biyolojik yanıt büyük ölçüde doza bağlıdır. Yüksek konsantrasyonlarda ZnO nanopartikülleri oksidatif stresi artırabilmekte, besin elementi dengesini bozabilmekte veya büyümeyi sınırlandırabilmektedir. Dolayısıyla nano-Zn'nin agronomik değeri, nanoskopik Zn'nin geleneksel Zn gübrelerinden doğrudan üstün olduğunun varsayılmasından ziyade uygun konsantrasyon aralığının belirlenmesine bağlıdır (Qin et al., 2025).

3.2. Demir Esaslı Nanopartiküller

Demir; klorofil oluşumu, elektron taşınımı, solunum, fotosentez ve çok sayıda enzimatik reaksiyon için gerekli bir elementtir. Bu nedenle özellikle Fe_3O_4 gibi demir oksit esaslı nanomateriyaller, alternatif Fe kaynakları ve potansiyel biyofortifikasyon araçları olarak araştırılmaktadır. Nano-Fe uygulamaları klorofil oluşumu, fotosentetik aktivite, bitki biyokütlesi, beslenme durumu, antioksidan metabolizma ve yenilebilir dokulardaki Fe birikimini etkileyebilmektedir. Bu materyallerin potansiyel değeri, özellikle geleneksel Fe gübrelerinin yararlılığının sınırlı olduğu koşullarda daha belirgin hale gelebilir. Bununla birlikte Fe nanopartiküllerinin etkinliği; formülasyon, partikül özellikleri, uygulama yöntemi, bitki türü ve yetiştirme ortamına bağlı olarak değişmektedir. Genel uygulama önerilerinin geliştirilebilmesi için bu materyallerin topraktaki uzun dönemli dönüşümleri ve yenilebilir dokulardaki birikimlerinin daha ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir (Channab et al., 2024; Wen et al., 2025).

3.3. Silisyum Dioksit Nanopartikülleri

Silisyum dioksit nanopartikülleri (SiO_2 NP'ler), silisyumun yapısal dayanıklılık, su ilişkileri, fotosentetik performans, mineral denge ve çevresel streslere karşı bitki yanıtlarıyla ilişkili olması nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Silisyum yüksek bitkiler için genel olarak mutlak gerekli bir besin elementi olarak sınıflandırılmamakla birlikte, çok sayıda bitki türünde yararlı etkileri ortaya konulmuştur. Nano-Si uygulamaları kök ve sürgün gelişimini, klorofil stabilitesini, fotosentetik performansı, antioksidan savunmayı, mineral dengeyi, verimi ve sekonder metabolizmayı etkileyebilmektedir. Bu etkiler, fenolik bileşikler, flavonoidler, pigmentler ve diğer sekonder metabolitlerde meydana gelen değişimlerin ürünlerin besinsel ve fonksiyonel kalitesini doğrudan etkileyebilmesi nedeniyle bahçe bitkileri açısından özellikle önemlidir. Bununla birlikte yanıtların bitki türü ve uygulama konsantrasyonuna göre değişmesi, doz optimizasyonunun önemini ortaya koymaktadır (Manzoor et al., 2024; Wen et al., 2025).

3.4. Bakır Esaslı Nanopartiküller

Cu ve CuO nanomateriyallerini içeren bakır esaslı nanopartiküller, tarımsal uygulamalarda kullanılan bir diğer önemli nanopartikül grubudur. Bakır; fotosentetik ve solunumsal elektron taşınımı, enzim aktivitesi, lignifikasyon ve antioksidan metabolizmada görev alan temel bir mikro besin elementidir. Uygun düşük konsantrasyonlarda Cu esaslı nanomateriyaller kök gelişimi, fotosentetik aktivite, besin elementi alımı, sekonder metabolizma ve antioksidan yanıtları etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, Cu gereksinimi ile toksisite düzeyi arasındaki aralığın nispeten dar olması, uygun doz seçimini özellikle önemli hale getirmektedir. Aşırı Cu

nanopartikül maruziyeti reaktif oksijen türlerinin üretimini ve lipid peroksidasyonunu artırarak membran hasarı ve büyüme gerilemesine neden olabilmektedir. Bu nedenle Cu esaslı nanomateriyaller, agronomik yararlar ile potansiyel toksisitenin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini gösteren önemli bir örnek oluşturmaktadır.

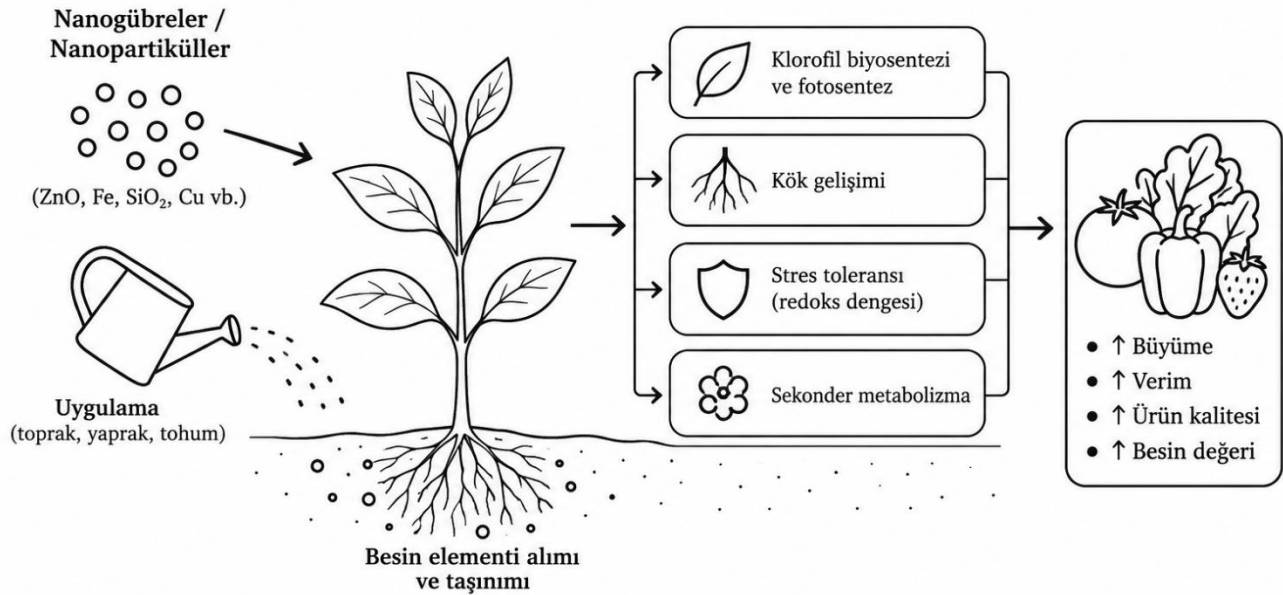
3.5. Nanoformüle Gübreler ve Nanotaşıyıcılar

Tarımsal nanoteknoloji yalnızca metal ve metal oksit nanopartikülleriyle sınırlı değildir. Besin elementleri nanotaşıyıcılar, nanokompozitler, nanoenkapsüle formülasyonlar veya diğer kontrollü salım sistemlerine dahil edilebilmektedir. Bu tür formülasyonlar besin elementlerinin stabilitesini artırmak, salınımını düzenlemek, kayıpları azaltmak ve bitkiler tarafından yarayışlılığını geliştirmek amacıyla tasarlanmaktadır. Nanoformüle gübrelerin etkinliği yalnızca içerdikleri besin elementine değil; taşıyıcı materyalin bileşimi, partikül boyutu, yüzey özellikleri, salım kinetiği, çevresel stabilitesi ve toprak veya besin çözeltisiyle etkileşimlerine de bağlıdır. Bu nedenle nanogübre performansının değerlendirilmesinde formülasyona özgü karakterizasyon temel bir gereklilik oluşturmaktadır (Channab et al., 2024).

4. Nanopartiküllerin Bitkiler Tarafından Alınması ve Taşınması

Nanopartiküller kökler, yapraklar, tohumlar ve diğer açık bitki dokuları aracılığıyla bitkilerle etkileşime girebilmektedir. Nanopartiküllerin bitkiye alımı ve sonraki taşınımı; partikül boyutu, yüzey yükü, kimyasal bileşim, kaplama, agregasyon durumu, çözünürlük, bitki türü ve çevresel koşullar gibi çok sayıda faktöre bağlıdır (Hu et al., 2020; Rodrigues et al., 2024). Kök bölgesine uygulandığında nanopartiküller rizosfer bileşenleri, kök salgıları, müsilaj, hücre duvarları ve membran sistemleriyle etkileşime girmektedir. Özelliklerine bağlı olarak nanopartiküller veya bunlardan çözünen bileşenler apoplastik veya simplastik yollara girebilmekte ve daha sonra toprak üstü organlara taşınabilmektedir. Yapraktan uygulamalarda ise penetrasyon stomalar, kutikular yollar, trikomlarla ilişkili bölgeler veya yaprak yüzeyindeki mikroskobik süreksizlikler aracılığıyla gerçekleşebilmektedir (Hu et al., 2020; Wen et al., 2025). Domateste yapraktan uygulanan ZnO nanopartiküllerinin mezogözenekli SiO₂ ile kaplanması nanopartikül alımını ve bitki içerisindeki taşınımını kolaylaştırabildiği; ayrıca yaprağın alt yüzeyine yapılan uygulamanın daha yüksek alım ve floem yoluyla sistemik taşınım sağladığı deneysel olarak gösterilmiştir (Gao et al., 2023b). Nanopartikül çalışmalarındaki temel metodolojik sorunlardan biri, doğrudan nanopartiküllerden kaynaklanan etkiler ile nanopartiküllerden çözünen iyonların oluşturduğu etkilerin birbirinden ayrılmasıdır. Bu durum özellikle ZnO, CuO ve kısmen çözünebilen diğer metal esaslı nanopartiküller açısından önem taşımaktadır. Nitekim ZnO nanopartiküllerinin yüzey özelliklerinin ve kaplanması çözünme, yapraktan alım, floeme yüklenme ve bitkinin farklı organlarına

taşıyım üzerinde belirleyici olabileceği biber bitkisinde gösterilmiştir (Rodrigues et al., 2024). Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda gözlenen tüm yanıtların doğrudan nanopartiküllere atfedilmesi yerine çözünme, dönüşüm, agregasyon ve dokulardaki lokalizasyon süreçlerinin de karakterize edilmesi gerekmektedir. Nanopartiküllerin bahçe bitkilerinde alım ve taşıyımından başlayarak fizyolojik ve metabolik süreçler ile büyüme, verim ve ürün kalitesine uzanan başlıca etkileri Şekil 1’de şematik olarak özetlenmiştir.



Şekil 1. Bahçe bitkilerinde nanogübre ve nanopartikül uygulamalarının bitki alımı ve taşıyımını ile büyüme, verim ve ürün kalitesi üzerindeki başlıca etkilerinin şematik gösterimi.

5. Nanogübrelerin Besin Kullanım Etkinliği Üzerine Etkileri

Besin elementi kullanım etkinliğinin artırılması, nanogübre teknolojisinin geliştirilmesindeki temel hedeflerden biridir. Geleneksel gübreler, bitkiler tarafından alınmadan önce önemli düzeyde kayba uğrayabilmektedir. Nano-destekli formülasyonlar kontrollü salım, bitki yüzeyiyle daha fazla temas, değişen çözünürlük özellikleri veya besin elementlerinin daha etkin taşıyınması yoluyla bu kayıpların azaltılmasına katkıda bulunabilir (Channab et al., 2024). Güncel literatür, nanogübrelerin besin elementi alımını artırabileceğini ve besin kullanım etkinliğini iyileştirebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, etkinin büyüklüğü besin elementi türü, formülasyon, doz, bitki türü ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Nano-destekli besleme stratejileri, mevcut besin kaynaklarının tamamen yerine kullanılmak yerine organik gübreler, toprak düzenleyiciler veya

geleneksel gübreleme programlarıyla entegre biçimde de uygulanabilir (Qin et al., 2025). Bu alandaki önemli gerekliliklerden biri, nanogübrelerin eşdeğer element dozlarında geleneksel gübrelerle doğrudan karşılaştırılmasıdır. Bu tür karşılaştırmalar yapılmadığında gözlenen iyileşmenin gerçek bir nano-özgü etkiden mi yoksa yalnızca besin elementi yarıyışlılığındaki artıştan mı kaynaklandığının belirlenmesi güçleşmektedir.

6. Bitki Büyümesi ve Fotosentetik Performans Üzerine Etkileri

Nanopartiküllerin bitki büyümesi üzerindeki etkileri; besin elementi alımının iyileştirilmesi, kök sistemi mimarisindeki değişiklikler, klorofil oluşumunun desteklenmesi, fotosentetik aktivitenin düzenlenmesi ve antioksidan veya hormonal süreçlerin modülasyonu ile ilişkili olabilmektedir. Çimlenme, fide gelişimi, kök ve sürgün büyümesi, yaprak alanı, biyokütle birikimi ve fotosentetik performans üzerinde olumlu etkiler bildirilmektedir (Manzoor et al., 2024; Rehman et al., 2023). Özellikle ZnO nanopartiküllerinin domateste kök mimarisi ve fizyolojik özellikler üzerinde konsantrasyona bağlı değişiklikler oluşturduğu ve uygun konsantrasyonlarda bitki gelişimini destekleyebildiği bildirilmiştir (Rehman et al., 2023). Fotosentez, nanopartikül uygulamalarından etkilenebilen temel fizyolojik süreçlerden biridir. Zn, Fe, Si veya Cu içeren nanomateryaller; klorofil oluşumu, elektron taşınımı, stomatal davranış, enzim aktivitesi ve antioksidan korumayla doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili süreçleri etkileyebilmektedir. Bunun yanında, TiO₂ nanopartiküllerinin domateste kök sisteminin gelişimini desteklediği ve fotosentetik performansı artırdığı gösterilmiştir (Li et al., 2023). SiO₂ nanopartiküllerinin ise stres koşullarında hıyar bitkilerinin büyümesi ve fotosentetik etkinliğini iyileştirirken antioksidan savunma sistemini de düzenleyebildiği bildirilmiştir (Altaf et al., 2024). Bu nedenle iyileştirilmiş mineral beslenme ve nanopartiküllerin fizyolojik süreçler üzerindeki düzenleyici etkileri, fotosentetik kapasitenin ve biyokütle üretiminin artmasına katkıda bulunabilir. Bununla birlikte, olumlu yanıtlar tüm koşullar için geçerli değildir. Fizyolojik optimumun üzerindeki konsantrasyonlarda nanopartiküller kloroplast yapısını bozabilir, aşırı reaktif oksijen türü oluşumunu teşvik edebilir, besin elementi alımını engelleyebilir ve fotosentetik performansı azaltabilir. Nitekim ZnO nanopartiküllerine verilen büyüme ve fizyolojik yanıtların uygulama konsantrasyonuna bağlı olduğu gösterilmiştir (Rehman et al., 2023). Dolayısıyla nanopartiküllerin büyüme ve fotosentez üzerindeki etkileri çoğunlukla nanomateryalin türü, uygulama dozu ve yetiştirme koşullarına bağlı yanıtlar göstermektedir.

7. Verim ve Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri

Bahçe bitkileri üretiminde nanoteknolojinin pratik değeri, besin elementi alımı ve bitki fizyolojisinde meydana gelen iyileşmelerin pazarlanabilir verim ve ürün kalitesine yansıyor yansımadığıyla doğrudan ilişkilidir. Güncel

çalışmalar, nanogübre uygulamalarının meyve sayısı, meyve büyüklüğü, toplam verim, mineral bileşim, pigmentler, çözünebilir kuru madde, fenolik bileşikler, flavonoidler, vitaminler ve diğer kalite özelliklerini etkileyebildiğini göstermektedir (Qin et al., 2025; Ahmed et al., 2023). Bu durum bahçe bitkileri açısından özellikle önemlidir; çünkü ürünün ekonomik değeri yalnızca verimle değil, aynı zamanda kalite özellikleriyle de belirlenmektedir. Nitekim ZnO nanopartiküllerinin domateste verim ve meyve besin kompozisyonunu değiştirebildiği; meyvelerde likopen, amino asitler ve bazı mineral elementlerin konsantrasyonlarında artış sağlayabildiği bildirilmiştir (Sun et al., 2023b). Benzer şekilde, hıyarda yapraktan ZnO ve Fe₃O₄ nanopartikül uygulamalarının tohum veriminin yanı sıra meyve ve tohumlardaki Zn ve Fe konsantrasyonlarını etkilediği gösterilmiştir (Gupta et al., 2022). Pazarlanabilir verimde artış sağlamaksızın yalnızca biyokütle artıran bir uygulamanın ticari değeri sınırlı kalabilir. Buna karşılık verimde artış oluşturmada nutrasötik bileşiklerin miktarını değiştiren nanopartikül uygulamaları, fonksiyonel gıda üretimi açısından yine de önemli olabilir. ZnO, SiO₂, Fe ve Cu esaslı nanomateryallerin verim ve kalite yanıtları üzerindeki etkileri farklı bitki türlerinde araştırılmıştır. Örneğin SiO₂ nanopartikül uygulamasının domateste meyve verimi ve ortalama meyve ağırlığının yanı sıra fenolik bileşikler ve antioksidan savunmayla ilişkili özellikleri etkileyebildiği bildirilmiştir (Haghighi and Pessarakli, 2020). Bununla birlikte nanopartikül boyutu, konsantrasyonu, formülasyonu, uygulama yöntemi, bitki genotipi, yetiştirme koşulları ve incelenen kalite özellikleri çalışmalar arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğinden sonuçların doğrudan karşılaştırılması güçtür. Standartlaştırılmış deneysel tasarımların kullanılması, çalışmalar arası değerlendirmelerin güvenilirliğini önemli ölçüde artıracaktır.

8. Meyve ve Sebzelerin Besin Değeri Üzerine Etkileri

Nano-destekli uygulamaların yenilebilir dokulardaki temel mineral elementleri veya yararlı fitokimyasalları artırması durumunda nanoteknoloji, besinsel biyofortifikasyona katkı sağlayabilir. Zn ve Fe esaslı nanomateryaller bu açıdan özellikle önemlidir; çünkü Zn ve Fe yetersizlikleri önemli beslenme sorunları arasında yer alırken, bahçe ürünleri vitamin, mineral, antioksidan ve sekonder metabolitlerin temel besinsel kaynaklarını oluşturmaktadır. Nano-destekli uygulamalar, kullanılan nanomateryalin doğrudan bileşeni olmayan metabolitleri de etkileyebilmektedir. Nanopartikül uygulamaları sonrasında fenolikler, flavonoidler, karotenoidler, C vitamini ve antioksidan özellik gösteren diğer bileşiklerde değişiklikler bildirilmektedir. Bu bulgular, nanomateryallerin yalnızca mineral beslenmeyi değil, bitkinin metabolik ağlarını da etkileyebileceğine işaret etmektedir (Qin et al., 2025). Bununla birlikte, yenilebilir dokulardaki element konsantrasyonunun artması doğrudan besin değerinin iyileştiği şeklinde yorumlanmamalıdır. Biriken elementin kimyasal formu,

biyoyararlanımı, dokulardaki dağılımı ve sağlam veya dönüşüme uğramış nanopartiküllerin olası varlığı da dikkate alınmalıdır. Bu nedenle gelecekteki biyofortifikasyon çalışmalarında bitki besleme analizlerinin gıda güvenliği değerlendirmeleriyle birlikte yürütülmesi gerekmektedir.

9. Potansiyel Fitotoksisite ve Çevresel Riskler

Nanopartiküller potansiyel yararlarına rağmen doğası gereği güvenli veya çevre açısından zararsız materyaller olarak değerlendirilmemelidir. Küçük partikül boyutu ve yüksek yüzey reaktivitesi; hücresel membranlar, proteinler, nükleik asitler ve diğer biyolojik bileşenlerle etkileşimlerini artırabilmektedir. Aşırı konsantrasyonlarda nanopartiküller reaktif oksijen türlerinin birikimine, lipid peroksidasyonuna, membran hasarına, enzim aktivitesinde değişikliklere, fotosentezin bozulmasına, besin elementi dengesizliğine ve büyümenin baskılanmasına yol açabilmektedir (Manzoor et al., 2024; Wen et al., 2025). Nanopartiküllerin çevredeki davranışı da önemli bir diğer konudur. Uygulama sonrasında nanopartiküller çözünme, agregasyon, oksidasyon, indirgenme ve kompleksleşme süreçlerine uğrayabilmekte veya kil mineralleri, organik madde, mikroorganizmalar ve diğer toprak bileşenleriyle etkileşime girebilmektedir. Bu nedenle bitkiler ve toprak organizmalarının sonuçta maruz kaldığı materyal, başlangıçta uygulanan nanopartikülden önemli ölçüde farklı özellik gösterebilir. Nitekim metal esaslı nanopartiküllerin bitki dokularına girdikten sonra çözünme, kompleksleşme ve diğer biyotransformasyon süreçlerine uğrayabildiği deneysel çalışmalarla gösterilmiştir (Marmioli et al., 2021). Bahçe ürünlerinin önemli bir bölümü taze veya minimum işlenmiş biçimde tüketildiğinden gıda güvenliği özel önem taşımaktadır. Bu nedenle araştırmalarda, beslenme açısından yararlı iyonların konsantrasyonundaki artış ile yenilebilir dokularda sağlam veya dönüşüme uğramış nanomateriyallerin birikimi birbirinden ayrılmalıdır. Örneğin ZnO nanopartiküllerinin partikül büyüklüğü ve uygulama konsantrasyonuna bağlı olarak Çin lahanası dokularında birikebildiği ve yenilebilir toprak üstü kısımlara taşınabildiği gösterilmiştir (Kim et al., 2024). Benzer şekilde, CuO nanopartikülleriyle yetiştirme dönemi boyunca muamele edilen kabakta Cu'nun bitki dokularına alındığı ve nanopartiküllerin bitki içerisinde biyotransformasyona uğrayabildiğine ilişkin kanıtlar elde edilmiştir (Marmioli et al., 2021). Dolayısıyla tarımsal nanoteknolojinin dengeli bir değerlendirmesi; ürün verimi ve kalitesinin yanı sıra nanopartikül kalıntıları, çevresel kalıcılık, toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki etkiler, ekotoksisite ve beslenme yoluyla potansiyel maruziyet gibi unsurları da kapsamalıdır (Gao et al., 2023a).

10. Gelecek Perspektifleri

Bahçe bitkilerinde nanoteknoloji alanında gelecekte yürütülecek araştırmalarda bazı temel önceliklerin dikkate alınması gerekmektedir. İlk olarak, nanogübreler eşdeğer element dozları kullanılarak geleneksel besin elementi kaynaklarıyla doğrudan karşılaştırılmalıdır. Bu tür deneysel yaklaşımlar, gerçek nano-özgü etkilerin geleneksel beslenme yanıtlarından ayrılabilmesi açısından gereklidir. İkinci olarak, nanopartiküllerin karakterizasyonu daha kapsamlı biçimde gerçekleştirilmelidir. Partikül boyutu dağılımı, morfoloji, yüzey yükü, kaplama, agregasyon, çözünme, kimyasal dönüşüm ve stabilite gibi özellikler; toprak, besin çözeltisi veya bitki dokularıyla etkileşim öncesinde ve sonrasında belirlenmelidir. Üçüncü olarak, tam üretim dönemini kapsayan sera ve tarla denemelerine daha fazla önem verilmelidir. Mevcut çalışmaların önemli bir bölümü çimlenme veya erken vejetatif gelişme dönemlerine odaklanmaktadır. Ticari bahçe bitkileri yetiştiriciliğine yönelik güvenilir öneriler geliştirilebilmesi için çiçeklenme, meyve gelişimi, hasat, ürün kalitesi ve gerektiğinde hasat sonrası performansı kapsayan çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. Dördüncü olarak, nanopartiküllerin yenilebilir dokulardaki davranışı uygun analitik tekniklerle araştırılmalıdır. Yalnızca toplam element konsantrasyonunun belirlenmesi, elementin iyonik, kompleks oluşturmuş, partiküler veya dönüşüme uğramış hangi formda bulunduğunu ortaya koymak için yeterli değildir. Beşinci olarak, yeşil sentez yöntemleri, biyolojik olarak parçalanabilen taşıyıcılar ve çevreyle uyumlu nanoformülasyonların geliştirilmesine yönelik çalışmalar artırılmalıdır. Bu yaklaşımlar, geleneksel mühendislik ürünü nanomateriyallerle ilişkili bazı çevresel risklerin azaltılmasına katkıda bulunabilir.

Altıncı olarak, multi-omik yaklaşımlar nano-bitki etkileşimlerinin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasını sağlayabilir. Transkriptomik, metabolomik, proteomik, iyonik ve mikrobiyom analizlerinin bütünleştirilmesi; nanopartikül maruziyetinin besin sinyalleşmesi, redoks düzenlenmesi, sekonder metabolizma ve ürün kalitesi üzerindeki etkilerinin moleküler düzeyde açıklanmasına katkı sağlayacaktır. Son olarak, ekonomik uygulanabilirlik ve yasal düzenlemeler dikkate alınmalıdır. Bir nanogübrenin pratik olarak uygulanabilir olması; besin kullanım etkinliği, verim, ürün kalitesi veya pazar değerinde sağladığı artışın formülasyon ve uygulama maliyetlerini karşılamasına ve aynı zamanda çevre ve gıda güvenliği gerekliliklerini yerine getirmesine bağlıdır (Channab et al., 2024; Qin et al., 2025; Wen et al., 2025).

11. Sonuç

Nanoteknoloji, bahçe bitkilerinde bitki besleme yönetiminin iyileştirilmesi, büyüme ve gelişmenin desteklenmesi, verimliliğin artırılması ve ürün kalitesinin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyele

sahiptir. Mevcut bulgular; ZnO, Fe, SiO₂ ve Cu esaslı nanomateriyaller ile diğer nano-destekli formülasyonların besin elementi alımı, kök gelişimi, fotosentetik performans, antioksidan metabolizma, biyokütle üretimi, verim, mineral bileşim ve fitokimyasal kaliteyi etkileyebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bitkilerin nanomateriyallere verdiği yanıtlar yalnızca materyalin “nano” özellik taşımasıyla açıklanamaz. Partikül bileşimi, boyutu, yüzey özellikleri, kaplama, çözünme davranışı, konsantrasyon, uygulama yöntemi, bitki türü ve genotipi, gelişme dönemi ve çevresel koşullar biyolojik yanıtı birlikte belirlemektedir. Dolayısıyla belirli koşullarda bitki performansını iyileştiren bir uygulama dozu, farklı koşullarda etkisiz kalabilir veya fitotoksik etki oluşturabilir. Bu nedenle nanoteknolojinin bahçe bitkilerindeki gelecekteki kullanımı, nanogübrelerin geleneksel gübrelerden doğrudan daha etkili olduğu yönündeki genel varsayımlar yerine, bilimsel olarak doğrulanmış bitki türüne, formülasyona ve doza özgü uygulama stratejilerine dayanmalıdır. Bu stratejiler, eşdeğer dozlarda geleneksel besin kaynaklarıyla yapılacak doğrudan karşılaştırmalarla desteklenmelidir. Ayrıca yenilebilir dokulardaki kalıntılar, nanopartiküllerin dönüşümü ve çevresel davranışı, uzun dönemli ekolojik etkiler, ekonomik uygulanabilirlik ve yasal düzenlemeler ayrıntılı biçimde değerlendirilmelidir. Nanopartiküllerin kapsamlı karakterizasyonu, uygun doz optimizasyonu, sera ve tarla koşullarında doğrulama ve bütüncül güvenlik değerlendirmelerinin sağlanması durumunda nanoteknoloji, daha etkin ve sürdürülebilir bahçe bitkileri üretim sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir araç olma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, R., Quddus, M. A., Uddin, M. K., Kasim, S. B., Mohd Yusoff, K. H. B., Hossain, M. A. M., Solaiman, Z. M., & Haque, A. N. A. (2024). Influence of zinc oxide nanoparticles on the productivity, mineral element accumulation, and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 12(6), 887–904. DOI: 10.18006/2024.12(6).887.904.
- Ahmed, R., Uddin, M. K., Quddus, M. A., Abd Samad, M. Y., Hossain, M. A. M., & Haque, A. N. A. (2023). Impact of foliar application of zinc and zinc oxide nanoparticles on growth, yield, nutrient uptake and quality of tomato. *Horticulturae*, 9(2), 162. DOI: 10.3390/horticulturae9020162.
- Almendros, P., González, D., Fernández, M. D., García-Gómez, C., & Obrador, A. (2022). Both Zn biofortification and nutrient distribution pattern in cherry tomato plants are influenced by the application of ZnO nanofertilizer. *Heliyon*, 8(3), e09130. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09130.
- Altaf, M. M., Ashraf, S., Khan, M. Q. N., Noreen, S., Anwar, M., Almeer, R., Singh, R., & Rehman, A. U. (2024). Silicon oxide nanoparticle mitigated the vanadium toxicity in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *South African Journal of Botany*, 170, 348–357. DOI: 10.1016/j.sajb.2024.05.038.
- Channab, B.-E., El Idrissi, A., Ammar, A., Dardari, O., Marrane, S. E., El Gharra, A., Akil, A., Essemli, Y., & Zahouily, M. (2024). Recent advances in nano-fertilizers: Synthesis, crop yield impact, and economic analysis. *Nanoscale*, 16, 4484–4513. DOI: 10.1039/D3NR05012B.
- Gao, M., Chang, J., Wang, Z., Zhang, H., & Wang, T. (2023a). Advances in transport and toxicity of nanoparticles in plants. *Journal of Nanobiotechnology*, 21, 75. DOI: 10.1186/s12951-023-01830-5
- Gao, X., Kundu, A., Persson, D. P., Szameitat, A., Minutello, F., Husted, S., & Ghoshal, S. (2023b). Application of ZnO nanoparticles encapsulated in mesoporous silica on the abaxial side of a *Solanum lycopersicum* leaf enhances Zn uptake and translocation via the phloem. *Environmental Science & Technology*, 57(51), 21704–21714. DOI: 10.1021/acs.est.3c06424.
- Gupta, N., Jain, S. K., Tomar, B. S., Anand, A., Singh, J., Sagar, V., Kumar, R., Singh, V., Chaubey, T., Abd-El Salam, K. A., & Singh, A. K. (2022). Impact of foliar application of ZnO and Fe₃O₄ nanoparticles on seed yield and physio-biochemical parameters of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seed under open field and protected environment vis a vis during seed germination. *Plants*, 11(23), 3211. DOI: 10.3390/plants11233211.
- Haghighi, M., & Pessarakli, M. (2020). Form of silica improves yield, fruit quality and antioxidant defense system of tomato plants under salt stress. *Agriculture*, 10(9), 367. DOI: 10.3390/agriculture10090367.

- Hanif, S., Farooq, S., Kiani, M. Z., & Zia, M. (2024). Surface modified ZnO NPs by betaine and proline build up tomato plants against drought stress and increase fruit nutritional quality. *Chemosphere*, 362, 142671. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.142671
- Hu, P., An, J., Faulkner, M. M., Wu, H., Li, Z., Tian, X., & Giraldo, J. P. (2020). Nanoparticle charge and size control foliar delivery efficiency to plant cells and organelles. *ACS Nano*, 14(7), 7970–7986. DOI: 10.1021/acsnano.9b09178.
- Kim, S. H., Bae, S., Sung, Y. W., & Hwang, Y. S. (2024). Effects of particle size on toxicity, bioaccumulation, and translocation of zinc oxide nanoparticles to bok choy (*Brassica chinensis* L.) in garden soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 280, 116519. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116519.
- Li, X., Ghanizadeh, H., Han, Z., Wang, Q., Li, F., Qiu, Y., Zhang, Y., Chen, X., Liu, J., & Wang, A. (2023). Metabolic profile and physiological mechanisms underlying the promoting effects of TiO₂NPs on the photosynthesis and growth of tomato. *Scientia Horticulturae*, 322, 112394. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112394>.
- Li, Y., Zan, T., Li, K., Hu, H., Yang, T., Yin, J., & Zhu, Y. (2024). Silica nanoparticles promote the germination of salt-stressed pepper seeds and improve growth and yield of field pepper. *Scientia Horticulturae*, 337, 113570. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.113570.
- Manzoor, M. A., Xu, Y., Lv, Z., Xu, J., Wang, Y., Sun, W., Liu, X., Wang, L., Usman, M., Wang, J., Liu, R., Whiting, M. D., Jiu, S., & Zhang, C. (2024). Nanotechnology-based approaches for promoting horticulture crop growth, antioxidant response and abiotic stresses tolerance. *Plant Stress*, 11, 100337. DOI: 10.1016/j.stress.2023.100337.
- Marmiroli, M., Pagano, L., Rossi, R., De La Torre-Roche, R., Lepore, G. O., Ruotolo, R., Gariani, G., Bonanni, V., Pollastri, S., Puri, A., Gianoncelli, A., Aquilanti, G., d'Acapito, F., White, J. C., & Marmiroli, N. (2021). Copper oxide nanomaterial fate in plant tissue: Nanoscale impacts on reproductive tissues. *Environmental Science & Technology*, 55(15), 10769–10783. DOI: 10.1021/acs.est.1c01123.
- Qin, Q., Wang, Q., Chen, Y., Tang, Y., Ding, Y., & Rui, Y. (2025). Enhancing crop yields and quality of agricultural products: Research progress in nanofertilizer applications. *Environmental Science: Nano*, 12, 2193–2207. DOI: 10.1039/D5EN00075K.
- Rehman, F. U., Paker, N. P., Khan, M., Zainab, N., Ali, N., Munis, M. F. H., Iftikhar, M., & Chaudhary, H. J. (2023). Assessment of application of ZnO nanoparticles on physiological profile, root architecture and

- antioxidant potential of *Solanum lycopersicum*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 53, 102874. DOI: 10.1016/j.bcab.2023.102874.
- Rodrigues, S., Avellan, A., Bland, G. D., Miranda, M. C. R., Larue, C., Wagner, M., Moreno-Bayona, D. A., Castillo-Michel, H., Lowry, G. V., & Rodrigues, S. M. (2024). Effect of a zinc phosphate shell on the uptake and translocation of foliarly applied ZnO nanoparticles in pepper plants (*Capsicum annuum*). *Environmental Science & Technology*, 58(7), 3213–3223. DOI: 10.1021/acs.est.3c08723.
- Solanki, B., & Khan, M. S. (2024). Phytotoxic impact of copper oxide nanoparticles fabricated from rose petals (*Rosa indica*) on germination, biological growth, and phytochemicals of tomato (*Solanum lycopersicum*). *South African Journal of Botany*, 172, 125–139. DOI: 10.1016/j.sajb.2024.07.002.
- Sun, M., Cai, Z., Li, C., Hao, Y., Xu, X., Qian, K., Li, H., Guo, Y., Liang, A., Han, L., Shang, H., Jia, W., Cao, Y., Wang, C., Ma, C., White, J. C., & Xing, B. (2023b). Nanoscale ZnO improves the amino acids and lipids in tomato fruits and the subsequent assimilation in a simulated human gastrointestinal tract model. *ACS Nano*, 17(20), 19938–19951. DOI: 10.1021/acsnano.3c04990.
- Sun, M., Zhao, C., Shang, H., Hao, Y., Han, L., Qian, K., White, J. C., Ma, C., & Xing, B. (2023a). ZnO quantum dots outperform nanoscale and bulk particles for enhancing tomato (*Solanum lycopersicum*) growth and nutritional values. *Science of the Total Environment*, 857, 159330. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159330.
- Wei, L., Liu, J., & Jiang, G. (2024). Nanoparticle-specific transformations dictate nanoparticle effects associated with plants and implications for nanotechnology use in agriculture. *Nature Communications*, 15, 7389. DOI: 10.1038/s41467-024-51741-8.
- Wen, X., Lin, Z., Sheng, B., Ye, X., Zhao, Y., Liu, G., Chen, G., Qin, L., Liu, X., & Xu, D. (2025). Research status of agricultural nanotechnology and its application in horticultural crops. *Nanomaterials*, 15(10), 765. DOI: 10.3390/nano15100765.
- Włodarczyk, K., Smolińska, B., & Majak, I. (2024). How nano-ZnO affect tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.)? Analysis of selected fruit parameters. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(15), 8522. DOI: 10.3390/ijms25158522.

100 kW ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMDE GERİLİM ÇUKURUNUN DİNAMİK PERFORMANSA ETKİSİNİN ANALİZİ

Arş. Gör. Mehmet Can SEKANLI / Prof. Dr. Okan BİNGÖL

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Bölümü

E-mail: mehmetsekanli@isparta.edu.tr ,ORCID: 0009-0009-9043-3582

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Bölümü

E-mail: okanbingol@isparta.edu.tr , ORCID: 0000-0001-9817-7266

Özet

Fotovoltaik (PV) enerji sistemlerinin şebekeye entegrasyonunun yaygınlaşmasıyla birlikte, şebekede meydana gelen kısa süreli gerilim düşümlerinin PV sistemlerinin kararlılığı, güç aktarımı ve kontrol performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi güç kalitesi açısından önem kazanmıştır. Bu çalışmada, şebekeye bağlı 100 kW gücündeki bir PV sisteminin gerilim çukuru sırasındaki dinamik davranışının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. PV dizisi 10 seri bağlı modül ve 47 paralel kol olacak şekilde yapılandırılmıştır. PV sisteminden maksimum güç elde edilmesi amacıyla Perturb and Observe (P&O) tabanlı maksimum güç noktası izleme yöntemi kullanılmıştır. Güç kalitesi bozucusu olarak şebeke gerilimi başlangıçta 1 pu seviyesinde tutulmuş, (t=1) s anında 0,75 pu seviyesine düşürülmüş ve (t=1.5) s anında yeniden 1 pu seviyesine çıkarılmıştır. Belirlenen gerilim çukuru senaryosu altında PCC gerilimi, şebeke RMS akımı, aktif güç, DC-link gerilimi ve PV tarafındaki elektriksel büyüklükler analiz edilmiştir. Sonuçlar, gerilim çukuru sırasında şebeke RMS akımının arttığını ve DC-link gerilimi ile aktif güçte geçici salınımlar oluştuğunu, buna karşın PV gerilimi, PV akımı ve PV gücünün çalışma değerleri çevresinde büyük ölçüde korunduğunu göstermiştir. PV çalışma noktasının gerilim çukuru süresince önemli ölçüde korunduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistemler, gerilim çukuru, güç kalitesi, P&O, şebekeye bağlı PV sistem

ANALYSIS OF THE EFFECT OF VOLTAGE SAG ON THE DYNAMIC PERFORMANCE OF A 100 kW GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Res.Asst. Mehmet Can SEKANLI / Prof. Dr. Okan BİNGÖL

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering

E-mail: mehmetsekanli@isparta.edu.tr , ORCID: 0009-0009-9043-3582

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering

E-mail: okanbingol@isparta.edu.tr , ORCID: 0000-0001-9817-7266

Abstract

With the increasing integration of photovoltaic (PV) energy systems into power grids, investigating the effects of short-duration voltage sags on the stability, power transfer, and control performance of PV systems has become increasingly important from a power quality perspective. This study aims to evaluate the dynamic behavior of a 100 kW grid-connected PV system under voltage sag conditions. The PV array is configured with 10 series-connected modules and 47 parallel strings. A Perturb and Observe (P&O)-based maximum power point tracking (MPPT) method is employed to extract the maximum available power from the PV system. As a power quality disturbance, the grid voltage is initially maintained at 1 pu, reduced to 0.75 pu at ($t=1$) s, and restored to 1 pu at ($t=1.5$) s. Under the specified voltage sag scenario, the PCC voltage, grid RMS current, active power, DC-link voltage, and electrical quantities on the PV side are analyzed. The results show that the grid RMS current increases during the voltage sag and transient oscillations occur in the DC-link voltage and active power. In contrast, the PV voltage, PV current, and PV power remain largely around their operating values. The PV operating point was observed to remain largely unchanged throughout the disturbance period.

Keywords: Photovoltaic systems, voltage sag, power quality, P&O, grid-connected PV system

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik güç sistemlerindeki payının artmasıyla birlikte fotovoltaik (PV) sistemlerin şebekeye entegrasyonu, modern güç sistemlerinin önemli araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir. PV sistemlerin modüler yapısı, farklı güç seviyelerine ölçeklenebilmesi ve doğrudan elektrik enerjisi üretebilmesi, bu sistemlerin hem dağıtık üretim uygulamalarında hem de büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinde yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, şebekeye bağlı PV sistemlerin artan güç seviyeleri, bu sistemlerin yalnızca maksimum enerji üretimi açısından değil, şebekede meydana gelen bozucu koşullar altındaki dinamik davranışları açısından da değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Özellikle güç elektroniği dönüştürücüleri üzerinden gerçekleştirilen şebeke bağlantısında, şebeke gerilimindeki değişimler dönüştürücünün kontrol yapısını, akım aktarımını, DC-link gerilimini ve aktif güç akışını doğrudan etkileyebilmektedir (Teodorescu vd., 2011; Zeb vd., 2018).

Güç kalitesi problemleri içerisinde gerilim çukurları, şebekeye bağlı güç elektroniği tabanlı sistemlerin dinamik performansını etkileyen önemli kısa süreli gerilim olaylarından biridir. Gerilim çukuru, şebeke geriliminin belirli bir süre boyunca nominal değerinin altına düşmesiyle karakterize edilmekte ve kısa devre arızaları, büyük güçlü yüklerin devreye alınması veya şebekede meydana gelen çeşitli geçici olaylar sonucunda ortaya çıkabilmektedir (Bollen, 2000). Şebekeye bağlı PV sistemlerde meydana gelen bu tür gerilim düşümleri, eviricinin akım kontrolünü, aktif ve reaktif güç aktarımını ve DC-link gerilim dengesini etkileyerek sistemin geçici rejim davranışında önemli değişimlere neden olabilmektedir. Son dönemde gerçekleştirilen çalışmalar da PV sistemlerin gerilim çukurları sırasındaki dinamik davranışının, özellikle DC-link gerilim kararlılığı, şebeke akımı ve güç aktarımı açısından değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır (Yang & Blaabjerg, 2013; Gholipour vd., 2025; Selim vd., 2026).

Şebeke geriliminin nominal seviyenin altına düşmesi durumunda PV tarafında üretilen güç ile evirici aracılığıyla şebekeye aktarılabilen güç arasındaki anlık denge değişebilmektedir. Bu durum DC-link üzerinde geçici enerji dengesizliklerine, şebeke akımında değişimlere ve aktif güç aktarımında geçici rejim davranışlarına yol açabilmektedir. Özellikle yüksek PV penetrasyonunun söz konusu olduğu güç sistemlerinde bu dinamiklerin doğru biçimde değerlendirilmesi, şebekeye bağlı PV sistemlerin gerilim bozucularına karşı davranışlarının anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Güncel çalışmalarda gerilim çukuru sırasında akım referanslarının oluşturulması, DC-link gerilimindeki salınımların sınırlandırılması ve güç aktarımının

sürdürülmesi şebekeye bağlı PV sistemlerin temel kontrol problemleri arasında değerlendirilmektedir (Mousa vd., 2025; Reisi & Saleh, 2026; Singh vd., 2026).

PV sistemlerin işletilmesindeki bir diğer temel kontrol problemi, PV dizisinin çalışma noktasının maksimum güç noktasına yönlendirilmesidir. Bu amaçla kullanılan maksimum güç noktası izleme (Maximum Power Point Tracking-MPPT) yöntemleri arasında Perturb and Observe (P&O), basit kontrol yapısı, düşük hesaplama gereksinimi ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Esram & Chapman, 2007; Lyu vd., 2025). P&O algoritması, PV çalışma noktasında belirli büyüklükte değişimler gerçekleştirerek çıkış gücündeki değişimin yönünü gözlemlemekte ve çalışma noktasını maksimum güç noktasına doğru yönlendirmektedir. Bununla birlikte, yöntemin dinamik performansı perturbasyon adımı ve sistem çalışma koşullarından etkilenebilmektedir (Femia vd., 2005). P&O tabanlı yöntemlere ilişkin güncel çalışmalar da değişken çalışma koşullarında izleme hızı, güç salınımları ve maksimum güç noktasına yakın çalışma performansının önemini ortaya koymaktadır (Djilali vd., 2025). Bu nedenle şebeke tarafında meydana gelen gerilim çukuru sırasında PV sistemin şebeke değişkenleri ile MPPT kontrolünün davranışının birlikte incelenmesi sistemin genel dinamik performansının değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Bu çalışmada, 100 kW gücünde şebekeye bağlı bir PV sisteminin gerilim çukuru sırasındaki dinamik performansı incelenmiştir. PV dizisi 10 seri bağlı modül ve 47 paralel kol olacak şekilde yapılandırılmış ve maksimum güç noktası izleme amacıyla P&O algoritması kullanılmıştır. Gerilim çukurunun sistem üzerindeki etkileri PCC gerilimi, şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi, aktif güç ve PV tarafındaki elektriksel büyüklükler üzerinden değerlendirilmiştir.

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistem Yapısı

Şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) sistemlerde, PV dizisinden elde edilen doğru akım elektrik enerjisinin güç elektroniği dönüştürücüleri aracılığıyla düzenlenerek şebekeye aktarılması amaçlanmaktadır. PV modüllerin çıkış karakteristikleri ışıyım ve sıcaklık gibi çevresel koşullara bağlı olarak değiştiğinden, maksimum kullanılabilir gücün elde edilmesi için maksimum güç noktası izleme (MPPT) yöntemlerinden yararlanılmaktadır. İki aşamalı şebekeye bağlı PV sistemlerde PV dizisi, DC-DC yükselten dönüştürücü, DC-link, üç fazlı evirici ve filtre yapısı temel bileşenleri oluşturmaktadır. Yükselten dönüştürücü PV çalışma noktasının düzenlenmesini sağlarken, evirici DC-link üzerinden aktarılan gücün şebekeye uygun biçimde dönüştürülmesini gerçekleştirmektedir (Teodorescu vd., 2011; Selim vd., 2026).

1.2. Perturb and Observe Tabanlı Maksimum Güç Noktası İzleme

PV modüllerin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğundan, maksimum güç noktası ışınım ve sıcaklık gibi çalışma koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle PV dizisinin maksimum kullanılabilir güç seviyesinde çalıştırılması için maksimum güç noktası izleme yöntemleri kullanılmaktadır. Perturb and Observe (P&O) yöntemi; basit yapısı, düşük hesaplama gereksinimi ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle yaygın olarak kullanılan geleneksel MPPT yöntemlerinden biridir (Esrar & Chapman, 2007).

P&O algoritmasında ardışık iki örnekleme anındaki PV güç ve gerilim değerleri karşılaştırılmaktadır. Güç değişimi Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta P(k) = P_{(PV)(k)} - P_{(PV)(k-1)} \quad (1)$$

Benzer şekilde PV gerilimindeki değişim Eşitlik (2) ile belirlenmektedir.

$$\Delta V(k) = V_{(PV)(k)} - V_{(PV)(k-1)} \quad (2)$$

Burada $\Delta P(k)$, ardışık iki örnek arasındaki PV güç değişimini; $\Delta V(k)$ ise PV gerilimindeki değişimi göstermektedir. Algoritma, güç ve gerilim değişimlerinin yönünü değerlendirerek çalışma noktasının maksimum güç noktasına yaklaşp yaklaşmadığını belirlemektedir. Uygulanan değişiklik sonucunda PV gücü artıyorsa önceki perturbasyon yönü korunmakta, güç azalıyorsa perturbasyon yönü tersine çevrilmektedir. Bununla birlikte, klasik P&O yönteminde maksimum güç noktası çevresinde salınımlar oluşabilmekte ve hızlı çalışma koşulu değişimleri izleme davranışını etkileyebilmektedir (Femia vd., 2005; Djilali vd., 2025).

1.3. Gerilim Çukuru ve Şebekeye Bağlı PV Sistemlere Etkisi

Gerilim çukuru, şebeke geriliminin kısa süreli olarak nominal seviyesinin altına düşmesiyle meydana gelen önemli bir güç kalitesi olayıdır. Kısa devre arızaları, yüksek güçlü yüklerin devreye alınması ve şebekedeki diğer geçici olaylar gerilim çukurlarının başlıca nedenleri arasında yer almaktadır (Bollen, 2000). Bu tür gerilim değişimleri, özellikle güç elektroniği dönüştürücüleri aracılığıyla şebekeye bağlanan PV sistemlerde geçici rejim davranışını doğrudan etkileyebilmektedir (Al-Shetwi vd., 2019).

Gerilim çukuru sırasında ortak bağlantı noktasındaki (PCC) gerilimin azalması, eviricinin şebekeye güç aktarma koşullarını değiştirmektedir. PV tarafından üretilen güç ile şebekeye aktarılabilen güç arasındaki anlık dengesizlik, DC-link geriliminde sapmalara, evirici akımında değişimlere ve aktif güç aktarımında geçici

salınımlara neden olabilmektedir. Bu nedenle düşük gerilim olayları altında DC-link gerilim düzenlemesi, akım davranışı ve güç aktarımı şebekeye bağlı PV sistemlerin dinamik performansının değerlendirilmesinde temel büyüklükler arasında yer almaktadır (Gencer, 2025; Selim vd., 2026).

2. YÖNTEM

2.1. Sistem Modeli

Çalışmada, yaklaşık 100 kW nominal güce sahip şebekeye bağlı bir PV sistem MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. PV dizisi, her biri 213,15 W nominal güce sahip PV modüller kullanılarak 10 seri bağlı modül ve 47 paralel kol şeklinde yapılandırılmıştır. Sistem; PV dizisi, DC-DC yükselten dönüştürücü, DC-link, üç fazlı evirici, LCL filtre ve şebekeden oluşmaktadır. Şebeke tarafı eviricinin kontrolünde senkron referans çerçevesi tabanlı dq kontrol yapısı kullanılmıştır. Şebeke faz açısı PLL aracılığıyla belirlenmiş, DC-link gerilim hatası PI denetleyici üzerinden d-ekseni akım referansının oluşturulmasında kullanılmıştır. q-ekseni akım referansı sıfır olarak belirlenmiş ve d-q akım bileşenleri ayrı PI denetleyicilerle kontrol edilmiştir. Elde edilen dq gerilim referansları ters dönüşüm ile üç fazlı referans gerilimlerine dönüştürülerek PWM bloğuna uygulanmıştır. PV dizisinin çalışma noktasının maksimum güç noktasına yönlendirilmesi amacıyla P&O tabanlı MPPT algoritması kullanılmıştır. Simülasyonlarda PV dizisine 1000 W/m² ışınlam ve 25 °C hücre sıcaklığı uygulanmıştır. DC-link referans gerilimi 800 V, nominal şebeke hatlar arası RMS gerilimi 380 V ve nominal frekans 50 Hz olarak belirlenmiştir. Sistemin temel parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. PV sistem ve kontrol parametreleri

Parametre	Değer
PV sistem nominal gücü	≈ 100 kW
PV modül nominal gücü	213,15 W
Seri bağlı modül sayısı	10
Paralel kol sayısı	47
Modül MPP gerilimi	29 V
Modül MPP akımı	7,35 A
Işınım	1000 W/m ²
PV hücre sıcaklığı	25 °C
Yükselten dönüştürücü endüktansı	10 mH
Yükselten dönüştürücü anahtarlama frekansı	5 kHz
DC-link referans gerilimi	800 V
DC-link kapasitansı	9 mF
Nominal şebeke hatlar arası RMS gerilimi	380 V
Nominal şebeke frekansı	50 Hz
Evirici anahtarlama frekansı	10 kHz
LCL filtre evirici tarafı endüktansı	0,5 mH
LCL filtre şebeke tarafı endüktansı	0,5 mH
LCL filtre kapasitansı	100 μ F

2.2. Gerilim Çukuru Senaryosu ve Analiz Değişkenleri

Gerilim çukuru senaryosunda üç fazlı şebeke gerilimi başlangıçta 1 pu seviyesinde tutulmuş, $t = 1$ s anında dengeli olarak 0,75 pu seviyesine düşürülmüş ve $t = 1,5$ s anında yeniden 1 pu seviyesine çıkarılmıştır. Böylece sisteme 0,5 s süreli ve nominal gerilime göre %25 gerilim düşümüne karşılık gelen dengeli bir gerilim çukuru uygulanmıştır. Senaryoya ilişkin temel parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

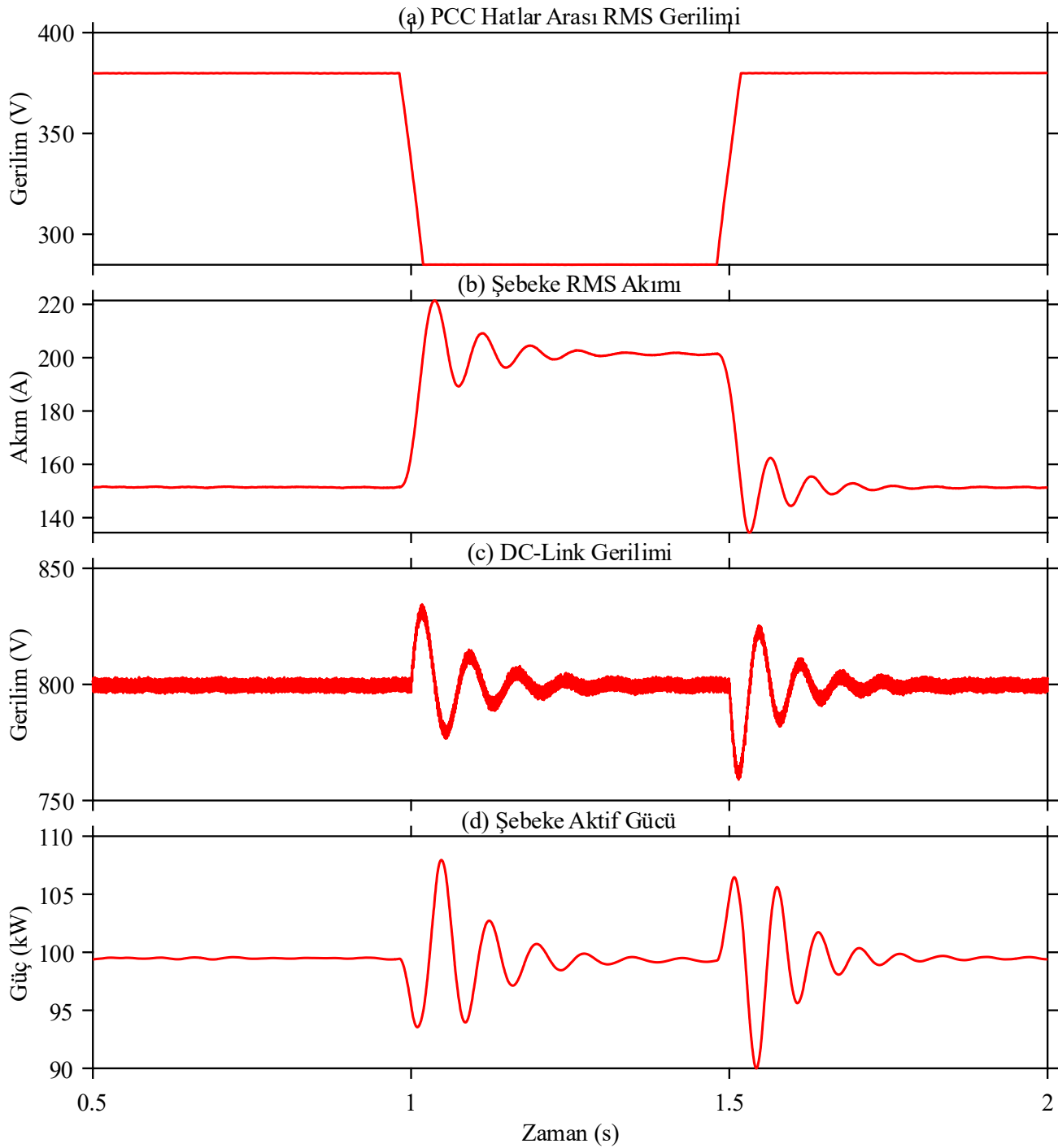
Tablo 2. Gerilim çukuru senaryosu

Parametre	Değer
Nominal gerilim	1 pu
Gerilim çukuru seviyesi	0,75 pu
Başlangıç zamanı	1 s
Bitiş zamanı	1,5 s
Süre	0,5 s
Gerilim çukuru derinliği	%25

Sistemin dinamik performansı; PCC hatlar arası RMS gerilimi, şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi ve şebeke aktif gücü üzerinden değerlendirilmiştir. Gerilim çukurunun PV çalışma noktası üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla PV gerilimi, PV akımı ve PV gücü de incelenmiştir.

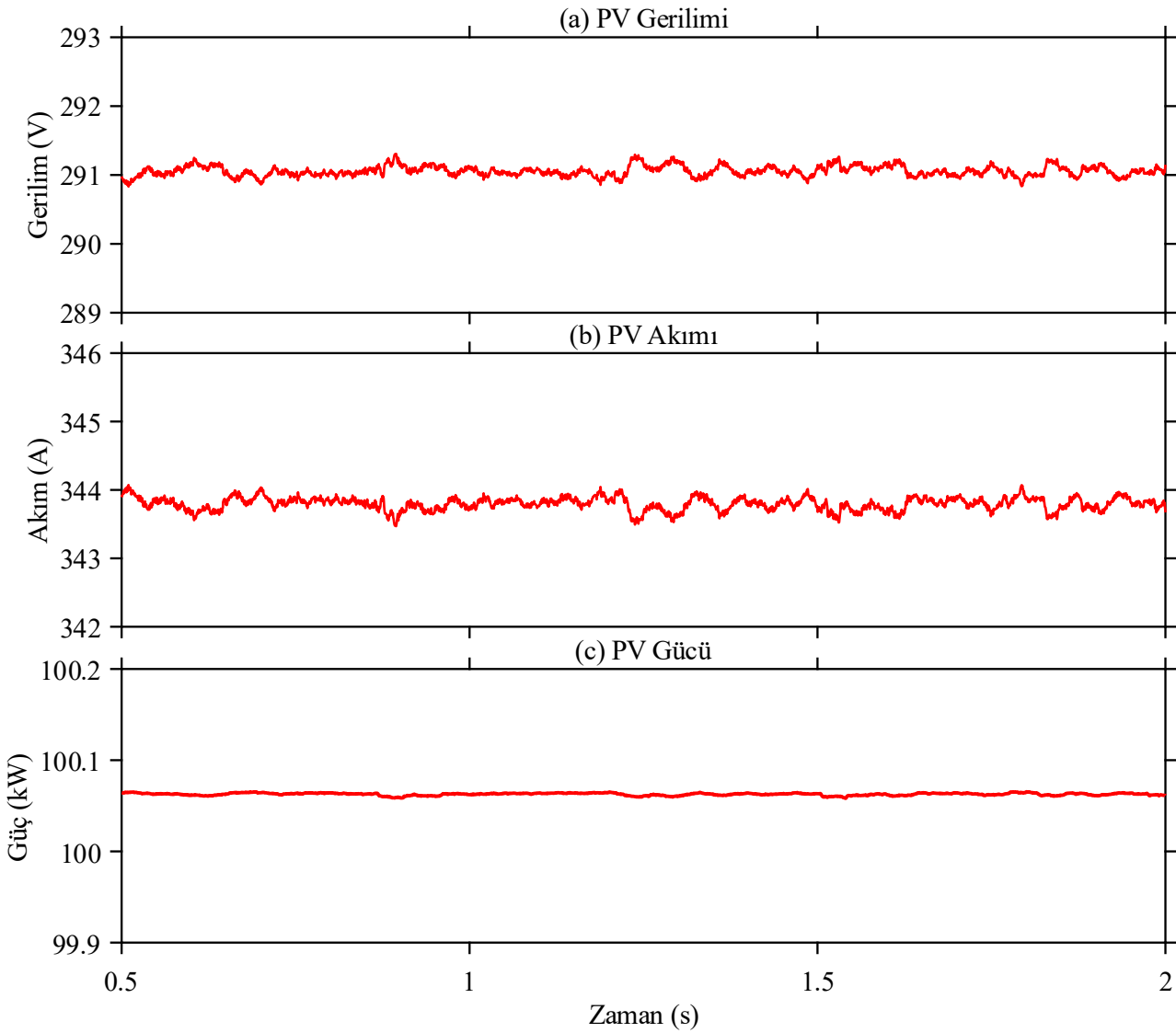
3. BULGULAR

Şekil 1’de, 100 kW şebekeye bağlı PV sisteminin gerilim çukuru sırasındaki şebeke tarafı dinamik tepkisi gösterilmektedir. PCC hatlar arası RMS gerilimi $t = 1$ s anında yaklaşık 380 V seviyesinden 285 V seviyesine düşmekte ve $t = 1,5$ s anında yeniden nominal seviyesine dönmektedir. Gerilim çukuru sırasında şebeke RMS akımının yaklaşık 150 A seviyesinden 200 A seviyesine yükseldiği görülmektedir. Gerilim çukuru sırasında şebeke RMS akımındaki artışa karşın aktif gücün yaklaşık nominal çalışma bölgesinde kaldığı görülmektedir. Bozucunun başlangıç ve bitiş anlarında şebeke akımında kısa süreli geçici salınımlar meydana gelmektedir. DC-link gerilimi yaklaşık 800 V seviyesi çevresinde kalmakla birlikte, gerilim çukuruna giriş ve çıkış anlarında belirgin geçici salınımlar oluşmaktadır. Benzer şekilde şebeke aktif gücü bozucu süresince yaklaşık 100 kW çalışma bölgesini korurken, gerilim çukurunun başlangıç ve bitiş anlarında kısa süreli aşım ve düşümler göstermektedir.



Şekil 1. Gerilim çukuru sırasında (a) PCC hatlar arası RMS gerilimi, (b) şebeke RMS akımı, (c) DC-link gerilimi ve (d) şebeke aktif gücünün zamana bağlı değişimi.

Şekil 2’de aynı gerilim çukuru senaryosu altında PV tarafındaki elektriksel büyüklükler gösterilmektedir. Şebeke tarafında gerilim çukuru uygulanmasına rağmen PV gerilimi ve PV akımının çalışma değerleri çevresinde yalnızca sınırlı değişimler gösterdiği görülmektedir. Buna bağlı olarak PV gücü de yaklaşık 100 kW seviyesinde büyük ölçüde korunmaktadır. Bu sonuçlar, incelenen sabit ışınlım ve sıcaklık koşullarında gerilim çukurunun PV tarafındaki çalışma noktasında sınırlı bir değişime neden olduğunu göstermektedir. Buna karşılık bozucuya ilişkin belirgin geçici rejim etkilerinin ağırlıklı olarak şebeke akımı, DC-link gerilimi ve şebeke aktif gücü üzerinde ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 2. Gerilim çukuru sırasında (a) PV gerilimi, (b) PV akımı ve (c) PV gücünün zamana bağlı değişimi.

Şekil 1 ve Şekil 2’den elde edilen temel bulguların karşılaştırmalı özeti Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Gerilim çukuru sırasında temel sistem değişkenlerinin gözlenen davranışı

Değişken	Normal çalışma	Gerilim çukuru sırasında
PCC hatlar arası RMS gerilimi	≈ 380 V	≈ 285 V
Şebeke RMS akımı	≈ 150 A	≈ 200 A
DC-link gerilimi	≈ 800 V	Geçici salınımlar oluşmaktadır
Şebeke aktif gücü	≈ 100 kW	≈ 100 kW çevresinde geçici dalgalanmalar
PV gerilimi	≈ 291 V	Büyük ölçüde korunmaktadır
PV akımı	≈ 344 A	Büyük ölçüde korunmaktadır
PV gücü	≈ 100 kW	Büyük ölçüde korunmaktadır

Tablo 3’te görüldüğü üzere, gerilim çukuru sırasında en belirgin değişim PCC gerilimi ve şebeke RMS akımında meydana gelmiştir. DC-link gerilimi ve şebeke aktif gücünde bozucunun geçiş anlarına bağlı geçici salınımlar gözlenirken, PV tarafındaki gerilim, akım ve güç büyüklükleri çalışma değerleri çevresinde büyük ölçüde korunmuştur.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 100 kW gücündeki şebekeye bağlı bir PV sistemin %25 büyüklüğünde ve 0,5 s süreli gerilim çukuru altındaki dinamik davranışı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, gerilim çukuru sırasında PCC geriliminin 0,75 pu seviyesine düşmesine bağlı olarak şebeke RMS akımının arttığını ve bozucunun başlangıç ile bitiş anlarında DC-link gerilimi ve aktif güçte geçici salınımlar oluştuğunu göstermiştir. Buna karşın PV geriliminin, PV akımının ve PV gücünün çalışma değerleri çevresinde büyük ölçüde korunduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar, incelenen sabit ışınlım ve sıcaklık koşullarında PV çalışma noktasının gerilim çukuru süresince önemli ölçüde korunduğunu göstermektedir.

Gerilim nominal seviyesine döndüğünde şebeke tarafı değişkenlerinin kısa süreli geçici rejimin ardından önceki çalışma bölgelerine yöneldiği görülmüştür. Bununla birlikte, gerilim çukuruna giriş ve çıkış anlarında oluşan DC-link gerilimi ve aktif güç salınımları, sistemin geçici rejim performansının değerlendirilmesinde bu değişkenlerin önemini ortaya koymaktadır.

Gelecek çalışmalarda farklı gerilim çukuru derinlikleri ve süreleri altında sistem davranışının karşılaştırmalı olarak incelenmesi, farklı MPPT yöntemlerinin aynı bozucu koşullar altında değerlendirilmesi ve asimetrik gerilim çukuru senaryolarının ele alınması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Shetwi, A. Q., Sujod, M. Z., Blaabjerg, F., & Yang, Y. (2019). Fault ride-through control of grid-connected photovoltaic power plants: A review. *Solar Energy*, 180, 340–350.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.032>
- Bollen, M. H. J. (2000). *Understanding power quality problems: Voltage sags and interruptions*. IEEE Press.
- Djilali, A. B., Bounadja, E., Yahdou, A., Benbouhenni, H., Elbarbary, Z. M. S., Colak, I., & Al-Gahtani, S. F. (2025). Enhanced variable step sizes perturb and observe MPPT control to reduce energy loss in photovoltaic systems. *Scientific Reports*, 15, 11700. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95309-y>
- Esrām, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(2), 439–449.
<https://doi.org/10.1109/TEC.2006.874230>
- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., & Vitelli, M. (2005). Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(4), 963–973.
<https://doi.org/10.1109/TPEL.2005.850975>
- Gencer, A. (2025). Low voltage ride-through improvement of a grid-connected PV power system using a machine learning control system. *Applied Sciences*, 15(8), 4251. <https://doi.org/10.3390/app15084251>
- Gholipour, A., Farhadi-Kangarlu, M., Neyshabouri, Y., & Talavat, V. (2025). Low voltage ride through (LVRT) enhancement of a two-stage grid-connected photovoltaic system based on finite-control-set model predictive control strategy. *International Journal of Renewable Energy Development*, 14(3), 404–419.
<https://doi.org/10.61435/ijred.2025.60491>
- Lyu, G., Soomar, A. M., Shah, S. H. H., Shaikh, S., & Musznicki, P. (2025). Maximum power point tracking strategies for solar PV systems: A review of current methods and future innovations. *Results in Engineering*, 28, 107227. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107227>
- Mousa, Y. G. H., Abdelsalam, T. S., Hasanien, H. M., Ullah, Z., Alkuhayli, A., & Mokhtar, M. (2025). Comparative analysis of metaheuristic algorithms-based control for enhancing low voltage ride through in grid-connected photovoltaic systems. *Ain Shams Engineering Journal*, 16(7), 103423.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103423>

- Reisi, A., & Saleh, A. (2026). Integrated power tracking algorithm for grid-connected solar inverters with low voltage ride-through capability. *Electric Power Systems Research*, 256, 112869. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2026.112869>
- Selim, F., Aly, M., Megahed, T. F., & Abdelkader, S. M. (2026). Low voltage ride through enhancement techniques on photovoltaic systems: A comprehensive review. *Applied Energy*, 402, 126955. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126955>
- Singh, A. K., Choudhury, N. B. D., Singh, J., & Tiwari, D. K. (2026). Multi-functional low voltage ride-through control strategies for grid-interfaced solar power plants: A comprehensive review. *Applied Energy*, 415, 127885. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2026.127885>
- Teodorescu, R., Liserre, M., & Rodríguez, P. (2011). *Grid converters for photovoltaic and wind power systems*. Wiley-IEEE Press. <https://doi.org/10.1002/9780470667057>
- Yang, Y., & Blaabjerg, F. (2013). Low-voltage ride-through capability of a single-stage single-phase photovoltaic system connected to the low-voltage grid. *International Journal of Photoenergy*, 2013, 257487. <https://doi.org/10.1155/2013/257487>
- Zeb, K., Uddin, W., Khan, M. A., Ali, Z., Ali, M. U., Christofides, N., & Kim, H. J. (2018). A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1120–1141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.053>

100 kW ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMİN FARKLI ŞEBEKE FREKANSI SAPMALARI ALTINDA DİNAMİK PERFORMANS ANALİZİ

Arş. Gör. Mehmet Can SEKANLI / Prof. Dr. Okan BİNGÖL

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Bölümü

E-mail: mehmetsekanli@isparta.edu.tr , ORCID: 0009-0009-9043-3582

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Bölümü

E-mail: okanbingol@isparta.edu.tr , ORCID: 0000-0001-9817-7266

Özet

Şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) sistemlerde şebeke frekansında meydana gelen değişimler, evirici senkronizasyonu ve güç aktarım performansı üzerinde geçici etkiler oluşturabilmektedir. Bu çalışmada, yaklaşık 100 kW gücündeki üç fazlı şebekeye bağlı bir PV sisteminin farklı şebeke frekansı sapmaları altındaki dinamik performansı incelenmiştir. PV dizisi 10 seri ve 47 paralel modülden oluşturulmuş, maksimum güç noktası takibi için Perturb and Observe (P&O) yöntemi kullanılmıştır. Nominal 50 Hz şebeke frekansına göre 49,5 Hz, 48,5 Hz, 50,5 Hz ve 51,5 Hz olmak üzere dört farklı frekans senaryosu uygulanmıştır. Her senaryoda faz kilitlemeli döngünün (PLL) frekans takip performansı, şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi, şebeke aktif gücü ve PV çıkış gücü değerlendirilmiştir. Sonuçlarda PLL'nin tüm senaryolarda hedef frekansı yakından takip ettiği, $\pm 0,5$ Hz frekans sapmalarında yaklaşık 1,06 ms, $\pm 1,5$ Hz sapmalarda ise yaklaşık 1,89 ms yerleşme ve toparlanma süreleri elde edildiği belirlenmiştir. Frekans sapmasının büyüklüğü arttıkça PLL geçici aşım/alt aşımı ve aktif güç sapması artarken, DC-link gerilimindeki maksimum sapma tüm senaryolarda 0,9 V'un altında kalmıştır. PV çıkış gücü ise yaklaşık 100,06 kW seviyesinde korunmuştur. Elde edilen sonuçlar, incelenen çalışma koşullarında sistemin farklı frekans sapmaları altında dinamik çalışma davranışını büyük ölçüde sürdürdüğünü göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistem, şebeke frekansı sapması, PLL, şebekeye bağlı evirici, dinamik performans

DYNAMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF A 100 kW GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM UNDER DIFFERENT GRID FREQUENCY DEVIATIONS

Res.Asst. Mehmet Can SEKANLI / Prof. Dr. Okan BİNGÖL

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering

E-mail: mehmetsekanli@isparta.edu.tr , ORCID: 0009-0009-9043-3582

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering

E-mail: okanbingol@isparta.edu.tr , ORCID: 0000-0001-9817-7266

Abstract

Grid frequency variations in grid-connected photovoltaic (PV) systems can cause transient effects on inverter synchronization and power transfer performance. In this study, the dynamic performance of an approximately 100 kW three-phase grid-connected PV system under different grid frequency deviations was investigated. The PV array consisted of 10 series-connected and 47 parallel-connected modules, and the Perturb and Observe (P&O) method was employed for maximum power point tracking. Four frequency scenarios, namely 49.5 Hz, 48.5 Hz, 50.5 Hz, and 51.5 Hz, were applied with respect to the nominal grid frequency of 50 Hz. For each scenario, the frequency-tracking performance of the phase-locked loop (PLL), grid RMS current, DC-link voltage, grid active power, and PV output power were evaluated. The results show that the PLL closely tracks the target frequency in all scenarios, with settling and recovery times of approximately 1.06 ms for ± 0.5 Hz deviations and 1.89 ms for ± 1.5 Hz deviations. As the magnitude of the frequency deviation increases, the transient PLL overshoot/undershoot and active power deviation also increase, whereas the maximum DC-link voltage deviation remains below 0.9 V in all cases. The PV output power is maintained at approximately 100.06 kW. These results indicate that, under the investigated operating conditions, the system largely maintains its dynamic operating behavior under different grid frequency deviations.

Keywords: Photovoltaic system, grid frequency deviation, phase-locked loop, grid-connected inverter, dynamic performance

GİRİŞ

Güç sistemlerinde evirici tabanlı üretim kaynaklarının yaygınlaşması, şebeke frekansındaki değişimlerin güç elektroniği dönüştürücüleri üzerindeki etkisinin incelenmesini daha önemli hâle getirmiştir. Fotovoltaik (PV) sistemler şebekeye güç elektroniği dönüştürücüleri aracılığıyla bağlandığından, bu sistemlerin şebeke ile etkileşimi kullanılan kontrol ve senkronizasyon yapılarının dinamik özellikleriyle yakından ilişkilidir. Artan PV penetrasyonunun güç kalitesi, sistem kararlılığı, güvenilirlik ve evirici kontrol gereksinimleri üzerindeki etkileri literatürde kapsamlı biçimde ele alınmaktadır (Morey vd., 2023; Boscaino vd., 2024). PV sistemlerin frekans davranışına yönelik güncel çalışmalar ise frekans kontrolü, güç rezervi oluşturulması, frekans desteği ve evirici kontrol yaklaşımları üzerinde yoğunlaşmaktadır (Hassan vd., 2026).

Şebeke takip eden eviricilerde şebeke geriliminin faz açısı ve frekans bilgisinin belirlenmesinde faz kilitlemeli döngü (Phase-Locked Loop–PLL) yapıları yaygın olarak kullanılmaktadır. PLL tarafından elde edilen faz bilgisi, senkron referans çerçevesindeki dönüşümlerde ve evirici kontrolünün şebeke ile eş zamanlı yürütülmesinde kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı PV ve dağıtık üretim sistemlerinde PLL tabanlı senkronizasyon yöntemlerinin faz ve frekans takibindeki rolü çeşitli çalışmalarda ayrıntılı olarak incelenmiştir (Gawhade ve Ojha, 2021; Kulkarni ve Gaonkar, 2023). Bu nedenle şebeke frekansında meydana gelen ani değişimler sırasında PLL'nin değişen çalışma koşulunu doğru ve hızlı biçimde takip edebilmesi, eviricinin senkronizasyon performansı açısından önem taşımaktadır. PLL'nin frekans tahmini ve senkronizasyon performansının değişken şebeke koşullarından etkilenebildiği güncel çalışmalarda da gösterilmektedir (Yu vd., 2026).

Şebeke frekansındaki değişimin etkisi yalnızca PLL tarafından tahmin edilen frekans üzerinden değerlendirilmemelidir. Frekans değişimi sırasında oluşan geçici senkronizasyon hataları, evirici kontrolünde kullanılan referans çerçevesini etkileyerek şebeke akımı, DC-link gerilimi ve aktif güç aktarımında geçici değişimlere neden olabilmektedir. PLL tabanlı şebeke takip eden eviricilerde senkronizasyon yapısı ile akım ve güç kontrol döngüleri arasındaki etkileşim sistemin dinamik davranışı açısından önem taşımaktadır (Mohammed vd., 2022). Ayrıca frekans sapmasının büyüklüğü ve yönü, sistemin geçici rejim cevabının değerlendirilmesinde önemli değişkenlerdir. Bu nedenle düşük ve yüksek frekans yönündeki farklı büyüklükteki sapmaların aynı işletme koşulları altında karşılaştırılması, PLL tabanlı senkronizasyon davranışı ile sistem düzeyindeki elektriksel değişimler arasındaki ilişkinin incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, yaklaşık 100 kW gücündeki şebekeye bağlı bir PV sisteminin farklı şebeke frekansı sapmaları altındaki dinamik performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. PV sistemi sabit ışınlım ve sıcaklık koşullarında çalıştırılarak nominal 50 Hz frekansa göre -0,5 Hz, -1,5 Hz, +0,5 Hz ve +1,5 Hz sapmalar uygulanmıştır. Her bir senaryoda PLL frekans cevabı, yerleşme ve toparlanma süreleri ile şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi, şebeke aktif gücü ve PV çıkış gücü değerlendirilmiştir. Böylece frekans sapmasının yönü ve büyüklüğünün PV sisteminin senkronizasyon performansı ve sistem düzeyindeki dinamik cevabı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur.

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

1.1. PLL Tabanlı Senkronizasyon ve Frekans Sapması

Şebeke takip eden eviricilerde şebeke geriliminin faz açısı ve frekans bilgisinin belirlenmesinde faz kilitlemeli döngü yapıları yaygın olarak kullanılmaktadır. Senkron referans çerçevesi tabanlı PLL yapısında üç fazlı şebeke gerilimleri dq referans çerçevesine dönüştürülmekte ve PLL tarafından tahmin edilen faz açısı evirici kontrolünde kullanılmaktadır. Şebeke gerilim vektörünün d-ekseni ile hizalanması durumunda q-ekseni gerilim bileşeni sıfıra yaklaşmakta ve bu bileşen PLL kontrol döngüsünde faz hata bilgisi olarak değerlendirilmektedir (Chung, 2000; Timbus vd., 2005).

Nominal şebeke frekansı f_n ve anlık şebeke frekansı $f_g(t)$ olmak üzere frekans sapması Eşitlik (1) ile tanımlanmaktadır:

$$\Delta f(t) = f_{g(t)} - f_n \quad (1)$$

Buna göre $\Delta f(t) < 0$ düşük frekans, $\Delta f(t) > 0$ ise yüksek frekans koşulunu ifade etmektedir. Şebeke frekansında meydana gelen değişimler, PLL tarafından tahmin edilen faz açısı ve açısal frekansın yeni çalışma koşuluna uyarlanmasını gerektirmektedir. Bu süreçte oluşan geçici senkronizasyon hataları evirici kontrolünde kullanılan referans çerçevesini etkileyerek akım ve güç aktarımında geçici değişimlere neden olabilmektedir (Mohammed vd., 2022).

PLL kontrol döngüsünde q-ekseni gerilim bileşeni PI denetleyici üzerinden işlenerek nominal açısal frekansa uygulanacak düzeltme bileşeni elde edilmektedir. Bu ilişki,

$$\Delta \omega_{PLL(t)} = K_p v_{q(t)} + K_i \int_0^t v_{q(\tau)} d\tau \quad (2)$$

Burada K_p ve K_i , PLL PI denetleyicisinin sırasıyla oransal ve integral kazançlarını göstermektedir. Buna göre PLL tarafından tahmin edilen şebeke frekansı,

$$f_{PLL}(t) = \frac{\omega_0 + \Delta\omega_{PLL}(t)}{2\pi} \quad (3)$$

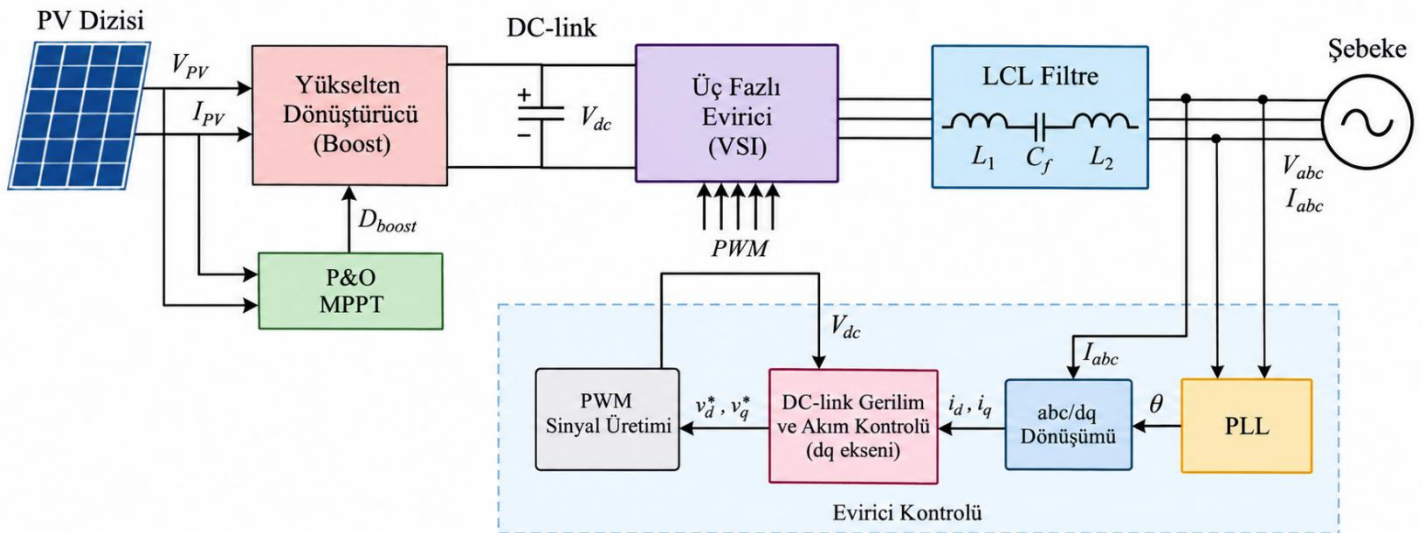
ile hesaplanmaktadır. Burada ω_0 , nominal şebeke açısal frekansıdır.

Şebeke frekansındaki ani bir değişimin ardından PLL'nin yeni frekans değerine ulaşması sırasında geçici bir dinamik cevap meydana gelmektedir. Bu cevabın hızı ve sönüm karakteristiği PLL denetleyici parametrelerine bağlı olarak değişebilmektedir (Kaura ve Blasko, 1997). Bu nedenle PLL'nin farklı frekans sapmaları altındaki yerleşme ve nominal frekansa dönüş davranışı, senkronizasyon performansının değerlendirilmesinde temel göstergeler olarak kullanılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Sistem Modeli ve Kontrol Yapısı

Simülasyonlarda yaklaşık 100 kW nominal güce sahip üç fazlı şebekeye bağlı PV sistemi kullanılmıştır. PV dizisi, nominal gücü 213,15 W olan modüllerin 10 seri $\times$ 47 paralel konfigürasyonunda bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Sistem; PV dizisi, DC-DC yükselten dönüştürücü, DC-link, üç fazlı evirici, LCL filtre ve şebekeden oluşmaktadır. PV gücü yükselten dönüştürücü ve evirici üzerinden şebekeye aktarılırken LCL filtre, anahtarlardan kaynaklanan yüksek frekanslı akım bileşenlerinin sınırlandırılmasında kullanılmıştır. Sistemin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Şebekeye bağlı PV sisteminin genel yapısı

PV dizisinin maksimum güç noktasında işletilmesi amacıyla P&O tabanlı MPPT algoritması kullanılmış ve algoritma parametreleri tüm frekans senaryolarında sabit tutulmuştur. Şebeke tarafındaki eviricinin kontrolünde

senkron dq referans çerçevesi kullanılmıştır. Şebeke faz açısı PLL aracılığıyla belirlenmiş, DC-link gerilim hatası d-ekseni akım referansının oluşturulmasında kullanılmış ve q-ekseni akım referansı sıfır olarak belirlenmiştir. d- ve q-ekseni akımları PI denetleyiciler üzerinden kontrol edilerek elde edilen gerilim referansları eviricinin PWM katmanına uygulanmıştır.

Tüm testlerde PV ışınlamı 1000 W/m^2 , hücre sıcaklığı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ve şebeke hatlar arası RMS gerilimi 380 V olarak sabit tutulmuştur. DC-link referans gerilimi 800 V , nominal şebeke frekansı ise 50 Hz olarak belirlenmiştir. PLL denetleyicisinde $K_p = 10$ ve $K_i = 50000$ değerleri kullanılmıştır. Sistemin temel parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Simülasyon modelinin temel parametreleri

Parametre	Değer
PV sistem nominal gücü	$\approx 100 \text{ kW}$
PV dizi konfigürasyonu	$10\text{S} \times 47\text{P}$
Işınım / hücre sıcaklığı	$1000 \text{ W/m}^2 / 25 \text{ }^\circ\text{C}$
DC-link referansı / kapasitansı	$800 \text{ V} / 9 \text{ mF}$
Şebeke gerilimi / nominal frekansı	$380 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$
Yükselten dönüştürücü / evirici anahtarlama frekansı	$5 \text{ kHz} / 10 \text{ kHz}$
LCL filtre ($L_1 / C_f / L_2$)	$0,5 \text{ mH} / 100 \text{ } \mu\text{F} / 0,5 \text{ mH}$
PLL PI kazançları	$K_p = 10, K_i = 50000$

2.2. Frekans Sapması Senaryoları

Şebeke frekansı sapmasının yönü ve büyüklüğünün sistem cevabı üzerindeki etkisini karşılaştırmak amacıyla dört farklı test senaryosu uygulanmıştır. Tüm senaryolarda sistem başlangıçta nominal **50 Hz** frekansta çalıştırılmış, $t=1,0 \text{ s}$ anında ilgili frekans değerine geçirilmiş ve bu koşul $t=1,4 \text{ s}$ anına kadar sürdürülmüştür. Daha sonra şebeke frekansı yeniden 50 Hz değerine getirilmiş ve toplam simülasyon süresi 2 s olarak belirlenmiştir.

Senaryolar, nominal frekans çevresinde simetrik $\pm 0,5 \text{ Hz}$ ve $\pm 1,5 \text{ Hz}$ sapmalar oluşturacak şekilde seçilmiştir. Böylece aynı büyüklükteki düşük ve yüksek frekans değişimlerinin yanı sıra sapma büyüklüğünün PLL tabanlı senkronizasyon ve sistem düzeyindeki dinamik cevap üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Uygulanan frekans sapması senaryoları

Senaryo	Frekans (Hz)	Δf (Hz)	Sapma (%)
F1	49,5	-0,5	-1
F2	48,5	-1,5	-3
F3	50,5	+0,5	+1
F4	51,5	+1,5	+3

2.3. Performans Değerlendirme Yöntemi

Frekans sapması senaryolarının karşılaştırılmasında uygulanan şebeke frekansı, PLL tarafından tahmin edilen frekans, şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi, şebeke aktif gücü ve PV çıkış gücü analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları; bozucu öncesi 0,8–1,0 s, frekans sapmasının uygulandığı 1,0–1,4 s ve toparlanma sürecini kapsayan 1,4–1,8 s zaman aralıklarında değerlendirilmiştir.

PLL performansının değerlendirilmesinde bozucu sırasındaki ortalama, minimum ve maksimum frekans değerleri ile yerleşme ve toparlanma süreleri dikkate alınmıştır. PLL frekansının hedef değerin $\pm 0,05$ Hz bandına girmesi ve ilgili değerlendirme aralığında bu bant içerisinde kalması yerleşme kriteri olarak kullanılmıştır:

$$|f_{PLL(t)} - f_{target}| \leq 0,05 \quad (4)$$

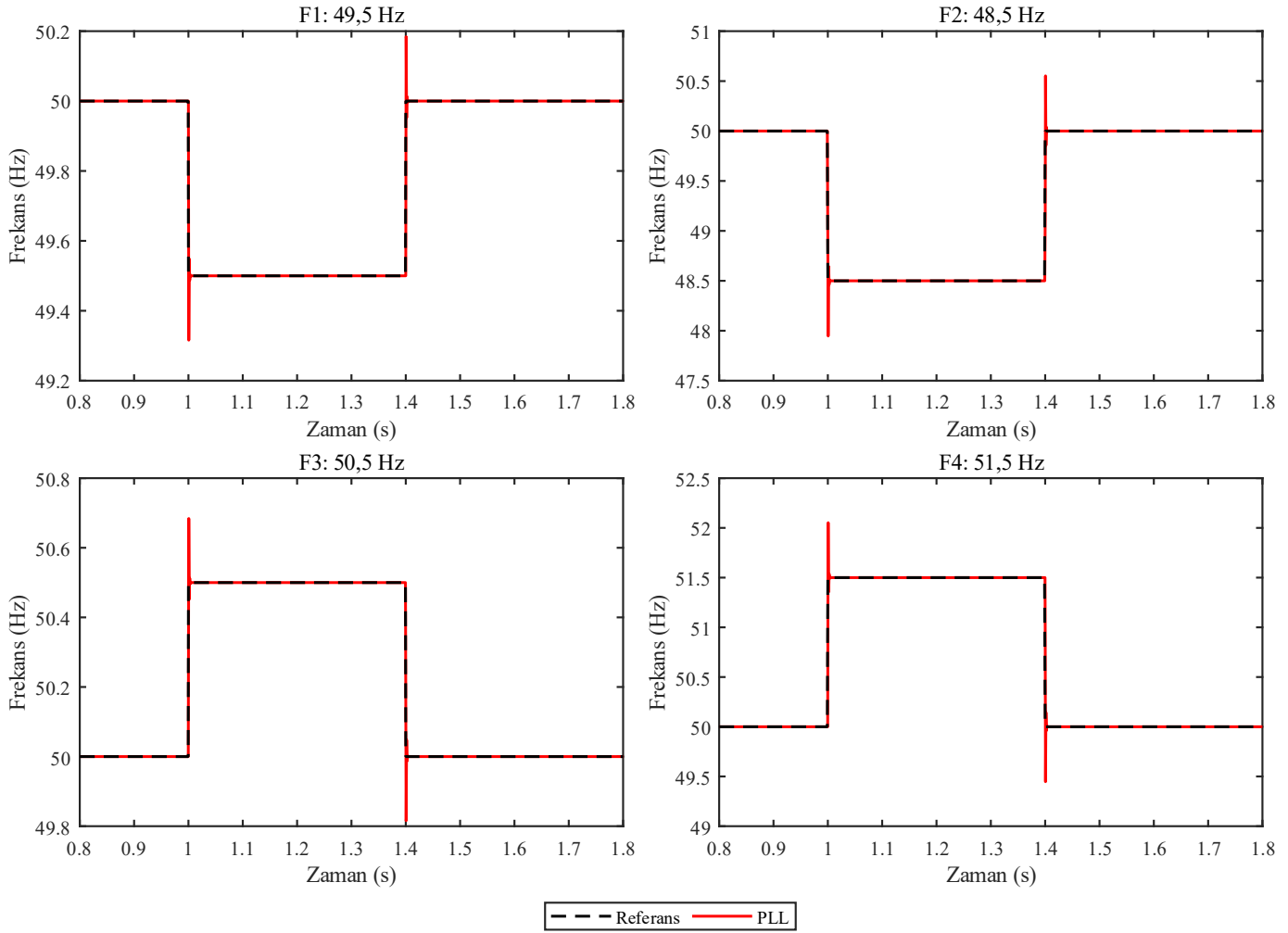
Burada yerleşme süresinin belirlenmesinde $f_{target} = f_d$, nominal frekansa toparlanma süresinin belirlenmesinde ise $f_{target} = f_n = 50$ Hz olarak alınmıştır.

Sistem düzeyindeki dinamik cevabın değerlendirilmesinde şebeke RMS akımının maksimum değeri, DC-link geriliminin minimum ve maksimum değerleri, aktif güç sapması ve PV çıkış gücündeki değişimler incelenmiştir. DC-link gerilimi için 800 V referans değerine göre maksimum mutlak sapma, aktif güç için ise bozucu öncesindeki 0,8–1,0 s aralığında hesaplanan ortalama şebeke gücüne göre maksimum mutlak sapma belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler frekans bozucusunun başlangıcından toparlanma bölgesinin sonuna kadar olan 1,0–1,8 s aralığında gerçekleştirilmiştir. PV çıkış gücü için minimum ve maksimum değerler belirlenerek frekans sapmasının PV çalışma noktası üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Şebeke akımının RMS değeri 20 ms’lik pencere kullanılarak hesaplanmış, güç büyüklükleri 20 ms’lik hareketli ortalama ile değerlendirilmiş ve DC-link gerilimi 2 ms’lik pencere ile yumuşatılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 2’de F1–F4 frekans sapması senaryoları altında uygulanan şebeke frekansı ile PLL tarafından tahmin edilen frekansın dinamik cevapları gösterilmektedir. Tüm senaryolarda PLL’nin bozucu süresince hedef

frekansı yakından takip ettiği görülmektedir. Bozucu aralığındaki ortalama PLL frekansları F1, F2, F3 ve F4 için sırasıyla 49,5000 Hz, 48,5000 Hz, 50,5000 Hz ve 51,5000 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, incelenen koşullar altında PLL'nin frekans değişimi sonrasında hedef çalışma noktasını yüksek doğrulukla izlediğini göstermektedir.

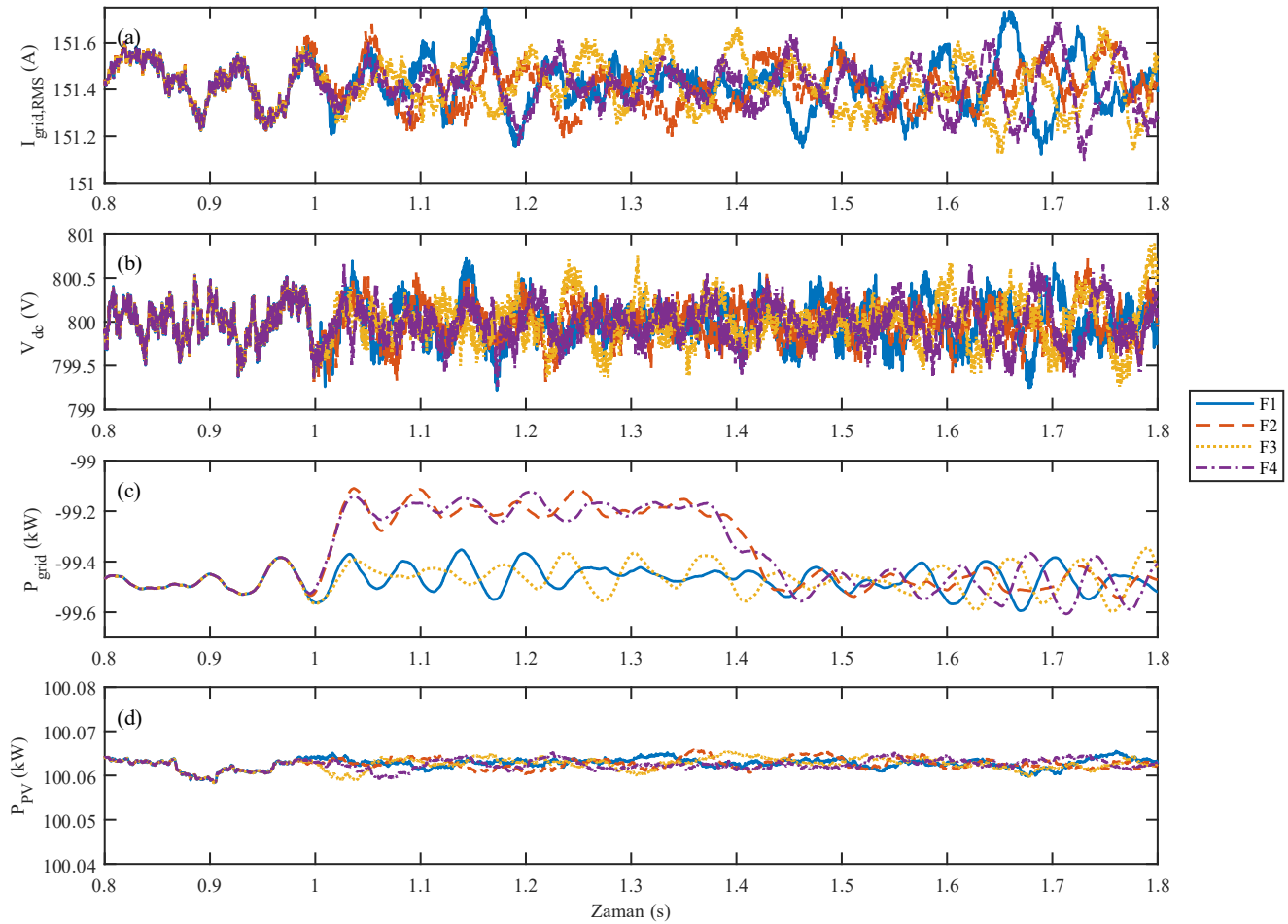


Şekil 2. Farklı şebeke frekansı sapmaları altında PLL frekans takip performansı

Frekans geçişlerinin başlangıç ve bitiş anlarında kısa süreli aşım ve alt aşım davranışları meydana gelmiştir. $\pm 0,5$ Hz büyüklüğündeki F1 ve F3 senaryolarında geçici sapma yaklaşık 0,184 Hz iken, $\pm 1,5$ Hz büyüklüğündeki F2 ve F4 senaryolarında bu değer yaklaşık 0,552 Hz seviyesine yükselmiştir. Düşük frekans yönünde minimum PLL frekansı F1 için 49,316 Hz, F2 için 47,948 Hz olarak elde edilirken; yüksek frekans yönünde maksimum PLL frekansı F3 için 50,684 Hz, F4 için 52,052 Hz olarak belirlenmiştir. Böylece frekans adımının büyüklüğü arttıkça geçici PLL sapmasının da belirgin biçimde arttığı görülmektedir.

$\pm 0,05$ Hz tolerans bandı esas alınarak hesaplanan yerleşme süreleri F1 ve F3 için yaklaşık 1,06 ms, F2 ve F4 için ise yaklaşık 1,89 ms olarak bulunmuştur. Nominal 50 Hz frekansına toparlanma süreleri de benzer biçimde sırasıyla yaklaşık 1,06 ms ve 1,89 ms düzeyindedir. Sonuçlar, pozitif ve negatif yöndeki eşit büyüklükteki frekans sapmalarının PLL cevabında büyük ölçüde simetrik bir davranış oluşturduğunu, buna karşılık sapma büyüklüğünün artmasının geçici aşım/alt aşım ile yerleşme süresini artırdığını göstermektedir.

Şekil 3'te farklı frekans sapması senaryoları altında şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi, şebeke aktif gücü ve PV çıkış gücünün dinamik değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 3. Farklı şebeke frekans sapmaları altında PV sisteminin dinamik cevabı: (a) şebeke RMS akımı, (b) DC-link gerilimi, (c) şebeke aktif gücü ve (d) PV çıkış gücü

Şebeke RMS akımının maksimum değeri tüm senaryolarda birbirine oldukça yakın elde edilmiş ve 151,67–151,77 A aralığında kalmıştır. DC-link geriliminin 800 V referans değerinden maksimum sapması ise F1–F4

senaryolarında sırasıyla 0,782 V, 0,723 V, 0,894 V ve 0,739 V olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, incelenen frekans sapmaları altında şebeke akımı ve DC-link geriliminde sınırlı değişimler meydana geldiğini göstermektedir.

Aktif güç cevabında frekans sapmasının büyüklüğüne bağlı daha belirgin bir değişim gözlenmiştir. Bozucu öncesi ortalama aktif güce göre maksimum güç sapması F1 ve F3 senaryolarında sırasıyla 0,127 kW ve 0,135 kW iken, daha büyük frekans sapmalarının uygulandığı F2 ve F4 senaryolarında bu değerler 0,369 kW ve 0,356 kW olarak elde edilmiştir. Böylece $\pm 1,5$ Hz frekans değişimlerinde aktif güç sapmasının $\pm 0,5$ Hz senaryolarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kaydedilen Pgrid değerlerinin negatif işaretli olması modelin güç yönü tanımına bağlı olduğundan, karşılaştırma maksimum sapma büyüklüğü üzerinden yapılmıştır.

PV çıkış gücü tüm senaryolarda yaklaşık 100,06 kW seviyesinde korunmuştur. F1–F4 koşullarında PV gücünün minimum ve maksimum değerleri yaklaşık 100,059–100,066 kW aralığında kalmış ve senaryolar arasında belirgin bir değişim oluşmamıştır. Bu durum, sabit ışınlam ve sıcaklık koşulları altında uygulanan frekans sapmalarının PV tarafındaki çalışma noktasını önemli ölçüde değiştirmediğini göstermektedir. Genel olarak frekans sapmasının büyüklüğü arttıkça PLL geçici cevabı ve aktif güç sapması daha belirgin hâle gelirken, DC-link gerilimi, şebeke RMS akımı ve PV çıkış gücü sınırlı değişim göstermiştir.

Şekil 2 ve Şekil 3 üzerinden gözlenen dinamik davranışların sayısal olarak karşılaştırılabilmesi amacıyla, her frekans senaryosuna ait temel PLL ve sistem performans göstergeleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Frekans sapması senaryolarının karşılaştırmalı performans sonuçları

Performans göstergesi	F1	F2	F3	F4
Uygulanan frekans (Hz)	49,5	48,5	50,5	51,5
Ortalama PLL frekansı (Hz)	49,5000	48,5000	50,5000	51,5000
Geçici aşım/alt aşım (Hz)	0,184	0,552	0,184	0,552
Yerleşme süresi (ms)	1,06	1,89	1,06	1,89
Toparlanma süresi (ms)	1,06	1,89	1,06	1,89
Maks. şebeke RMS akımı (A)	151,77	151,68	151,67	151,69
Maks. DC-link gerilim sapması (V)	0,782	0,723	0,894	0,739
Maks. aktif güç sapması (kW)	0,127	0,369	0,135	0,356
PV çıkış gücü aralığı (kW)	100,060– 100,066	100,060–100,066	100,059– 100,065	100,059–100,065

Tablo 3'e göre, aynı büyüklükteki düşük ve yüksek frekans sapmaları PLL cevabında benzer yerleşme ve toparlanma davranışı oluşturmuştur. Frekans sapmasının $\pm 0,5$ Hz'den $\pm 1,5$ Hz'e çıkarılmasıyla geçici aşım/alt

aşım yaklaşık 0,184 Hz'den 0,552 Hz'e yükselmiş, yerleşme ve toparlanma süreleri ise yaklaşık 1,06 ms'den 1,89 ms'ye çıkmıştır. Benzer şekilde aktif güç sapması daha büyük frekans değişimlerinde artarken, şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi ve PV çıkış gücündeki değişimler sınırlı kalmıştır.

Elde edilen bulgular, şebekeye bağlı PV eviricilerinde PLL tabanlı senkronizasyonun frekans ve faz değişimlerinin izlenmesinde kritik rol oynadığını vurgulayan literatürle uyumludur. Gawhade ve Ojha (2021), şebekeye bağlı PV sistemlerinde PLL yapılarının değişken şebeke koşullarında senkronizasyon performansını doğrudan etkilediğini belirtmiştir. Zhang vd. (2023) ise özellikle zayıf şebeke koşullarında PLL, şebeke empedansı ve evirici kontrolü arasındaki etkileşimin frekans kararlılığını olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada incelenen sabit şebeke gerilimi ve kontrol koşullarında ise $\pm 1,5$ Hz'e kadar uygulanan frekans sapmalarında PLL hedef frekansı izlemeyi sürdürmüş ve DC-link gerilimi ile PV çıkış gücünde sınırlı değişimler gözlenmiştir. Wang vd. (2024) tarafından iki kademeli PV sistemlerinde yapılan çalışma da frekans değişimlerine verilen kısa süreli cevabın büyük ölçüde evirici ve DC-link dinamikleri tarafından şekillendirilebildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte söz konusu çalışmaların şebeke gücü, kontrol amacı ve frekans destek stratejileri bakımından farklı koşullara sahip olması nedeniyle sayısal sonuçların doğrudan karşılaştırılması uygun değildir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yaklaşık 100 kW gücündeki şebekeye bağlı bir PV sisteminin farklı düşük ve yüksek şebeke frekansı sapmaları altındaki dinamik performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Nominal 50 Hz frekans çevresinde $\pm 0,5$ Hz ve $\pm 1,5$ Hz sapmalar uygulanarak PLL tabanlı senkronizasyon cevabı ile şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi, aktif güç ve PV çıkış gücü değerlendirilmiştir. PLL, tüm senaryolarda uygulanan frekans değerini yüksek doğrulukla takip etmiş; $\pm 0,5$ Hz sapmalarda yaklaşık 1,06 ms, $\pm 1,5$ Hz sapmalarda ise yaklaşık 1,89 ms yerleşme ve toparlanma süreleri elde edilmiştir. Frekans sapmasının büyüklüğü arttıkça PLL geçici aşım/alt aşımının ve aktif güç sapmasının arttığı, buna karşın şebeke RMS akımı, DC-link gerilimi ve PV çıkış gücündeki değişimlerin sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Özellikle DC-link geriliminin 800 V referansına göre maksimum sapmasının tüm senaryolarda 0,9 V'un altında kalması ve PV çıkış gücünün yaklaşık 100,06 kW seviyesinde korunması, incelenen koşullar altında PV sisteminin frekans değişimleri sırasında çalışma noktasını büyük ölçüde sürdürdüğünü göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Boscaino, V., Ditta, V., Marsala, G., Panzavecchia, N., Tinè, G., Cosentino, V., Cataliotti, A., & Di Cara, D. (2024). Grid-connected photovoltaic inverters: Grid codes, topologies and control techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113903. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113903>
- Chung, S.-K. (2000). A phase tracking system for three phase utility interface inverters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 15(3), 431–438. <https://doi.org/10.1109/63.844502>
- Gawhade, P., & Ojha, A. (2021). Recent advances in synchronization techniques for grid-tied PV system: A review. *Energy Reports*, 7, 6581–6599. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.09.006>
- Hassan, A., Ahmed, J., Papadopoulos, S., Kahwash, F., & Goh, K. (2026). A comprehensive review of frequency response and control strategies for grid-connected solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116324. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116324>
- Kaura, V., & Blasko, V. (1997). Operation of a phase locked loop system under distorted utility conditions. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 33(1), 58–63. <https://doi.org/10.1109/28.567077>
- Kulkarni, S. V., & Gaonkar, D. N. (2023). An investigation of PLL synchronization techniques for distributed generation sources in the grid-connected mode of operation. *Electric Power Systems Research*, 223, 109535. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109535>
- Mohammed, N., Zhou, W., & Bahrani, B. (2022). Comparison of PLL-based and PLL-less control strategies for grid-following inverters considering time and frequency domain analysis. *IEEE Access*, 10, 80518–80538. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3195494>
- Morey, M., Gupta, N., Garg, M. M., & Kumar, A. (2023). A comprehensive review of grid-connected solar photovoltaic system: Architecture, control, and ancillary services. *Renewable Energy Focus*, 45, 307–330. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.04.009>
- Timbus, A. V., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., & Liserre, M. (2005). Synchronization methods for three phase distributed power generation systems: An overview and evaluation. In *2005 IEEE 36th Conference on Power Electronics Specialists* (pp. 2474–2481). <https://doi.org/10.1109/PESC.2005.1581980>
- Wang, L., Zhang, R., Zang, Q., Cheng, Z., Su, C., Li, Z., & Zhang, H. (2024). Study on photovoltaic primary frequency control strategy at different time scales. *IET Renewable Power Generation*, 18(16), 3994–4003. <https://doi.org/10.1049/rpg2.13100>
- Yu, C., Fang, W., Zhu, D., Dong, J., Tu, Y., Xu, H., & Guo, L. (2026). An enhanced double second-order generalised integrator-based phase-locked loop featuring multisource frequency fusion and adaptive damping for weak-grid conditions. *IET Energy Systems Integration*, 8(1), e70047. <https://doi.org/10.1049/esi2.70047>
- Zhang, Q., Hu, Q., Sun, S., Mei, D., Liu, S., & Liu, X. (2023). Voltage and frequency instability in large PV systems connected to weak power grid. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1210514. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1210514>

ELEKTROEĞİRME İLE ÜRETİLEN PAN VE PVA NANOLİFLERİN OPTİMUM İŞLEM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Doktora Öğrencisi, Felid ÖKMEN¹/ Prof. Dr., Mehmet KAYA²/ Prof. Dr., Murat Demir AYDIN³

¹Kocaeli Üniversitesi/Iğdır Üniversitesi, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri, felidokmen@gmail.com, 0000-0002-0588-2503

²Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzak Bilimleri Fakültesi, kaya.mehmet@kocaeli.edu.tr, 0000-0002-4264-0773

³Erzurum Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzak Mühendisliği, mdemira@erzurum.edu.tr, 0000-0002-2287-2198

Özet

Elektroeğirme, düşük lif çapına, yüksek özgül yüzey alanına ve kontrollü morfolojik özelliklere sahip nanoliflerin üretimi için kullanılan yöntemlerinden biridir. Bu yöntem ile nanolif üretimi gerçekleştirilirken işlem ve çözelti parametreleri önemli bir yer tutar. Uygulanan voltaj, akış hızı, iğne ile toplayıcı arasındaki mesafe, toplaç dönme hızı gibi işlem parametrelerinin uygun şekilde ayarlanması gerekir. Bu çalışmada, poliakrilonitril (PAN) ve polivinil alkol (PVA) nanoliflerin elektroeğirme işlemi sırasında uygulanan gerilim ve çözelti akış hızının lif morfolojisi üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve her bir polimer sistemi için optimum işlem parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. PAN/DMF çözeltisi %10 (ağırlıkça) PAN kullanılarak hazırlanırken, PVA/saf su çözeltisi %12 (ağırlıkça) PVA olacak şekilde kullanılarak hazırlanmıştır. Her iki polimer sisteminde iğne çapı, toplayıcı dönüş hızı ve ortam koşulları sabit tutulmuş; işlem parametreleri olarak uygulanan gerilim ve çözelti akış hızı değiştirilmiştir. PAN sistemi için 10, 13, 16 ve 19 kV gerilim değerleri ile 0,25, 0,50 ve 0,75 mL/h akış hızları; PVA sistemi için ise 10, 13, 16 ve 19 kV gerilim değerleri ile 0,20, 0,40 ve 0,60 mL/h akış hızları incelenmiştir. Üretilen nanoliflerin morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri üzerinden lif sürekliliği, lif çapı, homojenlik ve boncuk oluşumu açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, her iki polimer sisteminde de gerilim ve akış hızının lif morfolojisini belirgin biçimde etkilediğini göstermektedir. PAN için 16 kV ve 0,25 mL/h, PVA için ise 16 kV ve 0,40 mL/h koşulları, incelenen deneysel parametreler içerisinde daha homojen, sürekli ve belirgin boncuk oluşumu göstermeyen nanoliflerin elde edildiği optimum koşullar olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, farklı polimer çözeltileri veya katkı maddeleri içeren sistemlerde çözeltinin fizikokimyasal özelliklerinin değişebileceği ve bu nedenle optimum elektroeğirme parametrelerinin yeniden belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Elektroeğirme, nanolif, PAN, PVA, işlem parametreleri

DETERMINATION OF OPTIMUM PROCESS PARAMETERS FOR PAN AND PVA NANOFIBERS PRODUCED BY ELECTROSPINNING

Abstract

Electrospinning is one of the methods used for producing nanofibers with small fiber diameters, high specific surface area, and controllable morphological properties. During nanofiber production via this method, process and solution parameters play a critical role. Process parameters such as applied voltage, flow rate, distance between the needle and collector, and collector rotation speed need to be appropriately adjusted to achieve the desired fiber morphology. In this study, the aim was to investigate the effects of applied voltage and solution flow rate on fiber morphology during the electrospinning of polyacrylonitrile (PAN) and polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers, and to determine the optimum process parameters for each polymer system. The PAN/DMF solution was prepared at a concentration of 10 wt% PAN, while the PVA/distilled water solution was prepared at a concentration of 12 wt% PVA. For both polymer systems, the needle diameter, collector rotation speed, and ambient conditions were kept constant, while the applied voltage and solution flow rate were varied as process parameters. For the PAN system, voltages of 10, 13, 16, and 19 kV were examined together with flow rates of 0.25, 0.50, and 0.75 mL/h; for the PVA system, the same voltage values (10, 13, 16, and 19 kV) were examined together with flow rates of 0.20, 0.40, and 0.60 mL/h. The morphological properties of the produced nanofibers were evaluated based on scanning electron microscopy (SEM) images in terms of fiber continuity, fiber diameter, homogeneity, and bead formation. The results demonstrated that both applied voltage and flow rate had a significant effect on the fiber morphology of both polymer systems. For PAN, 16 kV and 0.25 mL/h, and for PVA, 16 kV and 0.40 mL/h were determined as the optimum conditions among the investigated experimental parameters, yielding more homogeneous and continuous nanofibers without pronounced bead formation. Furthermore, it was concluded that the physicochemical properties of the solution may vary in systems containing different polymer solutions or additives, and therefore the optimum electrospinning parameters need to be redetermined accordingly.

Keywords: Electrospinning, nanofiber, PAN, PVA, process parameters

1. GİRİŞ

Nanolifler; yüksek yüzey alanı/hacim oranı, ayarlanabilir gözeneklilik ve yüzey özellikleri sayesinde filtrasyon, doku mühendisliği, biyomedikal, sensör, enerji depolama, doku mühendisliği, tekstil gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Nanolif üretim yöntemleri arasında elektroğirme; basit ekipman gereksinimi, çok çeşitli polimerlere uygulanabilirliği ve sürekli lif üretimine imkân vermesi nedeniyle en yaygın kullanılan yöntemdir (Ramakrishna ve diğ., 2005; Reneker ve Yarin, 2008; Chinnappan ve diğ. 2022; Regmi ve diğ., 2024).

Elektroğirme (electrospinning) yöntemi, polimer çözeltilerinden veya eriyiklerinden, uygulanan yüksek elektrik alan etkisi altında nano boyutta liflerin üretilbildiği, basit, çok yönlü ve düşük maliyetli bir üretim tekniğidir. Yöntemin temelinde, iğne ucunda bulunan polimer çözeltisinin elektrik alan etkisiyle yüklenmesi ve elektriksel kuvvetlerin yüzey gerilimini aşması sonucunda yüklü bir jetin oluşması yer almaktadır. Oluşan jet, toplayıcıya doğru ilerlerken elektriksel kuvvetlerin etkisiyle uzama ve bükülme kararsızlıklarına maruz kalmakta, çözücünün buharlaşması ile katılarak toplayıcıda birirmektedir (Reneker ve Yarin, 2008; Kirecci ve diğ., 2012; Angammana ve Jayaram, 2016; Xue ve diğ., 2017).

Elektroğirme tekniğiyle üretilen liflerin çap dağılımı ve morfolojik özellikleri; çözelti parametreleri (konsantrasyon, viskozite, iletkenlik, yüzey gerilimi, molekül ağırlığı), işlem parametreleri (gerilim, akış hızı, uç-toplayıcı mesafesi) ve ortam koşullarına (sıcaklık, nem) bağlıdır (Li ve diğ., 2024). En uygun parametrelerin belirlenmesi ile boncuksuz, sürekli ve homojen liflerin elde edilmesi sağlanır. İşlem parametrelerinin uygun seçilmemesi boncuklu lif oluşumuna, düzensiz lif çapına ve jet kararsızlığına yol açabilir.

İşlem parametrelerinden gerilim, elektrospinning jetinin oluşumu ve kararlılığı açısından temel parametrelerden biridir. Belirli bir kritik gerilim değerinin üzerinde elektriksel kuvvetlerin etkisiyle jet oluşumu gerçekleşmekte; ancak gerilimin artırılması her koşulda daha iyi lif morfolojisi sağlamamaktadır (Ramakrishna ve diğ., 2005; Gomes ve diğ., 2007; Kirecci ve diğ., 2012). Gerilim ile birlikte akış hızı da önemli bir işlem parametresi olarak kabul edilir. Çözelti akış hızının artırılması birim zamanda jet içerisine taşınan polimer miktarını artırarak lif çapı ve lif homojenliği üzerinde etkili olabilmektedir. Özellikle yüksek akış hızlarında çözücünün yeterli düzeyde buharlaşmaması ve jetin yeterince gerilememesi, daha kalın liflerin ve morfolojik düzensizliklerin oluşmasına neden olabilmektedir. Akış hızının düşük kalması iğne ucunda oluşan damlacıkta daha az polimer bulundurma durumundan dolayı benzer şekilde birtakım sorunlar yaratabilmektedir. Taylor konisi ve jetin tam anlamıyla oluşmaması ve sürekli lif üretiminin meydana gelmemesi de düşük besleme hızında oluşabilecek sorunlardandır (Reneker ve Yarin, 2008; Ding ve diğ., 2010).

Uygulanan gerilim ve akış hızı dışındaki işlem parametreleri ile aynı zamanda çözeltiyi oluşturan polimer ve çözücü türü de nanolif üretim sürecini etkilemektedir. Poliakrilonitril (PAN) polimeri, karbon nanolif öncülü olarak yaygın kullanılan ve elektroğirmede genellikle dimetilformamid (DMF) ile işlenen bir polimerdir (Wang ve Kumar, 2006; Kirecci ve diğ., 2012). Polivinil alkol (PVA) ise sulu çözeltilerden elektroğirilebilen, suda çözünür ve biyoyumlu bir polimerdir (Zhang ve diğ., 2005). İki polimerin çözücü sistemi ve çözelti özellikleri birbirinden belirgin biçimde farklıdır. Bu kapsamda, aynı elektroğirme sisteminde PAN ve PVA gibi farklı polimerlerin kullanılması durumunda, polimer-çözücü etkileşimleri ve çözelti özelliklerindeki farklılıkların jet oluşumu ve lif morfolojisine yansması beklenmektedir. Dolayısıyla elektroğirme işleminde tek bir evrensel optimum parametre setinden söz etmek yerine, belirli bir polimer-çözücü sistemi ve deneysel koşullar için uygun işlem parametrelerinin belirlenmesi daha doğru bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda, bu çalışmada PAN ve PVA polimerlerinin elektroğirme yöntemiyle nanolif üretiminde uygulanan gerilim ve çözelti akış hızının lif morfolojisi üzerindeki etkileri incelendi. Her bir polimer sistemi için diğer deneysel koşullar sabit tutularak farklı gerilim ve akış hızı değerleri değerlendirildi ve SEM analizleri sonucunda incelenen koşullar içerisindeki en uygun işlem parametreleri belirlendi.

2. YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

Yüksek çözücü özelliğinden dolayı kullanılan DMF, Tekkim Kimya firmasından, PAN polimeri ise Acros Organics firmasından satın alındı. PAN, 250-14-41-9 CAS numaralı, 150.000 g/mol molekül ağırlığına sahipken, DMF ise 68-12-2 CAS numaralı, yüzde %99,5 ekstra saflığa sahip olup herhangi bir işlem yapılmadan kullanıldı. Çalışmada kullanılan diğer polimer ise Kimyalab firmasından temin edilen; CAS No: 9002-89-5, saflık: $\geq 97.0\%$, molekül ağırlığı: 89000 - 98000 g/mol özelliklerine sahip PVA polimeridir. PVA polimeri için çözücü olarak saf su kullanıldı. Ayrıca çözeltinin yüzey gerilimini düşürmek adına aniyonik yüzey aktif madde olan sodyum dodesil sülfat (SDS) kullanıldı.

2.2. Nanolif Üretimi

PAN/DMF çözeltisinin hazırlanması için literatürdeki veriler dikkate alındı. 18 g DMF ve 2 g PAN hassas terazi ile tartılarak %10'luk PAN ayarlandı. Ardından manyetik karıştırıcıda 50 °C, 400 rpm hızında yavaş yavaş PAN eklemesi yapılarak karıştırma işlemi gerçekleştirildi. 24 saat sonunda homojen bir kıvamda, açık sarı bir görüntü elde edildi. Oluşan çözelti oda sıcaklığında en az 12 saat dinlenmeye bırakılarak daha sonra elektrospinning işlemi için hazır hale getirildi. Ardından PAN çözeltisi, 5 ml'lik paslanmaz çelik iğneye sahip

enjektöre alınarak havası alındı ve besleme ünitesine yerleştirildi. Tüm numuneler için alüminyum folyo ile kaplı döner toplayıcı kullanıldı ve 250 rpm dönüş hızında çalıştırıldı. Elektrosponing işlemi için artı prob ucu iğne ucuna, toprak hattı ise kollektöre bağlandı. İğne ucu ile kollektör arası uygun mesafe bırakılarak farklı gerilim yüklemesi ve farklı çözelti akış hızları denenerek ayrı ayrı nanolif tabakaları üretildi. Aşağıda tablo 1’de üretilen her bir nanolif matı için işlem parametreleri verilmiştir.

Tablo 1. Üretilen her bir PAN numunesi için işlem parametreleri.

Numuneler	Voltaj (kV)	Akış hızı (mL/h)	Mesafe (cm)	Toplayıcı hızı (rpm)
PAN 1	10	0,5	15	250
PAN 2	13	0,5	15	250
PAN 3	16	0,5	15	250
PAN 4	19	0,5	15	250
PAN 5	16	0,25	15	250
PAN 6	16	0,75	15	250

PVA polimeri (ağırlıkça %12) ve çözücüsü olan distile su (ağırlıkça %88) oranında kullanıldı. Ayrıca çözeltinin yüzey gerilimini düşürmek adına aniyonik yüzey aktif madde olan sodyum dodesil sülfat (SDS) %0,25 oranında karışıma eklendi. Çözelti iki ayrı kaplarda oluşturulup birleştirme işlemi yapıldı. Hazırlanan çözelti dinlendirildikten sonra 5 ml’lik paslanmaz çelik iğneye sahip enjektör içerisine alındı. Tüm numuneler için alüminyum folyo ile kaplı döner toplayıcı kullanıldı ve 250 rpm dönüş hızında çalıştırıldı. Elektrosponing işlemi için artı prob ucu iğne ucuna, toprak hattı ise kollektöre bağlanarak nanolif üretimleri gerçekleştirildi.

PVA için uygun işlem parametrelerinin tespiti için farklı gerilim yüklemesi ve farklı çözelti akış hızları altında ayrı ayrı nanolif tabakaları üretildi. Aşağıda tablo 2’de üretilen her bir nanolif matı için işlem parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. Üretilen her bir PVA numunesi için işlem parametreleri.

Numuneler	Voltaj (kV)	Akış hızı (mL/h)	Mesafe (cm)	Toplayıcı hızı (rpm)
PVA 1	10	0,2	17	250
PVA 2	13	0,2	17	250
PVA 3	16	0,2	17	250
PVA 4	19	0,2	17	250
PVA 5	16	0,4	17	250
PVA 6	16	0,6	17	250

Farklı gerilim değeri ve farklı çözelti akış hızları altında her bir PAN numunesi 15 dakika, her bir PVA numunesi ise 30 dakika boyunca üretimi sağlanarak gerekli etiketlemeler yapıp analiz edilmek üzere naylon dosya içerisinde muhafaza edildi.

2.3. Karakterizasyon

Elektroegirme tekniđiyle retilen tm nanolif tabakaları, morfolojik zelliklerinin incelenmesi adına Erzurum Teknik niversitesi bnyesinde yer alan Yksek Teknoloji ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında bulunan SEM-Quanta FEG 250 marka/model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak karakterize edildi. Farklı bytme oranlarında yapılan SEM grntleme teknikleriyle varsa nanolif yapılarında oluřan kusur ve boncuklu yapıların grntlenmesi ve nanolif boyutlarının hesaplanabilmesi amalandı.

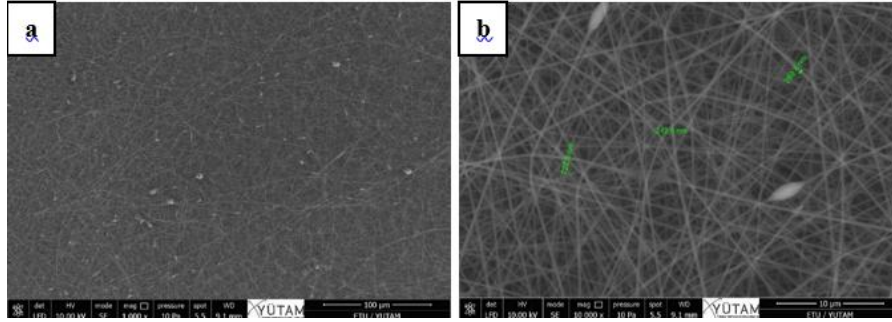
3. BULGULAR

PAN ve PVA nanoliflerin SEM analizleri, oluřturulan her bir parametre iin ayrı ayrı gerekleřtirilip gerekli deđerlendirmelere ařađıda yer verilmiřtir.

3.1. PAN Nanoliflerin SEM Analizleri

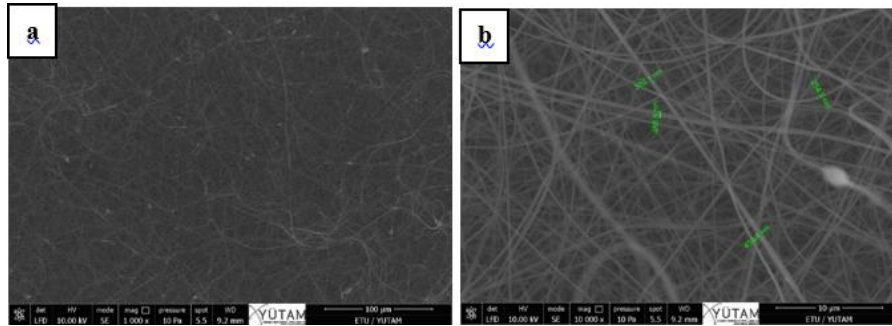
İlk etapta gerilim farklılıkları denenmiř olup, ađırlıka % 10 PAN/DMF polimer zltisine 10 kV'luk bir gerilim farkı (akıř hızı 0,5 mL/h) uygulandı. Ancak g kaynađı artı ucunun bađlı olduđu iđne ucunda, kararlı bir Taylor konisi ve srekli jet oluřumu gzlemlenmedi. Elektrik alan kuvveti lif kopmaları iin yeterli olmadıđından literatrle uyumlu olarak nanolif retimi PAN-1 olarak adlandırılan 10 kV'luk denemede gerekleřmedi (Reneker ve Yarin, 2008; Ding ve diđ., 2010; Chinnappan ve diđ., 2022).

Elektrospinning yntemi kullanılarak, PAN-2 numunesi olarak verilen ađırlıka % 10 PAN/DMF polimer zltisinden, 0,5 ml/h besleme hızında, 13 kV gerilim uygulayarak, iđne ucu ile toplayıcı arasında 15 cm mesafede ve 250 rpm topla dnme hızı iřlem parametrelerinde elde edilen nanoliflerin SEM grntleri řekil 1'de verilmiřtir. SEM grntlerinden, liflerin genel olarak mat yzeyi homojen olarak kaplayıp srekli yapıda olduđu grlmektedir. Lokal olarak boncuklu yapılar gzlemlense de liflerin byk ođunluđu boncuksuz yapıdadır. 220-270 nm aralıklarında deđiřen boyutlarıyla olduka ince ve homojen liflerin oluřtuđu, 16 kV ve 19 kV gerilim altındaki retimlere gre daha dzenli ve uniform liflerin retildiđi grlmektedir. Makro lekte bořluk veya lifsiz blge gzlemlenmese de akıř hızına bađlı olarak lokal iđsi boncuk oluřumlarına rastlanmaktadır.



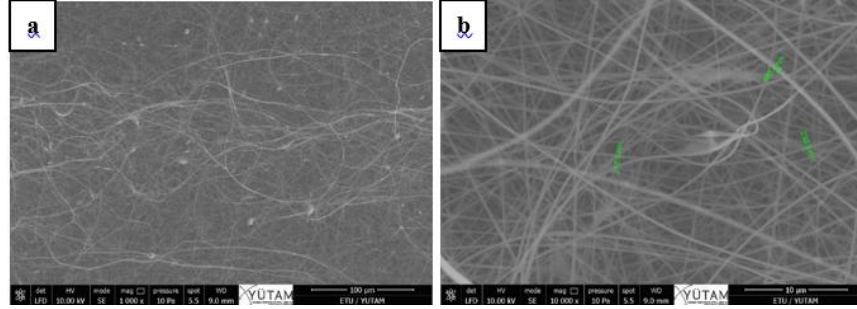
Şekil 1. Numune-2’ e ait PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme.

Elektrospinning yöntemi kullanılarak, diğer tüm parametreler değiştirilmeden 16 kV potansiyel farkta, 0,5 mL/h besleme hızında üretimi gerçekleştirilen PAN nanofiberlerin (PAN-3) SEM görüntüleri şekil 2’de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, kopuk liflere rastlanmayıp jet kararlılığında dolayı sürekli yapıda başarılı nanolif matı elde edildiği görülmektedir. Ancak farklı lif boyutları tespit edilerek lif çap dağılımının homojen olmadığı saptandı. Aynı görüntü içerisinde hem ince hem de belirgin şekilde kalın liflerin bulunması, çözeltinin kolektöre ulaşırken her jetin aynı oranda gerilemediğini düşündürmektedir (Deitzel ve diğ., 2001; Chinnappan ve diğ., 2022). Mat yüzeyi oldukça düzgün kaplanmış olup makro ölçekte boşluk ve lifsiz bölge gözlenmemektedir. Ayrıca lif ağı genelinde boncuk oluşumu oldukça azdır.



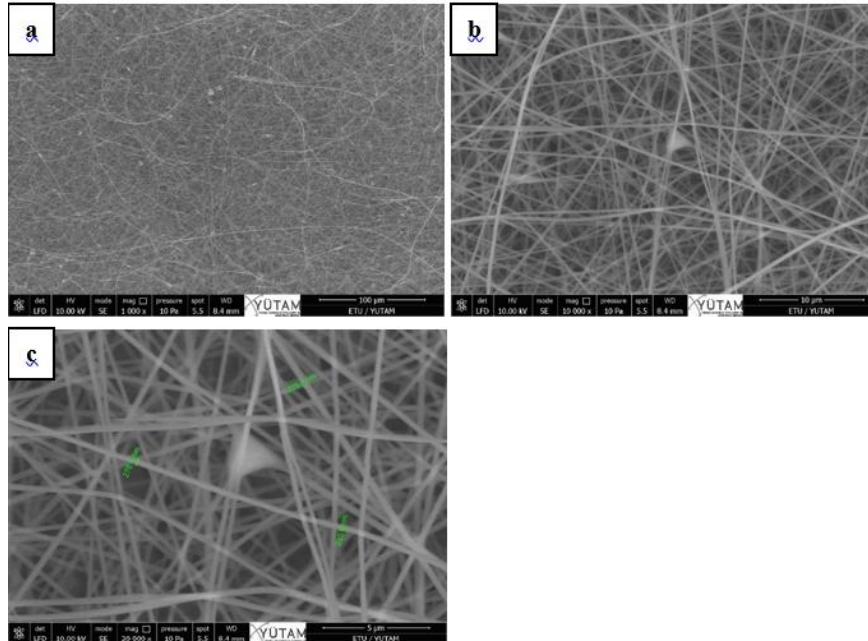
Şekil 2. Numune-3’ e ait PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme.

Uygulanan gerilimin 19 kV’a çıkartılarak üretilen PAN-4 nanoliflere ait SEM görüntüleri ise şekil 3’te verilmiştir. Gerilimin 16 kV’dan 19 kV’a çıkarılması, aynı akış hızında (0,5 mL/h) liflerin tamamen homojenleşmesini sağlamamıştır. Kopmamış sürekli yapıda PAN nanolifleri elde edilmiş olsa da boncuk oluşumu ve lif çapı düzensizliği devam etmektedir. Önceki 16 kV uygulanan numuneye göre çap dağılımı genişlemiş ve kalın lif sayısı artmıştır.



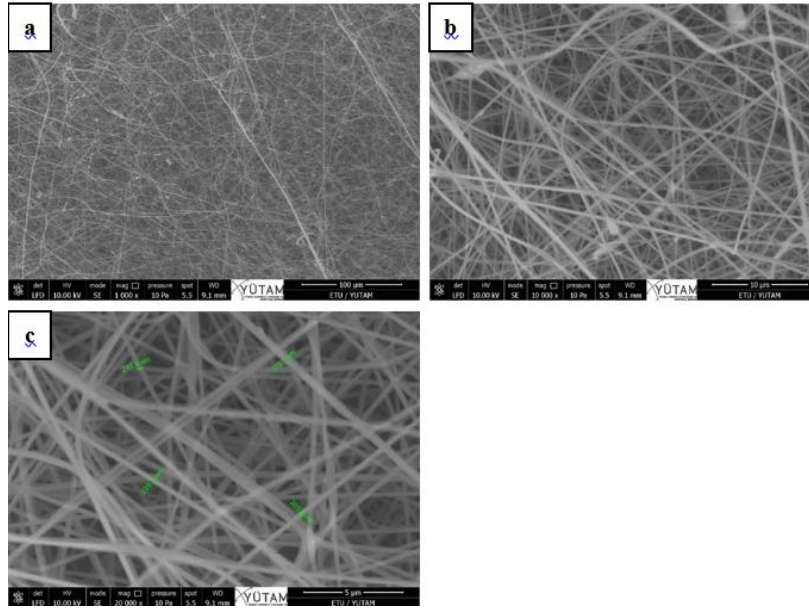
Şekil 3. Numune-4'e ait PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme.

Şekil 4'te, 16 kV gerilim değeri, 0,25 mL/h akış hızında elektrospinning tekniği ile üretilen nanolif tabakanın SEM görüntüsü verilmiştir. Buna göre liflerin genel olarak sürekli ve kesintisiz bir yapı sergilediği ve mat yüzeyinde homojen bir lif ağı oluşturduğu görülmektedir. 220-280 nm aralığında ölçülen lif çap boyutları, özellikle PAN-3'e göre (16 kV-0,5 mL/h) küçülmüş ve çap dağılımı daralmıştır. Lifler oldukça düzgün silindirik geometriye sahiptir. Kalın mikron seviyesindeki liflere veya belirgin çap dalgalanmalarına çok az rastlanmaktadır. Lifler, büyük oranda boncuksuz yapıda olup eser miktarda boncuk oluşumu gözlemlendi. Akış hızının düşürülmesi ile liflerin homojen hale gelmesi ve boncuk oluşumunun sınırlı kalması sağlandı. Böylece en başarılı nanolif morfolojisi PAN-5 numunesinde tespit edildi.



Şekil 4. Numune-5'e ait PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme, (c) 20.000x büyütme.

16 kV gerilim değeri uygulayarak, akış hızının 0,75 mL/h hızına çıkarıldığı elektrosponing tekniği ile elde edilen nanoliflerin (PAN-6) SEM görüntüleri aşağıda şekil 5'te gösterildiği gibidir. SEM görüntüleri incelendiğinde akış hızının artırılmasıyla çap kalınlıklarının arttığı ve geniş bir çap dağılımı meydana geldiği görülmektedir. Lokal boncuk oluşumu diğer numunelere göre daha fazladır. Liflerin önemli bir kısmı ince ve düzgün olmasına rağmen, kalın liflerin ve lif demetlerinin varlığı morfolojik homojenliği olumsuz etkilemektedir.



Şekil 5. Numune-6'ya ait PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme, (c) 20.000x büyütme.

Tablo 3. Farklı parametrelerde üretilen her bir PAN numunesi için nanolif morfolojilerinin değerlendirilmesi.

Numuneler	Voltaj (kV)	Akış hızı (mL/h)	Ortalama çap (nm)	Boncuk oluşumu	Homojenlik	Toplayıcı hızı (rpm)
PAN 1	10	0,5	-	-	-	Lif oluşmadı
PAN 2	13	0,5	220-270	Az	İyi	İyi
PAN 3	16	0,5	250-460	Orta	Orta	İyi
PAN 4	19	0,5	230-480	Fazla	Düşük	Orta
PAN 5	16	0,25	220-280	En az	En yüksek	En iyi
PAN 6	16	0,75	210-370	Fazla	Düşük	Zayıf

SEM görüntüleri incelendiğinde, 10 kV gerilim dışındaki tüm üretim parametrelerinde sürekli PAN nanoliflerinin başarıyla elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte uygulanan gerilim ve özellikle akış hızı, lif çapı dağılımı, boncuk oluşumu ve lif homojenliği üzerinde belirgin etkiye sahiptir. Beş numune birlikte değerlendirildiğinde (tablo 3), 16 kV gerilim ve 0,25 mL/h akış hızında üretilen PAN nanoliflerinin diğer

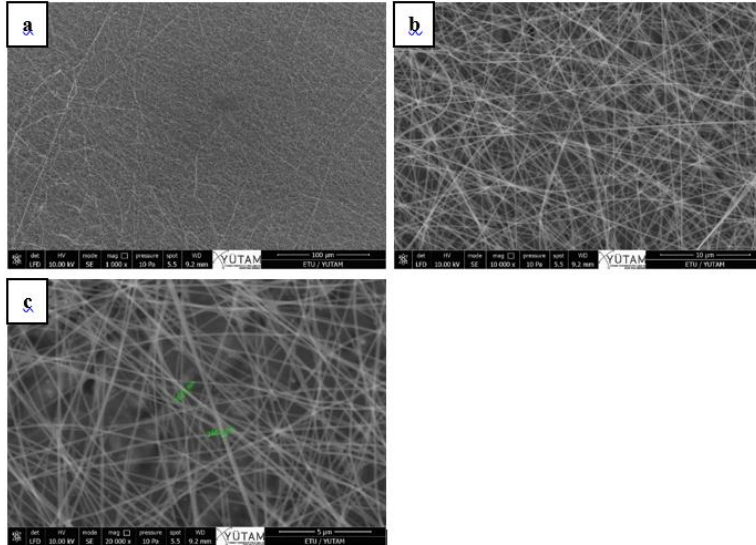
parametrelere göre daha homojen lif çapı, daha düşük boncuk yoğunluğu ve daha düzenli lif ağı oluşturduğu belirlendi. Akış hızının 0,50 mL/h ve özellikle 0,75 mL/h'ye yükseltilmesi ise lif çapı dağılımını genişleterek, boncuk oluşumunu ve lif demetlenmesini arttırdığı görüldü. Ayrıca yalnızca gerilimin 19 kV'a çıkarılması morfolojik kaliteyi iyileştirmemiştir. Bu bulgular, elektrospinning morfolojisinin tek bir parametre yerine gerilim, akış hızı ve diğer proses değişkenlerinin ortak etkisiyle belirlendiğini bildiren güncel literatür ile uyumludur. Özellikle düşük akış hızlarının daha homojen ve boncuksuz PAN nanolifleri oluşturduğu yönündeki güncel çalışmalar, bu araştırmada elde edilen SEM sonuçlarını desteklemektedir (Wang ve Kumar, 2006; Altın ve Bedeloğlu, 2020; Chinnappan ve diğ., 2022; Regmi ve diğ., 2024). Bu çalışma kapsamında incelenen parametre aralığında PAN polimeri için optimum morfoloji, PAN-5 için uygulanan 16 kV gerilim ve 0,25 mL/h akış hızı olarak belirlenmiştir.

3.1. PVA Nanoliflerin SEM Analizleri

PVA polimeri için deney şartlarının optimize edilmesi adına, yine PAN polimerinde olduğu gibi farklı gerilim ve akış hızları ayarlanarak nanolif üretimi gerçekleştirilmiş olup SEM görüntüleri aşağıdaki gibi analiz edildi.

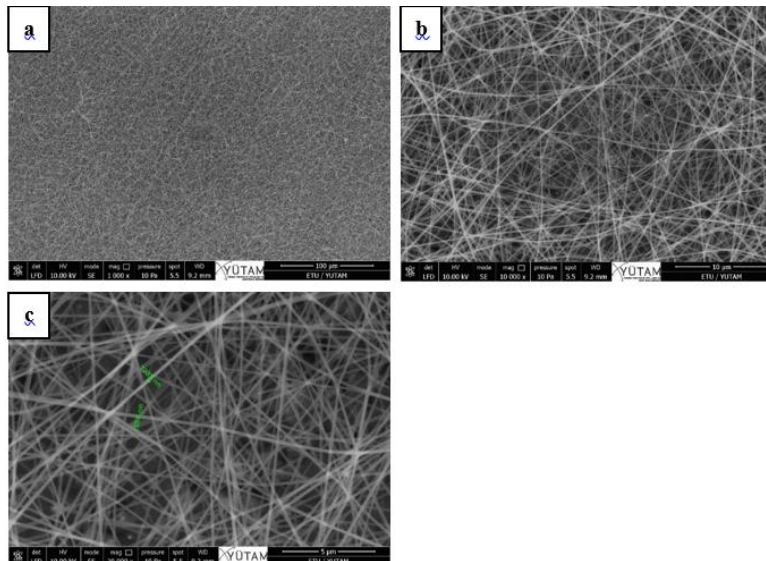
İlk etapta gerilim farklılıkları denenmiş olup, iğne ucuna artı uç ve toplayıcıya toprak hattı bağlanarak 10 kV'luk gerilim altında üretim gerçekleştirildi. Diğer parametreler; ağırlıkça % 12 PVA/saf su konsantrasyonu, 0,2 mL/h akış hızı, 17 cm iğne ucu toplayıcı mesafesi ve 250 rpm toplayıcı dönme hızı olarak ayarlanarak sabit kaldı. PVA-1 için 10 kV uygulandığında kararlı bir Taylor konisi oluşmadığından sürekli nanolif üretimi gerçekleşmedi. Bu durum, elektrospinning işleminin başlayabilmesi için elektrostatik kuvvetlerin yüzey gerilimini yenebilecek seviyeye ulaşmasının gerektiğini bildiren literatür ile uyumludur (Reneker ve Yarin, 2008; Ding ve diğ., 2010; Chinnappan ve diğ., 2022).

Elektrospinning yöntemi kullanılarak, 13kV gerilim ve 0,20 mL/h akış hızında üretilen PVA-2 nanoliflerin SEM görüntüleri şekil 6'da verilmiştir. Farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntülerinden, liflerin genel olarak mat yüzeyi homojen olarak kaplayıp sürekli yapıda olduğu görülmektedir. Lifler genel olarak düzgün silindirik morfoloji sergilemekte olup belirgin boncuk oluşumu gözlenmemiştir. Bununla birlikte lif çapında sınırlı düzeyde farklılıklar olmakla birlikte lif çaplarının 300 nm'den küçük seviyelerde olduğu söylenebilir. Ayrıca bazı kesişim bölgelerinde hafif füzyon olabileceğini düşündüren yapılar bulunmaktadır. Liflerin temas noktalarında gözlenen bu hafif birleşmeler, su bazlı PVA sistemlerinde solventin nispeten yavaş uzaklaşması ve liflerin kolektöre tam katılmasından ulaşması ile ilişkili olabilir. Bu durum özellikle hidrofilik polimerler için literatürde yer alan çalışmalarda rapor edilmektedir (Mailley ve diğ., 2021).



Şekil 6. PVA-2'ye ait nanoliflerin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme, (c) 20.000x büyütme.

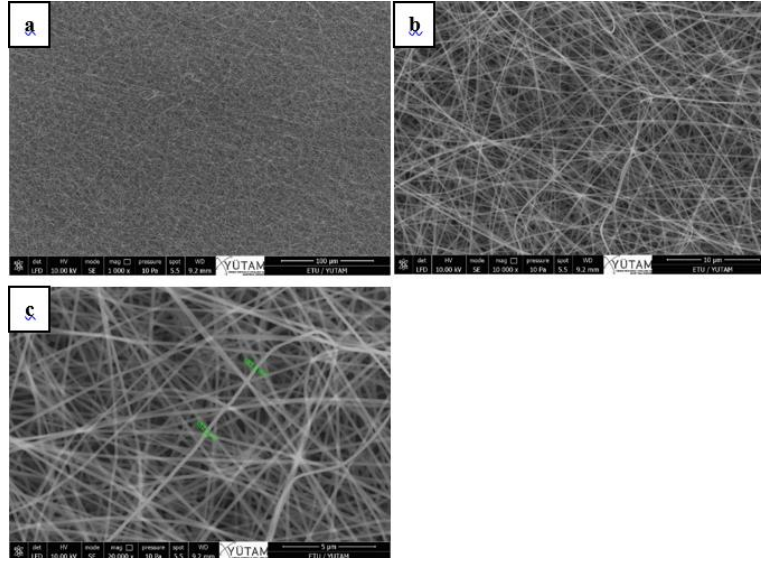
Aşağıda şekil 7’de 16 kV gerilim ve 0,20 mL/h akış hızında üretilen PVA-3 nanoliflerin, 1000x, 10000x ve 20000x büyütme oranlarına sahip SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7. PVA-3'e ait nanoliflerin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme, (c) 20.000x büyütme.

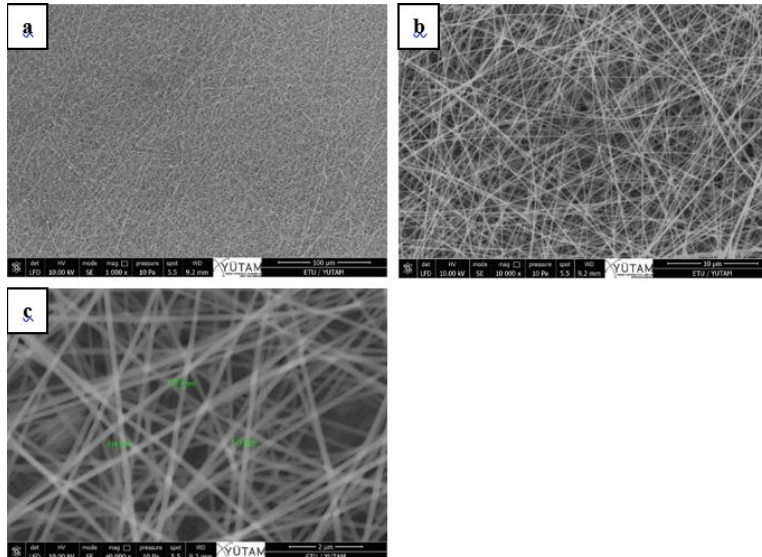
Görüntüler değerlendirildiğinde, liflerin büyük çoğunluğu kesintisiz ve sürekli olduğu söylenebilir. Jet kopmasına işaret edecek belirgin kırılmalar gözlenmemektedir. Belirgin boncuk oluşumu gözlenmemiş, lifler silindirik yapılarını büyük ölçüde korumuştur. Bu durum, sabit akış hızında gerilimin artırılmasının jet

uzamasını iyileştirerek daha uniform nanolif oluşumunu desteklediğini düşündürmektedir. 13 kV numunesine kıyasla daha homojen lif çapı, daha düzenli lif dağılımı ve daha ince lif morfolojisi sergilediği görülmektedir. Şekil 8’de verilen SEM analizlerine göre; 19 kV gerilim altında üretilen PVA-4 nanolifleri sürekli, düzgün ve boncuksuz bir morfoloji sergilemiştir. Lif çapları homojen görünmekle birlikte, 16 kV numunesine kıyasla belirgin bir morfolojik üstünlük tespit edilmedi. Bu nedenle mevcut çalışma kapsamında 19 kV gerilimin lif morfolojisini iyileştirdiğine dair güçlü bir kanıt elde edilmedi. Bu, elektrospinning literatüründe bildirilen optimum gerilim aralığı yaklaşımıyla uyumludur. Birçok çalışmada gerilimin belirli bir seviyeye kadar artırılmasının lif oluşumunu iyileştirdiği, ancak daha yüksek gerilimlerde jet kararsızlığının artabileceği ve elde edilen kazanımın sınırlı kaldığı belirtilmektedir (Deitzel ve diğ., 2001; Reeneker ve Yarin, 2008).



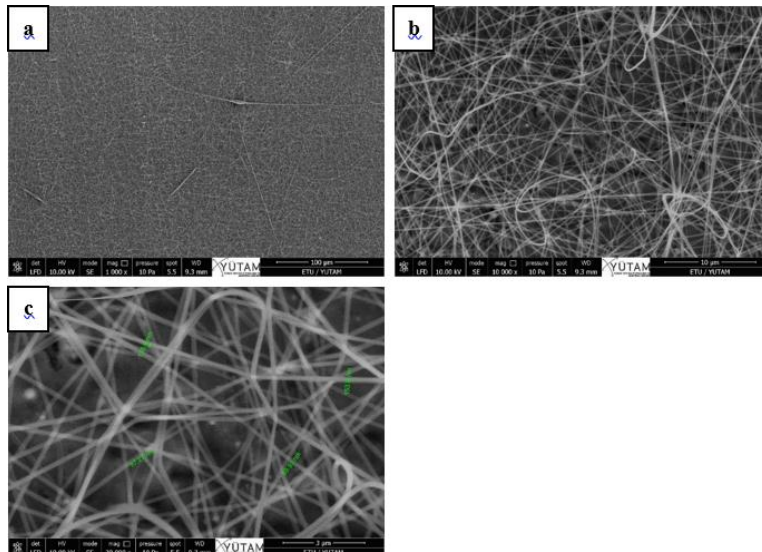
Şekil 8. PVA-4’e ait SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme, (c) 20.000x büyütme.

Akış hızının 0,40 mL/h değerine çıkarıldığı ve gerilimin 16 kV olarak ayarlanarak üretildiği PVA-5’e ait nanoliflerin SEM görüntüleri, şekil 9’da gösterilmiştir. Akış hızının 0,4’e çıkarılması ile en ince, en homojen ve en düzgün morfolojik yapıyı sahip; sürekli, boncuksuz ve yoğun bir ağ yapısının oluştuğu görüldü. Bu durum, yeterince uzamış daha stabil bir jet oluşumundan kaynaklandığı söylenebilir (Reeneker ve Yarin, 2008; Ding ve diğ., 2010).



Şekil 9. PVA-5'e ait nanoliflerin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme, (c) 40.000x büyütme.

16 kV gerilim ve 0,60 mL/h akış hızında üretilen PVA-6 nanoliflerin SEM görüntüleri aşağıda şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. PVA-6'a ait nanoliflerin SEM görüntüleri; (a) 1000x büyütme, (b) 10.000x büyütme, (c) 30.000x büyütme.

Görüntüler, PVA-6 nanoliflerinin sürekli, büyük ölçüde boncuksuz ve yoğun bir lif ağı oluşturduğunu göstermektedir. Lifler büyük oranda silindirik yapı oluştursa da bazı bölgelerde kıvrılarak halka oluşturduğu ve yer yer kalın liflerinde olduğu görülmektedir. Bu gözlemler, daha yüksek akış hızında jetten taşınan çözelti

miktarının artması nedeniyle bazı liflerin tam olarak gerilemeden toplayıcıya ulaşmış olabileceğini düşündürmektedir (Deitzel ve diğ., 2001; Reeneker ve Yarin, 2008; Ding ve diğ., 2010). Sonuç olarak akış hızının artmasıyla morfolojik homojenliğin azaldığı ve önceki numunelere kıyasla daha dengesiz lif morfolojisi meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 4. Farklı parametrelerde üretilen her bir PVA numunesi için nanolif morfolojilerinin değerlendirilmesi.

Numuneler	Voltaj (kV)	Akış hızı (mL/h)	Ortalama çap (nm)	Boncuk oluşumu	Homojenlik	Toplayıcı hızı (rpm)
PVA 1	10	0,2	-	-	-	Lif oluşmadı
PVA 2	13	0,2	162-249	Yok	İyi	İyi
PVA 3	16	0,2	134-151	Yok	Çok iyi	Çok İyi
PVA 4	19	0,2	162-184	Yok	İyi	İyi
PVA 5	16	0,4	115-136	Yok	En yüksek	En iyi
PVA 6	16	0,6	90-154	Yok	Orta	Orta

Elde edilen tüm numune sonuçlarına göre (tablo 4), 10 kV gerilim değeri dışında kalan tüm üretim parametrelerinde sürekli ve nano boyutta PVA liflerinin başarıyla üretildiği görülmüştür. SEM görüntülerinin genel değerlendirilmesi sonucunda, özellikle 16 kV gerilim ve 0,40 mL/h akış hızı koşullarında elde edilen liflerin sürekli, boncuksuz, silindirik yapıda ve daha homojen çap dağılımına sahip olduğu belirlenmiştir. Gerilim değerindeki artış ve azalışın lif morfolojisini doğrudan etkilediği SEM analizleri ile ortaya konulmuş ve bu deney koşulları için optimum gerilim değeri 16 kV olarak belirlenmiştir. Akış hızı değişkeni değerlendirildiğinde ise, besleme hızının 0,6 mL/h seviyesine çıkarılmasının lif morfolojisini olumsuz etkileyerek yer yer daha kalın ve kıvrılmış lif oluşumuna neden olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında incelenen parametre aralığında PVA polimeri için en uygun morfoloji, PVA-5 numunesinde uygulanan 16 kV gerilim ve 0,4 mL/h akış hızı koşullarında elde edilmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen deney koşulları altında saf PAN ve saf PVA nanolif yapıları için optimum elektrospinning parametreleri belirlenmiş ve nanopartikül ilaveli üretimler için referans koşullar oluşturulmuştur. Ancak nanolif yapılara dahil edilmesi planlanan nanopartiküllerin çözelti viskozitesi, elektriksel iletkenliği ve yüzey gerilimini değiştirmesi nedeniyle, saf polimerler için belirlenen optimum parametrelerin katkılı sistemlerde doğrudan geçerli olması beklenmemektedir. Bununla birlikte saf PAN ve saf PVA için elde edilen bu koşullar, katkılı çözeltilerin optimizasyonunda başlangıç parametreleri olarak kullanılabilir. Özellikle PVA'nın daha ince lif üretme eğilimi, yüksek özgül yüzey alanı açısından avantaj sağlarken; PAN'ın daha düşük akış hızında kararlı lif oluşturmaya, iletken nanopartikül ilavesi sonrası jet

kararlılığının kontrolü açısından daha elverişli olabilir. Sonuç olarak nanopartikül ilavesi sonrasında işlem parametrelerinin yeniden optimize edilmesi gerekmektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, PAN ve PVA polimerleri kullanılarak farklı işlem parametrelerinde elektroğirme tekniği ile nanolif üretimi gerçekleştirildi. Üretilen nanolifler SEM analizleri ile karakterize edilerek, incelenen deneysel koşullar içerisinde en uygun morfolojik özelliklerin elde edildiği işlem parametrelerinin belirlenmesi amaçlandı. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar şunlardır:

- PAN polimerinin, DMF içerisinde iyi çözündüğü ve elektroğirme ile nanolif üretimi için uygun bir polimer olduğu görüldü.
- PVA'nın saf suda çözünüp nanolif üretiminde başarılı bir şekilde kullanılabildiği belirlendi.
- SEM analizleri sonucunda, genel olarak sürekli, düzgün ve belirgin boncuk oluşumu göstermeyen nanoliflerin üretildiği görüldü. Elde edilen liflerin genel olarak 400 nm'nin altında olduğu belirlendi.
- SEM analizleriyle, yapılan deney koşulları altında PAN ve PVA polimerlerinin işlem parametreleri optimizasyonu için en uygun gerilim ve akış hızı parametreleri tespit edildi.

Elde edilen sonuçlar, uygulanan gerilim ve çözelti akış hızının PAN ve PVA nanoliflerin morfolojik özellikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Her iki polimer sistemi için de belirli bir işlem parametresi aralığında daha sürekli, homojen ve düşük kusur oluşumuna sahip nanolifler elde edilmiştir. PAN için 16 kV–0,25 mL/h, PVA için ise 16 kV–0,40 mL/h koşulları, incelenen deneysel koşullar içerisinde en uygun morfolojik sonuçları vermiştir. Bununla birlikte, elde edilen optimum koşulların kullanılan polimer, çözücü, çözelti konsantrasyonu ve deneysel ortam koşullarına bağlı olduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle, farklı polimer sistemleri veya nanopartikül katkılı çözeltiler için mevcut parametrelerin doğrudan kullanılmasından ziyade, işlem parametrelerinin yeniden optimize edilmesi önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda lif çapı dağılımının daha geniş bir veri seti üzerinden istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve işlem parametrelerinin mekanik, elektriksel veya diğer hedeflenen performans özellikleriyle birlikte incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Altın, Y., & Bedeloğlu, A. (2020). Polyacrylonitrile nanofiber optimization as precursor of carbon nanofibers for supercapacitors. *Journal of Innovative Science and Engineering*, 4(2), 69-83.
- Angammana, C. J. and Jayaram, S. H. (2016). "Fundamentals of electrospinning and processing technologies." *Particulate Science and Technology*, Vol. 34, No. 1, pp. 72-82.
- Chinnappan, B. A., Krishnaswamy, M., Xu, H., & Hoque, M. E. (2022). Electrospinning of biomedical nanofibers/nanomembranes: effects of process parameters. *Polymers*, 14(18), 3719.
- Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J., Harris, D. E. A., & Tan, N. B. (2001). The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, 42(1), 261-272.
- Ding, W., Wei, S., Zhu, J., Chen, X., Rutman, D., & Guo, Z. (2010). Manipulated electrospun PVA nanofibers with inexpensive salts. *Macromolecular Materials and Engineering*, 295(10), 958-965.
- Gomes, D. S., Silva, A. N. D., Morimoto, N. I., Mendes, L. T., Furlan, R., & Ramos, I. (2007). Characterization of an electrospinning process using different PAN/DMF concentrations. *Polímeros*, 17(3), 206-211.
- Kirecci, A., Özkoç, Ü., & İçoğlu, H. İ. (2012). Determination of optimal production parameters for polyacrylonitrile nanofibers. *Journal of applied polymer science*, 124(6), 4961-4968.
- Li, X., Li, K., Zhang, S., Zhang, J., Hu, X., Li, Y., & Liu, Y. (2024). Recent advances in mechanism, influencing parameters, and dopants of electrospun EMI shielding composites: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(2), e54788.
- Mailley, D., Hébraud, A., & Schlatter, G. (2021). A review on the impact of humidity during electrospinning: From the nanofiber structure engineering to the applications. *Macromolecular Materials and Engineering*, 306(7), 2100115.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W. E., Lim, T. C., Ma, Z. (2005) *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*, World Scientific.
- Regmi, D., Choi, J. W., & Xu, J. (2024). Electrospinning of heterogeneous nanofibers: a review. *ECS Advances*, 3(4), 041001.
- Reneker, D. H., & Yarin, A. L. (2008). Electrospinning jets and polymer nanofibers. *Polymer*, 49(10), 2387-2425.
- Wang, T., & Kumar, S. (2006). Electrospinning of polyacrylonitrile nanofibers. *Journal of applied polymer science*, 102(2), 1023-1029.
- Xue, J., Xie, J., Liu, W., & Xia, Y. (2017). Electrospun nanofibers: new concepts, materials, and applications. *Accounts of chemical research*, 50(8), 1976-1987.
- Zhang, C., Yuan, X., Wu, L., Han, Y., & Sheng, J. (2005). Study on morphology of electrospun poly (vinyl alcohol) mats. *European polymer journal*, 41(3), 423-432.

REFERANS NESNESİ KULLANILARAK VE KULLANILMADAN TEK GÖRÜNTÜDEN YİYECEK TANIMA VE KALORİ TAHMİNİ

Ali İhsan YILMAZ¹ / Dr. Öğr. Üyesi Burakhan CUBUKCU²

¹ Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Bilecik, Türkiye.

aliihsan2087@gmail.com | ORCID: 0009-0002-8632-9546

² Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Bilecik, Türkiye.

burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr | ORCID: 0000-0003-0480-1254

Özet

Bu çalışma, tek bir görüntüden otomatik olarak yiyecek porsiyon hacmi ve kalori tahmini yapan bütünleşik bir mobil sistemin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Yiyecek sınıflandırması için ImageNet üzerinde önceden eğitilmiş ResNet-50 modeli, 46 yiyecek sınıfı içeren bir Türk yemekleri veri kümesi üzerinde eğitilmiş ve yaklaşık %92 test doğruluğuna ulaşmıştır. Referansa dayalı ölçüm için, bilinen 26,15 mm madeni para çapını kullanan YOLOv8 tabanlı bir 1 TL dedektörü de geliştirilmiştir. Yiyecek bölütleme için U2-Net ve SAM2, tek görüntüden derinlik tahmini için ise MiDaS ve Depth Anything V2 karşılaştırılmıştır. Geliştirilen bileşenler, Flask kullanılarak oluşturulan mobil kullanıma uygun bir istemci-sunucu mimarisinde birleştirilmiştir. Sistem, hacim ve kalori tahmini için referans destekli ve referanssız olmak üzere iki işlem kolu içermektedir. Referanssız kolda porsiyon büyüklüğü standart porsiyon varsayımına göre tahmin edilirken, referans destekli kol metrik ölçek bilgisi elde etmek için görüntüdeki 1 TL madeni parayı kullanmaktadır. Pizza için referans destekli tahminde porsiyon hacmi 465,2 cm³ ve kalori değeri 1237,5 kcal olarak hesaplanmış; referanssız tahminde ise bu değerler sırasıyla 555,3 cm³ ve 1477,0 kcal olmuştur. Patates kızartması için karşılık gelen değerler referans destekli tahminde 202,8 cm³ ve 243,4 kcal, referanssız tahminde ise 319,7 cm³ ve 383,7 kcal olarak bulunmuştur. Genel olarak önerilen çalışma; yiyecek sınıflandırma, bölütleme, tek görüntüden derinlik tahmini, referans nesnesi tespiti ve mobil analiz bileşenlerini ortak bir kalori tahmin sistemi içinde bir araya getirmektedir.

Anahtar kelimeler: Kalori tahmini, tek görüntüden derinlik tahmini, yiyecek bölütleme, evrişimli sinir ağları, nesne tespiti

FOOD RECOGNITION AND CALORIE ESTIMATION FROM A SINGLE IMAGE WITH AND WITHOUT A REFERENCE OBJECT

Abstract

This study focuses on the development of an integrated mobile system for automated food portion volume and calorie estimation from monocular images. For food classification, ResNet-50 pretrained on ImageNet was trained on a Turkish food dataset with 46 food classes and achieved approximately 92% test accuracy. A YOLOv8-based 1-TL coin detector was also developed, using the known 26.15 mm coin diameter for reference-based measurement. U2-Net and SAM2 were compared for food segmentation, while MiDaS and Depth Anything V2 were compared for monocular depth estimation. The developed components were integrated into a mobile-friendly client-server architecture implemented using Flask. The system includes two volume and calorie estimation branches: reference-assisted and reference-free estimation. In the reference-free branch, portion size is estimated based on a standard portion assumption, whereas the reference-assisted branch uses the 1-TL coin in the scene to obtain metric scale information. For pizza, the estimated portion volume and calorie value were 465.2 cm³ and 1237.5 kcal for reference-assisted estimation, compared with 555.3 cm³ and 1477.0 kcal for reference-free estimation. For French fries, the corresponding values were 202.8 cm³ and 243.4 kcal, compared with 319.7 cm³ and 383.7 kcal. Overall, the proposed work integrates food classification, segmentation, monocular depth estimation, reference-object detection, and mobile analysis within a unified calorie estimation framework.

Keywords: Calorie estimation, monocular depth estimation, food segmentation, convolutional neural networks, object detection

1. INTRODUCTION

Food calorie estimation based on an image requires determining the food category and also the amount consumed. Although the problem of estimating the amount consumed is more complicated in comparison to classification, both tasks are crucial for image-based dietary assessment. In this regard, there is a common problem with depth estimation in that a single monocular image does not provide absolute depth or scale information inherently. Furthermore, there can be high variations in the appearance of the same food considering image capturing angle, illumination conditions, type of serving, serving size, background, etc. Therefore, for dietary assessment, food classification, segmentation, portion estimation, and nutritional information analysis should be considered as a system of interconnected components (Myers et al., 2015; Thames et al., 2021).

There are several datasets for various aspects of dietary assessment. Food-101 is one of the most popular ones with 101 food categories. In previous studies, handcrafted features and descriptors were used in some steps, such as classification (Bossard et al., 2014). DeepFood (Liu et al., 2016) has shown that it is possible to apply neural networks for dietary assessment. Later works have reported that deep CNN models outperformed handcrafted feature-based models on the Food-101 food categorization problem (Hassannejad et al., 2016). Transfer learning has also been applied to food recognition by fine-tuning pretrained convolutional networks (Güngör et al., 2017). In related image-classification research, Bozcu and Cubukcu (2024) compared transfer-learning models on public and locally collected cherry-leaf datasets, highlighting the importance of evaluating model performance across datasets.

There are also several studies on food calorie estimation. Some studies, such as Pouladzadeh et al. (2014), have used reference objects for scale information, which is important for portion estimation. Such approaches may require the user to place or provide a reference object in the scene. On the other hand, studies such as Dehais et al. (2017) have utilized two images taken from different viewpoints to reconstruct 3D models of food items. These approaches can be considered cumbersome for daily dietary assessment purposes. Im2Calories (Myers et al., 2015) presented a framework that utilizes image classification, segmentation, and volume estimation to predict the calories of a food image. A comprehensive dataset was released by Nutrition5k (Thames et al., 2021), which includes real food images together with their corresponding weight, detailed nutritional information, depth information, and several different views of the food items.

Although food-related datasets have been growing, there is still a demand for datasets and research covering different cuisines and domains. Turkish cuisine, for example, includes many different and diverse local recipes and remains relatively underrepresented. TürkSofrası (Güngör et al., 2017) introduced a dedicated dataset and classification approach for Turkish food category recognition.

Recent works have shown that modern deep learning models can be used as off-the-shelf solutions for depth estimation. MiDaS (Ranftl et al., 2022) can generalize across different domains. MiDaS is trained on multiple datasets and uses a scale- and shift-invariant training strategy to address inconsistencies in the data. The DPT (Dense Prediction Transformer) model extends transformer-based representations to general-purpose dense prediction tasks (Ranftl et al., 2021). Depth Anything V2 (Yang et al., 2024) uses large-scale synthetic and unlabeled real-world data to infer detailed monocular relative depth maps. It should be noted that the output depth maps of these models are relative, not absolute (in mm or cm).

Recent advancements in segmentation models have also introduced off-the-shelf models that can perform well on food images. U2-Net (Qin et al., 2020) performs salient-object segmentation. The architecture of the model consists of a U-Net with an embedded U-Net to predict salient objects at different scales. Segment Anything (Kirillov et al., 2023) takes user prompts and performs segmentation of desired objects. SAM2 extends this approach to both images and video (Ravi et al., 2024). Ultralytics provides a practical interface for dataset preparation, model training, and inference using YOLO models (Ultralytics, n.d.). YOLO models belong to the single-stage object detection category and directly predict bounding boxes and class scores in one pass (Redmon et al., 2016).

In this paper, an integrated calorie estimation framework is presented for dietary assessment applications. The framework consists of food classification, depth estimation, segmentation, and portion estimation. The main components of the proposed system are described below.

A dataset containing 46 food-related classes, including Turkish foods, is used in this study. Some examples of the food classes are Adana kebab, baklava, döner, çiğ köfte, pizza, and French fries. A ResNet-50 architecture is trained and tested on this dataset.

To obtain metric scale information for portion estimation, we propose using a 1-Turkish Lira (TL) coin in food images to establish the scale between pixels and millimeters. A 1-TL coin has a diameter of 26.15 mm (T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü, n.d.) and is widely available to

Turkish users. A dedicated dataset of 1-TL coin images is introduced, and a YOLOv8-based detector is trained on this dataset (Redmon et al., 2016; Ultralytics, n.d.).

U2-Net (Qin et al., 2020) and SAM2 (Ravi et al., 2024) are evaluated for food segmentation. MiDaS (Ranftl et al., 2022) and Depth Anything V2 (Yang et al., 2024) are compared for monocular depth estimation.

The outputs of the segmentation and depth estimation modules are combined for portion estimation. When a 1-TL coin is present in the image, it is automatically detected and its scale information is used in the reference-assisted portion estimation branch. If no coin is detected, a second branch performs reference-free portion estimation. Our main contributions are the following:

- The use of a 46-class food dataset containing Turkish food categories and the development of a ResNet-50-based food classification model.
- A novel dataset for 1-Turkish Lira coin images and a YOLOv8-based detector that enables the coin to be used as a metric scale reference.
- Comparative evaluations of U2-Net and SAM2 for food segmentation and MiDaS and Depth Anything V2 for monocular depth estimation.
- An integrated portion estimation module that combines segmentation and depth information and consists of reference-assisted and reference-free estimation branches.
- Implementation of the entire system on a mobile platform using a Flask-based server and an Android application as the client.

2. MATERIALS AND METHODS

A user captures a food image using the mobile application or loads one from the device gallery and sends it to the server. On the server side, the image is processed by multiple deep learning modules within a single analysis request. Fig. 1 illustrates the overall workflow. These stages include food classification, segmentation, monocular depth estimation, reference-object detection, volume estimation, and finally calorie calculation using the estimated portion information.

In Fig. 1, the 1-TL coin serves as a reference object by providing a known physical dimension for metric scaling. The use of the coin is optional. If a coin is detected, the reference-assisted volume estimation branch is activated; otherwise, the system automatically switches to the reference-free branch.

The classification module determines the food category, while the segmentation and monocular depth estimation modules produce a food mask and a relative depth map, respectively. In parallel, the reference

detector searches for a 1-TL coin in the image. When detected, the coin provides the scale information required for reference-assisted volume estimation. At the final stage, the estimated volume and calorie value are sent to the mobile application and can be stored in the user's analysis history.

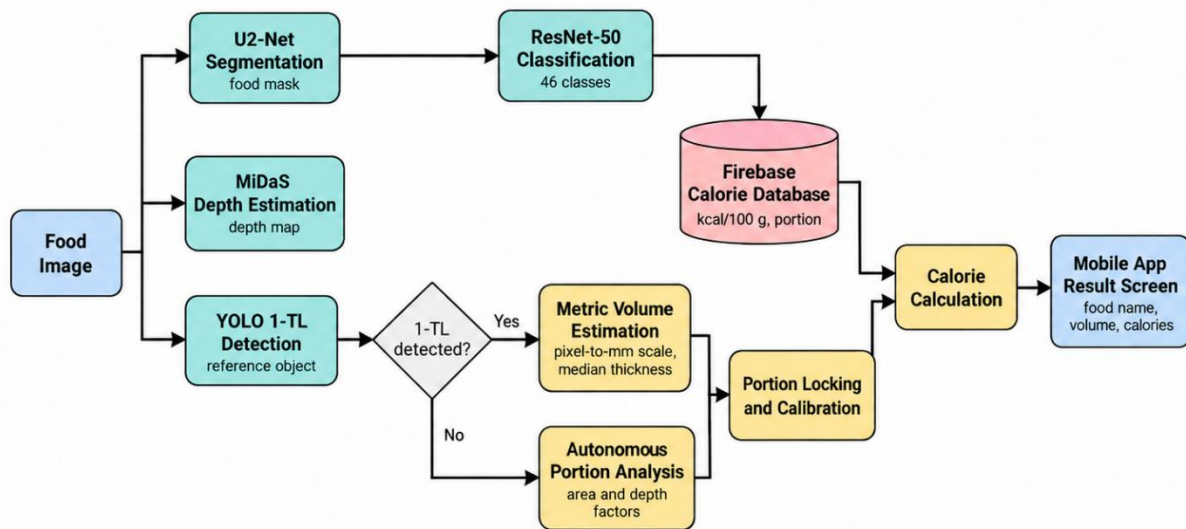


Figure 1. Overall workflow of the developed food calorie estimation system.

2.1. Datasets and Preprocessing

The dataset used for food classification contains 46 classes, including different types of Turkish foods (e.g., Adana kebab, baklava, döner, and çiğ köfte) alongside other foods (e.g., pizza and French fries). The dataset was randomly divided into 80% training and 20% testing subsets and organized in ImageFolder format for the PyTorch implementation. Data augmentation was applied to the training subset.

The reference-object dataset for the 1-TL coin was collected under different backgrounds, orientations, and lighting conditions. It consists of 75 images annotated with bounding boxes using Roboflow (Roboflow, n.d.). The dataset was used as a single-class object detection dataset for locating the coin and determining its pixel width.

2.2. Food Classification

For the food classification module, a ResNet-50 model pretrained on ImageNet was used (Deng et al., 2009; He et al., 2016). The original output layer was replaced with a classification head containing a dropout layer with a rate of 0.30 and a linear layer with 46 output units.

The ResNet-50 model was trained for approximately 24 epochs. Cross-entropy loss and the Adam optimizer (Kingma & Ba, 2015) were used with a learning rate of 0.001 and a batch size of 32. For data augmentation, random horizontal flipping with a probability of 0.5 and random rotations of up to 15° were applied. ImageNet mean and standard deviation values were used for normalization. For inference, the input images were resized to 256 pixels and center-cropped to 224×224 pixels to maintain consistency with the model input requirements.

2.3. Food Segmentation

For food segmentation, the U2-Net (Qin et al., 2020) model was used through the rembg inference interface to obtain the food mask. No user interaction is required during this segmentation process. This is important for the intended mobile workflow, since the segmentation stage should operate automatically after the user captures or selects a food image.

The SAM2 model (Ravi et al., 2024) was also evaluated for food segmentation. The sam2_hiera_large version was used with a bounding-box prompt. To avoid requiring the user to manually define the bounding box, a large predefined box spanning 5% to 95% of the image width and height was used as the prompt. This allowed SAM2 to perform segmentation without additional interaction from the user.

2.4. Monocular Depth Estimation

Monocular depth estimation was implemented using the MiDaS DPT_Large model (Ranftl et al., 2021; Ranftl et al., 2022). The model takes an RGB image as input and produces a relative depth map. Its Dense Prediction Transformer architecture enables the use of global contextual information during dense depth prediction. Depth Anything V2 ViT-L (Yang et al., 2024) was also evaluated for monocular depth estimation. Similar to MiDaS, the model takes an RGB image as input and produces a relative depth map.

Both approaches estimate relative rather than absolute metric depth. Therefore, their outputs cannot be directly interpreted in millimeters or centimeters. In the reference-assisted branch, additional scale information obtained from the 1-TL coin is incorporated into the subsequent volume estimation procedure. MiDaS DPT_Large was selected for the final reference-assisted volume estimation pipeline, while Depth Anything V2 was retained for comparison.

2.5. Reference Object Detection and Metric Scaling

In the reference-assisted volume estimation pipeline, a 1-TL coin was used as the reference object. The physical diameter of the coin was taken as 26.15 mm (T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü, n.d.). A YOLOv8-based detector (YOLOv8n) (Redmon et al., 2016; Ultralytics, n.d.) was trained to locate the reference coin in the input image and obtain the width of its bounding box, denoted w_{1TL} .

The pixel-to-millimeter scale factor, λ , was calculated as:

$$\lambda = \frac{26.15}{w_{1TL}}$$

where w_{1TL} is the detected width of the 1-TL coin in pixels, and λ represents the physical length corresponding to one pixel in millimeters.

Reference-object detections were accepted only when the confidence score was greater than 0.5, the bounding-box area was less than 8% of the total image area, and the aspect ratio of the detected box was between 0.6 and 1.6. These filtering rules were applied to reduce false detections caused by circular objects or regions, such as plates or food items with a similar appearance.

If a valid 1-TL coin is detected, the calculated scale factor is passed to the reference-assisted volume estimation stage. Otherwise, the system automatically proceeds to the reference-free portion estimation branch.

2.6. Dual-Branch Volume and Calorie Estimation

The system uses two portion estimation branches depending on whether a valid 1-TL reference coin is detected. In the reference-free branch, the portion mass is estimated using a standard portion value together with area and depth scaling factors. The estimated reference-free portion mass is calculated as

$$\hat{m}_{auto} = m_0 S_A S_D$$

where $\hat{m}_{auto}$ is the estimated reference-free portion mass and m_0 is the standard portion mass of the corresponding food class. The area and depth scaling factors, S_A and S_D , are defined as

$$S_A = \min \left(1.2, \max \left(0.8, \frac{A_M}{0.4A_I} \right) \right)$$

$$S_D = 0.95 + 0.1d_M$$

where A_M is the number of pixels in the food mask, A_I is the total number of pixels in the image, and d_M is the mean normalized depth value within the food mask. The area factor compares the relative food-mask area with a standard area factor of 0.4. The resulting area and depth factors are limited to the ranges of 0.8–1.2 and 0.95–1.05, respectively, to prevent large deviations in the reference-free portion estimate.

The reference-assisted branch is activated when a valid 1-TL coin is detected. First, the food mask M is eroded using a 15-pixel kernel, denoted by $E_{15}(M)$, to reduce the influence of uncertain pixels along the mask boundary. Let A_E denote the number of pixels in this eroded mask. The upper-surface area of the food is estimated using the pixel-to-millimeter scale λ as

$$A_{cm^2} = \frac{A_E \lambda^2}{100}$$

where A_{cm^2} is the estimated upper-surface area in cm^2 . The food thickness is estimated from the median MiDaS depth value within the food mask and constrained between 5 and 35 mm:

$$T_{mm} = \min(35, \max(5, k_d \text{ median}(d_M)))$$

where k_d is the coefficient used to convert relative depth information into an approximate thickness. The food volume is then calculated as

$$\hat{V}_{3D} = 0.65 A_{cm^2} \frac{T_{mm}}{10}$$

where $\hat{V}_{3D}$ is the estimated food volume in cm^3 . The factor 0.65 is used as a calibration coefficient to reduce excessively high volume estimates produced by the raw depth-based calculation.

To prevent unrealistic mass estimates, the mass derived from the estimated volume is constrained according to the standard portion mass:

$$\hat{m}_{3D} = \min(2.5m_0, \max(0.4m_0, \rho \hat{V}_{3D}))$$

where ρ is the estimated food density and $\hat{m}_{3D}$ is the final mass estimate obtained by the reference-assisted branch. This constraint limits the estimated mass to between 0.4 and 2.5 times the standard portion mass.

For each food class, the Firebase Realtime Database (Google Firebase, n.d.) stores the calorie content per 100 g (C_{100}), the calorie content per cm^3 (C_{cm^3}), and the standard portion mass (m_0). The food density used for volume-to-mass conversion is calculated as

$$\rho = \frac{100C_{\text{cm}^3}}{C_{100}}$$

Finally, the total calorie value is calculated from the estimated portion mass as

$$C = \hat{m} \frac{C_{100}}{100}$$

where C is the estimated calorie value and $\hat{m}$ represents the mass obtained from either the reference-assisted or reference-free branch.

2.7. Mobile System Implementation

The system consists of a Flask-based server and an Android mobile client. The mobile application allows the user to capture a food image or select one from the device gallery, transmit it to the server for analysis, display the returned estimation results, and access previous analysis records. Communication between the Android client and server is performed through HTTP requests using the OkHttp library (Square, n.d.).

The server-side implementation was developed in Python. PyTorch and torchvision are used for deep learning model training and inference, while OpenCV is used for image loading, resizing, color conversion, and mask post-processing (Bradski, 2000; Paszke et al., 2019). The YOLOv8-based 1-TL detector is implemented using the Ultralytics framework (Ultralytics, n.d.), and Flask is used to provide the REST-based server interface (Pallets Projects, n.d.).

When the server starts, the ResNet-50 food classification model, YOLO reference detector, U2-Net segmentation model, and MiDaS depth estimation model are loaded into memory. This prevents the model weights from being reloaded for each incoming image. For each analysis request, the server performs food classification, segmentation, depth estimation, reference-object detection, portion estimation, and calorie calculation. The resulting food class, estimated volume, calorie value, and estimation-branch information are returned to the mobile application and stored in the Firebase Realtime Database (Google Firebase, n.d.) as part of the user's analysis history.

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

We first present the results of the main components of the proposed method, including food classification, food segmentation, monocular depth estimation, and reference-object detection. The reference-assisted and reference-free estimation branches are then evaluated, followed by the overall estimation results obtained through the mobile application.

3.1. Food Classification Performance

In this section, we present the training and validation behavior of the ResNet-50 classifier together with its test-set accuracy. Fig. 2 shows the loss curves during training. The model was trained for approximately 24 epochs. The validation loss remained higher than the training loss, indicating a limited degree of overfitting. Dropout, ImageNet mean and standard deviation normalization, and data augmentation were used during training. By the end of training, the training loss had decreased to approximately 0.43, while the validation loss had stabilized at around 0.62. The ResNet-50 classifier achieved approximately 92% accuracy on the 46-class test subset. Considering the number of classes and the visual similarity among several food categories, this result indicates that ResNet-50 provides a suitable classification component for the proposed calorie estimation pipeline.

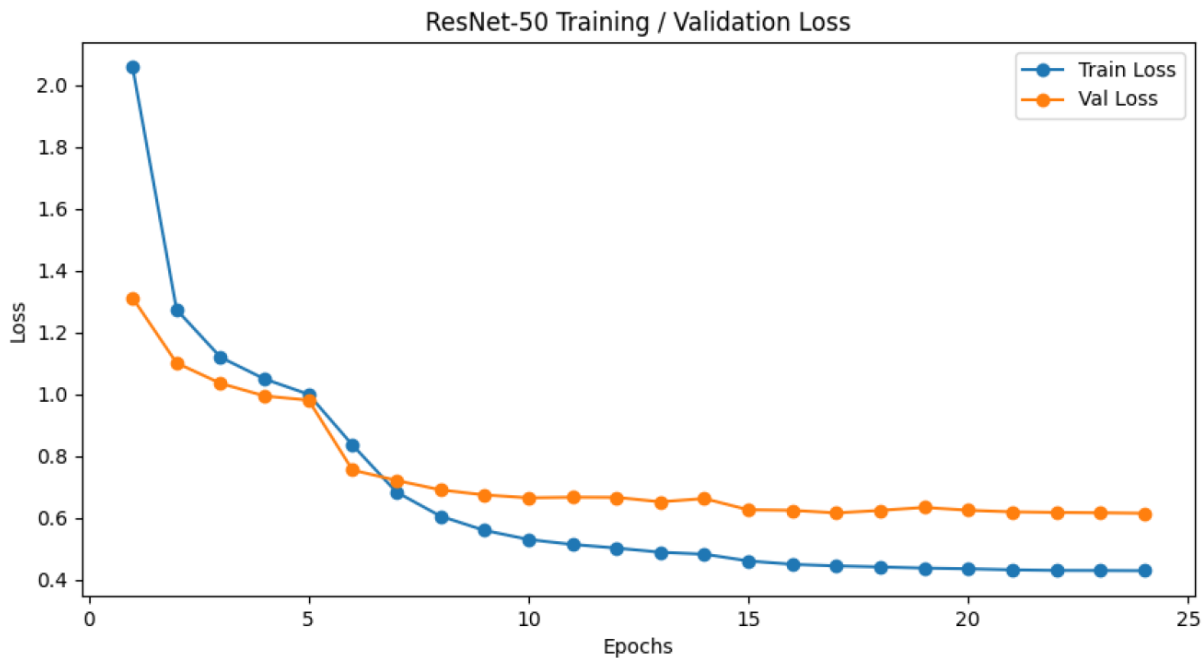


Figure 2. Training and validation loss curves of the ResNet-50 food classifier.

3.2. Segmentation and Depth Estimation Comparison

For food segmentation, U2-Net and SAM2 were qualitatively evaluated using the same pizza image, as shown in Fig. 3(a) and Fig. 3(b), respectively. Although both methods produced meaningful masks, U2-Net provided a cleaner result while preserving the main food region, whereas the SAM2 segmentation included part of the surrounding pizza box. SAM2 is a prompt-based model; however, to avoid additional user interaction, a broad predefined bounding box spanning 5% to 95% of the image width and height was used as the prompt. This resulted in some background regions being included in the mask. Since the segmented area directly affects subsequent volume estimation and manual point selection or mask correction is excluded from the proposed workflow, U2-Net was selected as the segmentation model in the final system.

The two depth estimation models were also qualitatively evaluated on the same image. Fig. 3(c) and Fig. 3(d) show the MiDaS and Depth Anything V2 outputs, respectively. Both models produced meaningful relative depth information. MiDaS generated a smoother depth representation with fewer local variations among the pizza ingredients, whereas Depth Anything V2 produced more fine-grained depth differences across the food surface. Since the proposed volume estimation method relies on representative thickness information, including a median-based depth value and depth clipping, excessive local variations may introduce additional variability into the estimated volume.

MiDaS was therefore selected for the final pipeline because its smoother depth representation was more compatible with the median-thickness and clipping strategy used in the volume estimation module. It also provided a more balanced solution in terms of computational requirements for the overall system. Depth Anything V2 was retained as an alternative model for comparison.

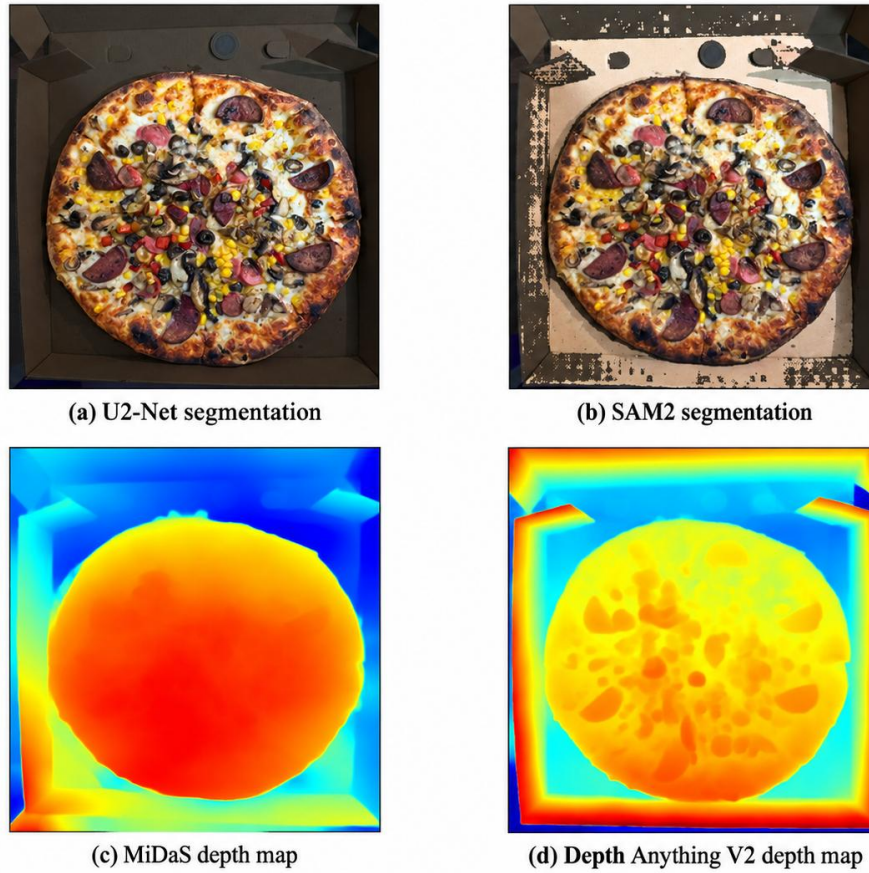


Figure 3. Qualitative comparison of segmentation and monocular depth estimation on the same pizza image: (a) U2-Net segmentation, (b) SAM2 segmentation, (c) MiDaS depth map, and (d) Depth Anything V2 depth map.

3.3. Reference Detection, End-to-End Estimation, and Mobile Demonstration

To obtain metric scale information for the reference-assisted estimation branch, the 1-TL coin is first detected in the input image using the YOLOv8-based detector described in Section 2.5. Fig. 4 shows an example in which the coin is successfully detected in the complete scene. Since the reference-object dataset contains only 75 images, the raw detections were further filtered using the confidence score, bounding-box area, and aspect ratio. These additional criteria help reduce false detections caused by circular objects or image regions that may resemble the reference coin.

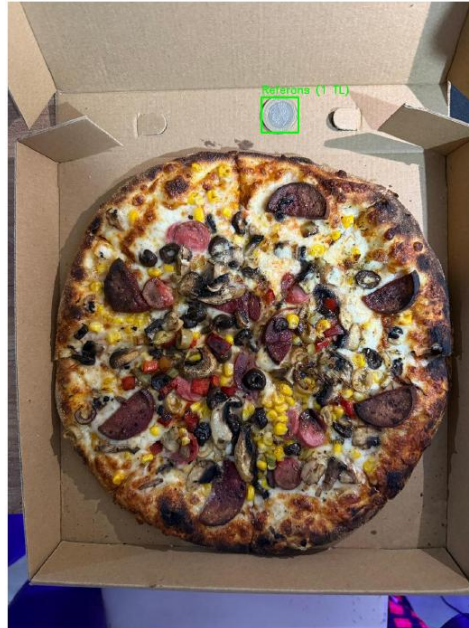


Figure 4. Example of 1-TL reference-object detection using the YOLOv8-based detector.

The complete estimation pipeline was evaluated on pizza and French fries using both the reference-assisted and reference-free branches. Fig. 5 shows the corresponding outputs of the mobile application, while Table 1 summarizes the estimated volume and calorie values.

Table 1. End-to-end volume and calorie estimation results.

Scenario	Food Class	Volume (cm ³)	Calories (kcal)	Estimation Branch
Pizza, with 1-TL	Pizza	465.2	1237.5	Reference-assisted
Pizza, without 1-TL	Pizza	555.3	1477.0	Reference-free
French fries, with 1-TL	French fries	202.8	243.4	Reference-assisted
French fries, without 1-TL	French fries	319.7	383.7	Reference-free

For pizza, the reference-assisted branch estimated a volume of 465.2 cm³ and 1237.5 kcal, whereas the reference-free branch produced 555.3 cm³ and 1477.0 kcal. For French fries, the corresponding estimates were 202.8 cm³ and 243.4 kcal with the reference-assisted branch and 319.7 cm³ and 383.7 kcal with the reference-free branch.

The reference-assisted estimates were approximately 16% lower for pizza and 36% lower for French fries than the corresponding reference-free estimates. These percentages indicate the relative difference between the two estimation branches and should not be interpreted as estimation errors. Independently measured ground-truth

volume and calorie values were not available for these examples; therefore, the results are intended to demonstrate how the two branches behave under the same application workflow rather than to establish which branch is more accurate.

The larger difference observed for French fries may be related to its irregular and sparse structure. The reference-free branch relies on the standard portion value together with the segmented area and relative depth information. As a result, its estimate can be more sensitive when the observed portion differs from the assumed standard portion. In contrast, the reference-assisted branch also incorporates metric scale information obtained from the detected 1-TL coin into the 3D volume estimation process.

As shown in Fig. 5, the mobile application also informs the user which estimation branch was used. When a valid reference coin is detected, the result is presented as a metric 3D analysis; otherwise, the system reports that the autonomous portion estimation branch was applied. This provides a transparent indication of whether metric reference information contributed to the final estimate.

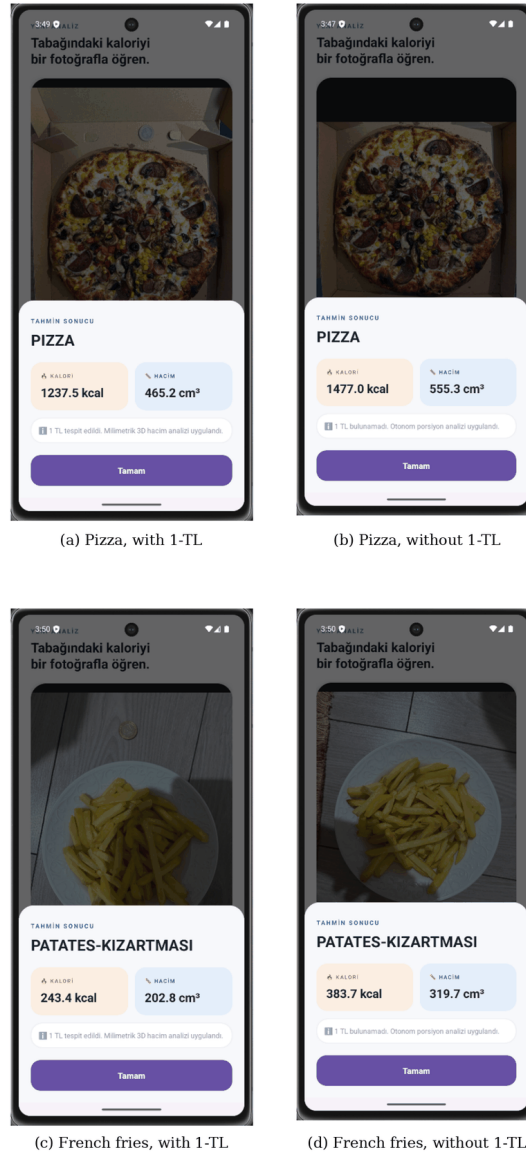


Figure 5. Mobile application results for reference-assisted and reference-free estimation of pizza and French fries.

3.4. Limitations

Although the proposed system incorporates several measures to reduce uncertainty in volume and calorie estimation, including the use of a known-size 1-TL reference object, thickness clipping, portion constraints, and a calibration factor, monocular depth estimation still introduces uncertainty because the predicted depth information is relative rather than absolute. In addition, errors in the estimated food mask may affect the

computed food area, while local variations in the depth map may influence the representative thickness used for volume estimation.

The reference-object detector was trained using a relatively small dataset of 75 images. A larger and more diverse dataset would be beneficial for improving its robustness under unseen backgrounds, illumination conditions, and viewing angles. Moreover, independently measured ground-truth food volume and calorie values were not available for a comprehensive evaluation of the complete estimation system. Therefore, the experimental results should be interpreted mainly as an analysis of the behavior of the proposed components and estimation branches rather than as a direct measure of absolute estimation accuracy.

Further experiments using independently measured ground-truth volume and calorie information are needed for a more systematic evaluation of the proposed system. In addition, the computational cost and end-to-end response time should be quantitatively analyzed before making claims regarding real-time applicability.

4. CONCLUSION

In this paper, an integrated framework has been presented for food recognition, portion estimation, and calorie estimation from a single food image. ResNet-50 was used for food classification and achieved approximately 92% test accuracy across 46 classes. Automatic segmentation was used to identify the food region, while monocular depth estimation was employed to obtain relative depth information for subsequent volume estimation.

For portion and calorie estimation, two complementary approaches were implemented. The reference-assisted branch uses the known size of a 1-TL coin to obtain metric scale information, while the reference-free branch estimates the food portion without requiring a reference object. YOLO was used to detect the 1-TL coin automatically. These components, together with the calorie estimation module and mobile application, were integrated into a client-server architecture.

The two estimation strategies were compared using pizza and French fries examples, and different volume and calorie estimates were obtained depending on whether metric reference information was available. Since independently measured ground-truth volume and calorie values were not available, these results should be interpreted as outputs produced by two different estimation strategies rather than as a comparison of their absolute accuracy. Estimating three-dimensional food geometry from a single image also remains subject to uncertainties related to relative depth, segmentation quality, and scene scale.

Future work should include controlled ground-truth measurements to enable quantitative accuracy evaluation. A larger and more diverse reference-object dataset could also improve the robustness of coin detection under different backgrounds, lighting conditions, and viewing angles. In addition, the computational efficiency and end-to-end response time of the complete system should be evaluated systematically. Multi-view or stereo imaging may also be investigated to reduce the limitations associated with single-view food volume estimation.

REFERENCES

- Bossard, L., Guillaumin, M., & Van Gool, L. (2014). Food-101: Mining discriminative components with random forests. In *Computer vision – ECCV 2014* (pp. 446–461). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10599-4_29
- Bozcu, H., & Cubukcu, B. (2024). Deep learning-based damage assessment in cherry leaves. *Journal of Innovative Science and Engineering*, 8(2), 160–178. <https://doi.org/10.38088/jise.1455860>
- Bradski, G. (2000). The OpenCV library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*.
- Dehais, J., Anthimopoulos, M., Shevchik, S., & Mougiakakou, S. (2017). Two-view 3D reconstruction for food volume estimation. *IEEE Transactions on Multimedia*, 19(5), 1090–1099. <https://doi.org/10.1109/TMM.2016.2642792>
- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. In *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 248–255). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
- Google Firebase. (n.d.). *Firebase Admin SDK documentation*. Retrieved July 5, 2026, from <https://firebase.google.com/docs/admin/setup>
- Güngör, C., Baltacı, F., Erdem, A., & Erdem, E. (2017). Turkish cuisine: A benchmark dataset with Turkish meals for food recognition. In *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIU.2017.7960494>
- Hassannejad, H., Matrella, G., Ciampolini, P., De Munari, I., Mordonini, M., & Cagnoni, S. (2016). Food image recognition using very deep convolutional networks. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Multimedia Assisted Dietary Management* (pp. 41–49). ACM. <https://doi.org/10.1145/2986035.2986042>

- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 770–778). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- Kingma, D. P., & Ba, J. (2015). Adam: A method for stochastic optimization. In *3rd International Conference on Learning Representations*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
- Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., Xiao, T., Whitehead, S., Berg, A. C., Lo, W.-Y., Dollár, P., & Girshick, R. (2023). Segment anything. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 3992–4003). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCV51070.2023.00371>
- Liu, C., Cao, Y., Luo, Y., Chen, G., Vokkarane, V., & Ma, Y. (2016). DeepFood: Deep learning-based food image recognition for computer-aided dietary assessment. In *Inclusive smart cities and digital health* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9677, pp. 37–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39601-9_4
- Myers, A., Johnston, N., Rathod, V., Korattikara, A., Gorban, A., Silberman, N., Guadarrama, S., Papandreou, G., Huang, J., & Murphy, K. P. (2015). Im2Calories: Towards an automated mobile vision food diary. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 1233–1241). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2015.146>
- Pallets Projects. (n.d.). *Flask documentation*. Retrieved July 5, 2026, from <https://flask.palletsprojects.com/>
- Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., Killeen, T., Lin, Z., Gimelshein, N., Antiga, L., Desmaison, A., Kopf, A., Yang, E., DeVito, Z., Raison, M., Tejani, A., Chilamkurthy, S., Steiner, B., Fang, L., ... Chintala, S. (2019). PyTorch: An imperative style, high-performance deep learning library. In *Advances in neural information processing systems* (Vol. 32, pp. 8024–8035). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.01703>
- Pouladzadeh, P., Shirmohammadi, S., & Al-Maghrabi, R. (2014). Measuring calorie and nutrition from food image. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(8), 1947–1956. <https://doi.org/10.1109/TIM.2014.2303533>
- Qin, X., Zhang, Z., Huang, C., Dehghan, M., Zaiane, O. R., & Jagersand, M. (2020). U2-Net: Going deeper with nested U-structure for salient object detection. *Pattern Recognition*, 106, Article 107404. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2020.107404>

- Ranftl, R., Bochkovskiy, A., & Koltun, V. (2021). Vision transformers for dense prediction. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 12159–12168). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.01196>
- Ranftl, R., Lasinger, K., Hafner, D., Schindler, K., & Koltun, V. (2022). Towards robust monocular depth estimation: Mixing datasets for zero-shot cross-dataset transfer. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(3), 1623–1637. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2020.3019967>
- Ravi, N., Gabeur, V., Hu, Y.-T., Hu, R., Ryali, C., Ma, T., Khedr, H., Rädle, R., Rolland, C., Gustafson, L., Mintun, E., Pan, J., Alwala, K. V., Carion, N., Wu, C.-Y., Girshick, R., Dollár, P., & Feichtenhofer, C. (2024). *SAM 2: Segment anything in images and videos*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.00714>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 779–788). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>
- Roboflow. (n.d.). *Roboflow documentation*. Retrieved July 5, 2026, from <https://docs.roboflow.com/>
- Square. (n.d.). *OkHttp documentation*. Retrieved July 5, 2026, from <https://square.github.io/okhttp/>
- T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü. (n.d.). *Minting of minor coins*. Retrieved July 5, 2026, from <https://en.darphane.gov.tr/our-services>
- Thames, Q., Karpur, A., Norris, W., Xia, F., Panait, L., Weyand, T., & Sim, J. (2021). Nutrition5k: Towards automatic nutritional understanding of generic food. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 8899–8907). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00879>
- Ultralytics. (n.d.). *Ultralytics YOLO documentation*. Retrieved July 5, 2026, from <https://docs.ultralytics.com/>
- Yang, L., Kang, B., Huang, Z., Zhao, Z., Xu, X., Feng, J., & Zhao, H. (2024). *Depth Anything V2*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.09414>

DIGITAL TWIN-ASSISTED INTELLIGENT FORECASTING AND EARLY WARNING SYSTEM FOR AIR QUALITY

Dr. Kerim SÖNMEZ¹, Asst. Prof. Dr. Ercüment ÖZTÜRK², Prof. Dr. Tuğrul ÇAVDAR³

¹Karadeniz Technical University, kerimsonmez@ktu.edu.tr, 0000-0002-5110-3849

²Karadeniz Technical University, ercumentozturk@ktu.edu.tr, 0000-0001-9623-6955

³Karadeniz Technical University, ulduz@ktu.edu.tr, 0000-0003-3656-9592

Abstract

Urban air pollution is a dynamic environmental problem that requires continuous monitoring, reliable forecasting, and proactive warning mechanisms. This study proposes a Digital Twin-Assisted Intelligent Forecasting and Early Warning System for Urban Air Quality using one year of hourly measurements collected at the Trabzon-Meydan air-quality monitoring station between September 20, 2025 and September 20, 2026. The dataset contains 8,761 hourly observations of PM₁₀, SO₂, NO₂, NO_x, and NO. A digital-twin-oriented architecture was established in which measured atmospheric states are synchronized with a virtual environmental state, processed by artificial intelligence models, and converted into future pollution estimates and warning information. Artificial Neural Network (ANN), Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU), and Transformer models were compared using a 24-h historical input window and 1-, 6-, and 24-h prediction horizons. The data were chronologically divided into 70% training, 15% validation, and 15% test subsets to prevent temporal information leakage. Performance was evaluated using MAE, RMSE, and R². For one-hour-ahead PM₁₀ forecasting, GRU provided the best performance with an MAE of 3.47 µg/m³, RMSE of 4.52 µg/m³, and R² of 0.582. Prediction performance deteriorated as the forecasting horizon increased. Daily analysis further showed that the WHO 24-h PM₁₀ guideline of 45 µg/m³ was exceeded on 44 of 364 complete days, whereas the 24-h NO₂ reference of 25 µg/m³ was exceeded on 300 days. The results demonstrate that coupling recurrent deep learning with a continuously updated digital representation provides a practical basis for predictive urban air-quality monitoring and early warning.

Keywords: Digital twin, air quality, artificial intelligence, forecasting, early warning, smart city.

1. INTRODUCTION

Air pollution is still one of the most pressing environmental issues impacting human health, urban sustainability and quality of life. Particulate matter and gaseous pollutants such as PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 , CO , and O_3 are routinely monitored because prolonged or intense exposure may result in serious environmental and public-health impacts. The World Health Organization (WHO) has therefore established health-based guideline levels for important atmospheric pollutants [1]. Traditional monitoring stations provide reliable information about current and past pollution levels. However, measurements are reactive by nature. Environmental authorities are demanding more and more predictive information: will pollution increase in the next few hours? Will a reference level be exceeded? How early can such an event be detected? These requirements are especially pertinent for smart-city systems, where sensing, data analytics and decision support are to be an integrated process.

Atmospheric pollution is nonlinear, non-stationary and strongly time-dependent, which makes the prediction of air quality difficult. The pollutant concentrations are a function of the previous concentrations, the emission pattern, the traffic, the meteorological conditions, the seasonal effects and the interactions among pollutants. More recently, artificial intelligence and deep-learning methods have been increasingly used in place of purely statistical forecasting approaches [2]–[4]. For environmental time series, recurrent networks such as LSTM and GRU are appropriate because they can keep track of sequential information. Transformer models use self-attention to model more extended-range temporal relationships [14]–[17], [20], [21], [25]. But accurate forecasting is not enough for a complete intelligent environmental-monitoring system. The operational system must continuously receive observations, maintain a virtual representation of the monitored environment, generate forecasts, translate these forecasts into interpretable risk information and update the virtual state when new physical measurements become available. These requirements are aligned with digital twin technology.

A digital twin is a continuously updated virtual representation of a physical object, process or system that has a data connection with the physical twin [5], [6]. Although the concept has been mostly developed in manufacturing, digital twins are now being extended to smart cities, infrastructure and environmental management [7]–[10]. Recent studies have shown that predictive environmental platforms can be built by integrating air-quality measurements, machine learning, urban visualization and virtual city representation [11]–[13].

In this study, a Digital Twin Assisted Intelligent Forecasting and Early Warning System for Urban Air Quality is developed and tested with real data from hourly measurements obtained from the Trabzon-Meydan monitoring station. We trained and tested the models in a chronological fashion and found that ANN, LSTM, GRU and Transformer models perform similarly. The most effective forecasting structure is then interpreted as the predictive component of a digital-twin cycle where measured atmospheric states are synchronized, forecasted, assessed against configurable environmental thresholds and updated when future observations become available. The main contribution is therefore the integration of monitoring, short-term intelligent forecasting and proactive warning within a single continuously updated virtual framework.

2. RELATED WORKS

Due to the highly nonlinear relation between pollutants and environmental factors, the role of artificial intelligence in air quality modeling has become increasingly important. Zhang et al. [2] reviewed deep learning-based approaches for forecasting air-quality emphasizing temporal, spatial and attention models. Zhou et al. [3] also pointed out the increased usage of hybrid deep-learning architectures for PM_{2.5} prediction. Uncertainty, explainability, data scarcity, model transferability and integration with atmospheric physics are also identified as important future research directions in a recent comprehensive review [4]. LSTM models have been widely applied since their gated memory architecture is capable of preserving information over long sequences [24]. Eren et al. [14] compared LSTM, RNN and GRU architectures using the air-pollution data of Istanbul. Similarly, Zaini et al. [15] coupled LSTM forecasting with optimization, and Shakya et al. [16] utilized recurrent models and meteorological, vehicular and emission data. The operational value of LSTM-based PM_{2.5} forecasting was also proved by Ho et al. [20]. GRU networks offer a more compact recurrent alternative and can be useful when the dataset is not large enough to justify very complex architectures. Transformer models have recently drawn attention for environmental forecasting because the self-attention mechanism can relate observations that are far apart in time. Cui et al. [17] compared the performance of Transformer and CNN-LSTM-attention architectures for PM_{2.5} prediction, while Shin et al. [21] compared the performance of LSTM and Transformer models in an operational air-quality forecasting system. Graph-based methods have also been used to consider spatial dependencies. Gao and Li [22] put forward a graph-based LSTM model and Teng et al. [18] proposed a hybrid graph deep neural network for longer-horizon PM_{2.5} forecasting. Studies show that model complexity is increasing but also suggest that architecture selection should depend on data volume, spatial coverage, forecasting horizon and operational objectives.

Research on digital twins provides another perspective. The five key elements of a digital twin include sensing, communication, state representation, artificial intelligence, and continuous synchronization (Fuller et al., [5]; Jones et al., [6]). The principles of these are generalized to heterogeneous city systems by urban digital twins that combine environmental observations with infrastructure, mobility, geospatial information and visualization [7]–[10]. The difference with a static digital model and a true digital twin is important here: the latter should change as the physical system changes and should support bidirectional or feedback-oriented information flows. Air quality is an especially suitable application for digital twins because atmospheric conditions are continuously measured by monitoring stations and sensor networks. Ariansyah et al. [11] proposed the concept of a smart-city digital-twin for air-quality management. Later, Naveed et al. [12] coupled time-series forecasting with a predictive urban digital twin, showing that the virtual environment can consist of a forecasting layer and not only a visualization interface. More recently, Nanthasamroeng et al. [13] developed a machine-learning-based digital-twin framework for adaptive urban air quality management. Collectively, these studies indicate a shift from retrospective dashboards to predictive and adaptive environmental twins. Despite these improvements, forecasting skill and operational warning capability are often assessed in isolation. The current study fills this gap by implementing a uniform experimental protocol for four AI architectures and coupling the selected forecast model with a digital-twin state-update and threshold-based warning mechanism.

3. MATERIAL AND METHOD

3.1. Dataset and Preprocessing

The experimental data used in this study were obtained from the air quality monitoring station of Trabzon-Meydan, and covered the period from September 20, 2025 to September 20, 2026. The number of hourly observations is 8,761. The monitored variables were PM_{10} , SO_2 , NO_2 , NO_x and NO . These measurements were represented as a multivariate atmospheric state vector at each sampling instant as given by Equation (1).

$$\mathbf{x}_t = [PM_{10,t}, SO_{2,t}, NO_{2,t}, NO_{x,t}, NO_t]^T \quad (1)$$

The number of missing values varied between 81 and 88 observations depending on the pollutant, which corresponds to about 0.9–1.0% of the series. Short missing intervals were filled by linear interpolation based on time. Unusual observations were not removed automatically because unusually high concentrations may represent real pollution events and are thus relevant to the early-warning objective. The main descriptive characteristics of the dataset are presented in Table 1.

Table 1. Descriptive statistics of the dataset

Variable	Valid observations	Mean	Standard deviation	Median	Minimum	Maximum
PM ₁₀	8673	26.81	21.23	21.20	1.07	221.21
SO ₂	8680	4.03	3.36	3.09	1.04	131.61
NO ₂	8674	41.86	39.07	30.58	0.96	328.58
NO _x	8677	58.30	72.07	36.17	1.43	677.09
NO	8675	16.38	34.35	5.45	0.14	359.47

All concentrations are expressed in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. PM₁₀ had a mean concentration of 26.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and a maximum hourly value of 221.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. NO₂ and NO_x exhibited greater dispersion, with maximum values of 328.58 and 677.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. These ranges indicate that the series contains both normal background conditions and short high-concentration episodes.

3.2. Temporal Forecasting Design

Each forecasting sample consisted of the prior 24 hourly atmospheric states. For architecture comparisons to be a reflection of modeling capability rather than different input information, ANN, LSTM, GRU and Transformer models were given the same look-back window. We produced forecasts for 1-, 6- and 24-h horizons. (2) General forecasting relationship Equation (2)

$$\hat{\mathbf{x}}_{t+h} = f_{\theta}(\mathbf{X}_t) \quad (2)$$

Equation (2) uses the 24-h input sequence to predict the future atmospheric state at horizon h. In addition to point forecasts a 24-h average of PM 10 was also produced for the early-warning assessment. The sequence was divided chronologically into 70% train, 15% validation and 15% test data. The resulting time periods were approximately September 22, 2025–June 3, 2026 for training, June 3–July 28, 2026 for validation, and July 28–September 20, 2026 for independent testing. No random shuffling was used, because this would have allowed information from future observations to influence the development of the model. Continuous variables were standardized using parameters estimated from the training subset only according to eq. (3). This process prevents information leakage in the validation and testing stages, and brings pollutants with different numerical ranges to comparable scales.

$$z_{i,t} = \frac{x_{i,t} - \mu_{i,\text{train}}}{\sigma_{i,\text{train}}} \quad (3)$$

3.3. Prediction Models and Training

We tested four prediction architectures. The ANN was used as a nonlinear baseline and was fed with a flattened representation of the 24-h input window. The sequential 24×5 input matrix was entered directly into the LSTM and GRU models. Recurrent gating mechanisms are well suited to time-dependent environmental data [14]–[16], [20], [24], [26]. The Transformer mapped the sequence to an embedding space, and learned relationships across the observation window using multi-head self-attention [17], [21], [25]. All neural architectures were trained on the same split of temporal data. Adam [27] was optimized with gradient based optimization and the model selection was based on validation performance. The training objective was defined as mean squared error:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

The validation subset was used to control model complexity and stopping behavior. The untouched test period was only utilized after the model development was completed. The quality of the forecasts was assessed by reporting the mean absolute error (MAE), root mean squared error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2). The lower value of MAE and RMSE and the higher value of R^2 indicate better numerical prediction. The metrics were calculated separately for each forecast horizon to directly evaluate the deterioration of predictive capability with increasing lead time.

3.4. Digital Twin and Early-Warning Architecture

In the proposed system, the monitoring station is considered as the physical part and the synchronized multivariate state is considered as the virtual part. We update the digital state when we receive a new hourly measurement. Then the AI model selected estimates a future virtual state. Once the corresponding future physical observation is available, a residual between the physical and forecast states is calculated using equation (5).

$$\mathbf{r}_{t+h} = \mathbf{x}_{t+h}^P - \hat{\mathbf{x}}_{t+h}^{DT} \quad (5)$$

The residual gives an operational measure of the quality of the synchronization and prediction. A series of increasing residuals can identify model degradation or environmental concept drift and can trigger a model review or retraining. Thus the digital twin is not regarded as a static visualization, but as a repeated measurement-prediction-comparison-update cycle. The predicted pollutant concentration was expressed in relation to a configurable environmental threshold for early warning purposes. Pollutant-specific risk ratio was

defined as in equation (6).

$$q_{j,t+h} = \frac{\hat{C}_{j,t+h}}{T_j} \quad (6)$$

A value below 1 indicates a forecast below the selected reference, whereas a value equal to or above 1 represents a predicted threshold exceedance. For PM₁₀, the WHO 24-h guideline value of 45 µg/m³ was used [1]. The principal PM₁₀ warning condition is given in equation (7).

$$\overline{PM}_{10,t}^{24} \geq 45 \quad (7)$$

The threshold layer is intentionally tunable. In real-world deployment, WHO guidelines, national regulatory limits or institution-specific operational thresholds may be used. Warning levels can also be defined before the actual threshold, allowing for precautionary action. We did not emphasize metrics for event-classification such as precision, recall and F1-score for the independent test period, as there were no WHO-level PM10 daily exceedances, so reporting those would be misleading in the absence of positive events.

4. FINDINGS

4.1. Statistical Characteristics and Pollutant Relationships

The annual mean value of PM₁₀ was 26.81 µg/m³ and hourly values were between 1.07 and 221.21 µg/m³. The difference between the average and the maximum values confirms the existence of short high concentration episodes important for warning-oriented modeling. NO₂ and NO_x were even more variable over time, with maximum values of 328.58 and 677.09 µg/m³, respectively. Correlation analysis showed especially strong relationships between nitrogen-related pollutants. Pearson correlation between NO₂ and NO_x was 0.981, between NO_x and NO was 0.976 and between NO₂ and NO was 0.91. PM₁₀ showed a moderate positive correlation with NO₂ and NO_x, around 0.6 for both. This form supports a multivariate input structure, as information on one pollutant can contextualize the future behavior of another.

4.2. Comparison of Forecasting Models

Prediction performance of PM10 on the independent chronological test subset is shown in Table 2. The GRU model achieved the best one-hour ahead performance, with the MAE of 3.47 µg/m³, the RMSE of 4.52 µg/m³, and the R² of 0.582. The LSTM achieved the best R² for the one-hour horizon, while the tested Transformer setting was not better than the recurrent models for the single-station one-year dataset.

Table 2. PM₁₀ forecasting results

Model	Horizon	MAE (µg/m ³)	RMSE (µg/m ³)	
ANN	1 h	3.84	5.67	0.344
ANN	6 h	5.60	7.92	-0.283
ANN	24 h	5.87	7.61	-0.176
LSTM	1 h	4.34	5.51	0.380
LSTM	6 h	4.75	6.06	0.248
LSTM	24 h	5.55	7.07	-0.016
GRU	1 h	3.47	4.52	0.582
GRU	6 h	5.00	6.18	0.219
GRU	24 h	5.49	6.91	0.033
Transformer	1 h	5.14	7.04	-0.010
Transformer	6 h	5.42	7.16	-0.051
Transformer	24 h	5.84	7.32	-0.087

The prediction horizon increased, the accuracy of forecasting decreased. For GRU, R² dropped from 0.582 at 1 h to 0.219 at 6 h and 0.033 at 24 h. This pattern shows that historical pollutant measurements are long enough in the short term to allow for near-term prediction, but they are less and less informative for day-ahead forecast. This decrease is in line with the fact that the present data set does not include meteorological drivers like temperature, humidity, wind, precipitation or atmospheric pressure. With the forecast horizon getting longer, these external factors become more and more important.

In the tested configuration the Transformer yielded negative R² values for all the three PM₁₀ horizons. This should not be taken as a general limitation of Transformer models. Instead, it suggests that the current data set size and feature set did not warrant a more complex attention architecture. Transformers do tend to benefit from longer series, richer covariates, multi-station spatial information, or larger training sets by far. Conversely, the GRU, with its more compact architecture, could leverage short-term sequential dependence more effectively.

4.3. Multi-Pollutant GRU Performance

Because GRU produced the strongest PM₁₀ results, its one-hour forecasting capability was also examined for the other available pollutants. Table 3 summarizes the results.

Table 3. One-hour GRU prediction results

Pollutant	MAE	RMSE	
PM ₁₀	3.47	4.52	0.582
SO ₂	0.53	3.61	-0.005
NO ₂	9.84	12.52	0.517
NO _x	12.63	17.30	0.461
NO	5.16	7.09	-0.162

Useful predictive behavior was obtained for PM 10 , NO 2 and NO x . R 2 for NO 2 was 0.517 and R 2 for NO x was 0.461. The results are consistent with the strong cross-correlations between the nitrogen-related variables and suggest that the recent multi-pollutant history contains useful information for the one-hour prediction. SO2 and NO were more difficult to predict. These series had test period R 2 values close to or below zero, because they contained relatively low baselines with isolated abrupt peaks. Such behavior is difficult to reproduce with lagged pollutant measurements alone, and further highlights the need for additional meteorological or emission-related inputs.

4.4. Threshold and Early-Warning Analysis

The practical warning potential of the framework was examined by aggregating the hourly data into complete daily periods and comparing the resulting concentrations with WHO 24-h guideline values. After excluding partial days at the beginning and end of the dataset, 364 complete days remained.

Table 4. Daily air-quality threshold analysis

Pollutant	WHO 24-h reference	Days exceeding reference	Percentage
PM ₁₀	45 µg/m ³	44 / 364	12.1%
SO ₂	40 µg/m ³	0 / 364	0.0%
NO ₂	25 µg/m ³	300 / 364	82.4%

The PM 10 daily guideline of 45 µg/m³ was exceeded on 44 days out of 364, which is 12.1% of total days. Maximum 24-h moving concentration of PM₁₀ reached 96.89 µg/m³. For the full hourly series, the 24-h moving Average was >45 µg/m³ for 1,040 hourly states, representing some 24 separate episodes of exceedance. These episodes suggest the dataset does contain meaningful high pollution periods, though they are not evenly distributed over the year. The daily NO₂ reference of 25 µg/m³ was exceeded on 300 out of 364 days, whereas the SO₂ 24-h reference of 40 µg/m³ was not exceeded. The contrast suggests that a pollutant-specific warning logic is needed; a common absolute concentration threshold would not capture the very different behavior and

health-based reference levels of different pollutants.

One important temporal limitation was noted in the independent test portion. No 24-h PM₁₀ average greater than 45 µg/m³ was observed from 28 July to 20 September 2026. At the selected WHO threshold no positive PM₁₀ warning event occurred in the test subset. In this case, the overall classification accuracy would be artificially high even for a system that never issued a warning while the recall and F1-score would be undefined or uninformative. The study therefore reports threshold frequency over the whole annual record, and considers event-detection performance in the final test period conservatively. This result has an operational implication for digital twins evaluation: rare-event warning systems should be tested over multiple seasons, preferably multiple years. Longer records would allow high-pollution events to be represented in independent validation periods, and would support reliable estimation of detection probability, false-alarm rate, and warning lead time.

4.5. Digital Twin Interpretation

The numerical results can be interpreted as a predictive layer of a digital twin that is continuously updated. The physical monitoring station sends the virtual representation the current state of the five pollutants each hour. The GRU model then forecasts the near-future state, with the strongest demonstrated ability at the one-hour horizon. Then, the prediction error is calculated and saved when the subsequent physical measurement becomes accessible. This sequence provides the possibility to monitor not only the air quality but also the reliability of the forecasting element itself. The mean absolute one-hour prediction error of the selected GRU model for PM₁₀ was 3.47 µg/m³. For example, the observed PM₁₀ concentration at the last evaluation point was about 10.03 µg/m³, while the GRU forecast was about 14.46 µg/m³. These sequential observation-forecast pairs can be displayed on a digital twin dashboard together with the threshold ratio, and used to generate normal, precautionary or exceedance states.

The architecture is designed to be modular. The present implementation considers one station and five pollutant variables, but the same framework can accommodate more meteorological measurements, traffic indicators, multiple stations or spatial graph structures. Therefore, the present model is a small-scale proof of concept of a larger smart city environmental twin.

5. CONCLUSION

In this study, an intelligent forecasting and early warning system for urban air quality assisted by a Digital Twin was established using 8,761 hourly observations obtained from the Trabzon-Meydan monitoring station for about one year. The analysis was constructed on actual measurements of pollutants, chronological deep-learning

tests, threshold-based warning logic, and a continuously updated interpretation of the virtual state. GRU has the strongest short-term PM_{10} forecast among ANN, LSTM, GRU and Transformer models. It had an MAE of $3.47 \mu g/m^3$, RMSE of $4.52 \mu g/m^3$ and R^2 of 0.582 in one hour horizon. Its performance decreased to a R^2 of 0.219 at 6 h and 0.033 at 24 h, suggesting that the pollutant-only dataset is much more informative for short-term than next-day forecasting. The GRU also provided useful one-hour ahead results for NO_2 and NO_x with R^2 values of 0.517 and 0.461 respectively. The annual threshold analysis revealed that the WHO 24-h PM_{10} guideline was exceeded on 44 of 364 complete days and that the maximum 24-h moving PM_{10} level reached $96.89 \mu g/m^3$. NO_2 revealed a frequent daily exceedance of the selected WHO reference, while no daily exceedance for SO_2 was identified. These results support the fact that a working early warning-layer should be pollutant specific, considering the averaging period tied to each guideline.

The results also show that higher model complexity does not necessarily lead to improved performance. The compact GRU architecture outperformed the tested Transformer configuration for PM_{10} in the available single-station dataset. This result indicates data-driven architecture choice rather than presuming that the latest or most complicated model is always the best suited for a specific monitoring task. The main limitations are the use of one monitoring station, only one year of data and the absence of meteorological, traffic and spatial predictors. Future work should therefore include temperature, humidity, wind speed and direction, atmospheric pressure, precipitation, traffic intensity, and measurements from neighboring stations. Multiyear datasets would also allow more robust validation of rare high-pollution episodes and formal validation of warning sensitivity, false-alarm rates, and lead time.

Overall, the proposed framework shows how a digital twin that incorporates continuous environmental monitoring, recurrent AI forecasting, model error feedback, and threshold-based risk assessment can convert traditional monitoring into a predictive decision-support process. The approach offers a scalable basis for future real-time urban air-quality platforms and proactive smart-city environmental management.

REFERENCES

- [1] WHO, W. (2021). Global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Accessed: 21.09.2026.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- [2] Zhang, Z., Zhang, S., Chen, C., & Yuan, J. (2024). A systematic survey of air quality prediction based on deep learning. *Alexandria Engineering Journal*, 93, 128-141.
- [3] Zhou, S., Wang, W., Zhu, L., Qiao, Q., & Kang, Y. (2024). Deep-learning architecture for PM_{2.5} concentration prediction: A review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 21, 100400.
- [4] Nelson, D., Choi, Y., Payami, M., Singh, D., Dimri, R., Kayastha, S. G., ... & Park, J. (2026). Advances in air quality modeling through artificial intelligence, machine learning, and deep learning: A comprehensive review. *Science of the Total Environment*, 1021, 181593.
- [5] Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE access*, 8, 108952-108971.
- [6] Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP journal of manufacturing science and technology*, 29, 36-52.
- [7] Lehtola, V. V., Koeva, M., Oude Elberink, S., Raposo, P., Virtanen, J. P., Vahdatikhaki, F., & Borsci, S. (2022). Digital twin of a city: Review of technology serving city needs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114, 102915.
- [8] Ferré-Bigorra, J., Casals, M., & Gangolells, M. (2022). The adoption of urban digital twins. *Cities*, 131, 103905.
- [9] Lei, B., Janssen, P., Stoter, J., & Biljecki, F. (2023). Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey. *Automation in Construction*, 147, 104716.
- [10] Wang, H., Chen, X., Jia, F., & Cheng, X. (2023). Digital twin-supported smart city: Status, challenges and future research directions. *Expert Systems with Applications*, 217, 119531.
- [11] Ariansyah, D., Isnan, M., Rahutomo, R., & Pardamean, B. (2023). Digital twin (DT) smart city for air quality management. *Procedia Computer Science*, 227, 524-533.
- [12] Naveed, K., Umer, T., Asghar, A. B., Aslam, M., Ejsmont, K., Metwally, A. S. M., & Thanh, K. N. (2025). Machine learning assisted predictive urban digital twin for intelligent monitoring of air quality index for smart city environment. *Environmental Modelling & Software*, 192, 106559.

- [13] Nanthasamroeng, N., Luesak, P., Pitakaso, R., Khonjun, S., Jirasirilerd, G., & Matitopanum, S. (2026). A machine learning–Powered digital twin framework for adaptive management of urban air quality in Chiang Mai, Northern Thailand. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 163, 112597.
- [14] Eren, B., Aksangür, I., & Erden, C. (2023). Predicting next hour fine particulate matter (PM_{2.5}) in the Istanbul Metropolitan City using deep learning algorithms with time windowing strategy. *Urban Climate*, 48, 101418.
- [15] Zaini, N. A., Ahmed, A. N., Ean, L. W., Chow, M. F., & Malek, M. A. (2023). Forecasting of fine particulate matter based on LSTM and optimization algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 427, 139233.
- [16] Shakya, D., Deshpande, V., Goyal, M. K., & Agarwal, M. (2023). PM_{2.5} air pollution prediction through deep learning using meteorological, vehicular, and emission data: A case study of New Delhi, India. *Journal of Cleaner Production*, 427, 139278.
- [17] Cui, B., Liu, M., Li, S., Jin, Z., Zeng, Y., & Lin, X. (2023). Deep learning methods for atmospheric PM_{2.5} prediction: A comparative study of transformer and CNN-LSTM-attention. *Atmospheric Pollution Research*, 14(9), 101833.
- [18] Teng, M., Li, S., Xing, J., Fan, C., Yang, J., Wang, S., ... & Wang, S. (2023). 72-hour real-time forecasting of ambient PM_{2.5} by hybrid graph deep neural network with aggregated neighborhood spatiotemporal information. *Environment International*, 176, 107971.
- [19] Chen, Y., Huang, L., Xie, X., Liu, Z., & Hu, J. (2024). Improved prediction of hourly PM_{2.5} concentrations with a long short-term memory and spatio-temporal causal convolutional network deep learning model. *Science of The Total Environment*, 912, 168672.
- [20] Ho, C. H., Park, I., Kim, J., & Lee, J. B. (2023). PM_{2.5} forecast in korea using the long short-term memory (LSTM) model. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 59(5), 563-576.
- [21] Shin, K. H., Hong, S. C., Lee, J. B., Lee, Y., Eun, S. H., Choi, D. R., & Sung, J. W. (2025). Evaluation of PM_{2.5} prediction performance of CMAQ and AI models (LSTM and Transformer) in an operational air quality forecasting system. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
- [22] Gao, X., & Li, W. (2021). A graph-based LSTM model for PM_{2.5} forecasting. *Atmospheric Pollution Research*, 12(9), 101150.
- [23] Chen, M. H., Chen, Y. C., Chou, T. Y., & Ning, F. S. (2023). PM_{2.5} concentration prediction model: A CNN–RF ensemble framework. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5),

4077.

- [24] Rawat, W., & Wang, Z. (2017). Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review. *Neural computation*, 29(9), 2352-2449.
- [25] Ramachandran, P., Parmar, N., Vaswani, A., Bello, I., Levskaya, A., & Shlens, J. (2019). Stand-alone self-attention in vision models. *Advances in neural information processing systems*, 32.
- [26] Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulçehre, Ç., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014, October). Learning phrase representations using RNN encoder–decoder for statistical machine translation. In *Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP)* (pp. 1724-1734).
- [27] Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*.
- [28] Iwaszenko, S., Smolinski, A., Grzanka, M., & Skowronek, T. (2024). Airborne particulate matter measurement and prediction with machine learning techniques. *Scientific Reports*, 14(1), 18999.

SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNDE YAPAY ZEKÂ, MOBİL UYGULAMA VE UZAKTAN EĞİTİM KULLANIM DÜZEYİNİN AKADEMİK BAŞARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: ÖN BULGULAR

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan MARAŞ

Selçuk Üniversitesi Kulu Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü,

gokhan.maras@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3450-2490

Özet

Amaç: Yapay zekâ, mobil öğrenme ve uzaktan eğitim, sağlık bilimleri eğitiminde giderek daha fazla yer bulmaktadır. Bu üç yapının akademik başarıyla birlikte ele alındığı çalışmalar sınırlı olup, bu çalışma sağlık bilimleri fakültesi öğrencilerinde yapay zekâ okuryazarlığı, tıbbi yapay zekâ hazır bulunuşluğu, mobil öğrenme araçlarını kabul ve uzaktan eğitim tutumunun akademik başarı ile ilişkisini incelemeyi amaçlamaktadır. **Yöntem:** Kesitsel, korelasyonel desende yürütülen bu çalışmaya Selçuk Üniversitesi Kulu Sağlık Bilimleri Fakültesi'nde öğrenim gören Fizyoterapi ve Rehabilitasyon, Hemşirelik ve Beslenme ve Diyetetik bölümü öğrencileri dahil edilmiştir (hedeflenen N=300; veri toplama devam etmektedir). Bu ön analiz 180 katılımcıya dayanmaktadır. Veriler kişisel bilgi formu, Yapay Zekâ Okuryazarlığı Ölçeği, Tıbbi Yapay Zekâ Hazır Bulunuşluk Ölçeği (MAIRS-MS), Mobil Öğrenme Araçlarını Kabul Ölçeği ve Uzaktan Eğitim Tutum Ölçeği ile toplanmış; tanımlayıcı istatistikler, Pearson korelasyon ve hiyerarşik çoklu regresyon ile analiz edilmiştir. **Bulgular:** Örneklem yaş ortalaması $21,5 \pm 1,6$, genel not ortalaması $2,96 \pm 0,22$ 'dir (%60 kadın). MAIRS-MS, Mobil Öğrenme Araçlarını Kabul Ölçeği ve Uzaktan Eğitim Tutum Ölçeği yüksek iç tutarlılık göstermiştir ($\alpha=,94; ,93; ,95$); Yapay Zekâ Okuryazarlığı Ölçeği'nin iç tutarlılığı ise orta düzeyde bulunmuştur ($\alpha=,62$). Yapay zekâ okuryazarlığı akademik başarı ile pozitif yönde ve anlamlı ilişkilidir ($r=,16; p=,037$). Dört yapı birlikte akademik başarıdaki varyansın %3,5'ini açıklamaktadır. **Sonuç:** Bu ön bulgular, yapay zekâ okuryazarlığının sağlık bilimleri öğrencilerinde akademik başarıyla ilişkili olabileceğine dair bir gösterge sunmaktadır. Veri toplama süreci N=300 hedefine doğru devam etmekte olup, örneklem tamamlandığında bulgular daha kapsamlı biçimde değerlendirilecektir.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ okuryazarlığı, mobil öğrenme, uzaktan eğitim, akademik başarı, sağlık bilimleri öğrencileri

THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MOBILE APPLICATION, AND DISTANCE EDUCATION USAGE LEVELS ON ACADEMIC ACHIEVEMENT IN HEALTH SCIENCES FACULTY STUDENTS: PRELIMINARY FINDINGS

Abstract

Aim: Artificial intelligence, mobile learning, and distance education are increasingly present in health sciences education. Studies examining these three constructs together in relation to academic achievement remain limited. This study examines the relationship between AI literacy, medical AI readiness, mobile learning tool acceptance, and distance education attitude and academic achievement among health sciences faculty students. **Methods:** This cross-sectional, correlational study includes students from the Departments of Physiotherapy and Rehabilitation, Nursing, and Nutrition and Dietetics at Selçuk University Kulu Faculty of Health Sciences (target N=300; data collection ongoing). This preliminary analysis is based on 180 participants. Data were collected using a personal information form, the AI Literacy Scale, the Medical Artificial Intelligence Readiness Scale for Medical Students (MAIRS-MS), the Acceptance of Mobile Learning Tools Scale, and the Distance Education Attitude Scale, and analyzed using descriptive statistics, Pearson correlation, and hierarchical multiple regression. **Results:** The mean age of the sample was 21.5 ± 1.6 years, with a mean grade point average of 2.96 ± 0.22 (60% female). MAIRS-MS, the Acceptance of Mobile Learning Tools Scale, and the Distance Education Attitude Scale showed high internal consistency ($\alpha = .94, .93$, and $.95$, respectively), while the AI Literacy Scale showed moderate internal consistency ($\alpha = .62$). AI literacy was positively and significantly associated with academic achievement ($r = .16, p = .037$). Together, the four constructs accounted for 3.5% of the variance in academic achievement. **Conclusion:** These preliminary findings suggest a possible association between AI literacy and academic achievement among health sciences students. Data collection is continuing toward the target of 300 participants, after which the findings will be evaluated more comprehensively.

Keywords: Artificial intelligence literacy, mobile learning, distance education, academic achievement, health sciences students

PARKİNSON TANILI HASTADA DİYABETİK AYAK TEDAVİSİ; OLGU SUNUMU

Şükrü Salih Toprak¹, Hatice Toprak²

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Tıp Fakültesi Genel Cerrahi Ana Bilim Dalı

ORCID 0000-0002-9695-1841

²Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Tıp Fakültesi Anesteziyoloji ve Reanimasyon Ana Bilim Dalı

ORCID 0000-0001-6890-3474

Özet

Giriş

Diabetes Mellitus(DM) ve Parkinsonlu hastalarda diyabetik ayak yara bakım ve tedavisi klinisyenler için zorluklarla beraberdir. Beslenme gereklilikleri, günlük aktivitelerde sınırlamalar, sıkı kan şekeri düzenlemeleri, ayakkabı seçimi, bilişsel durum dalgalanmaları zorluk yaşanan durumlardan bazılarıdır. Parkinson ve diyabetli hastalarda yara bakımı konusunda literatürde fikir birliği yoktur.

Biz kliniğimizde takip ettiğimiz parkinson tanılı hastamızda gelişen diyabetik ayak yara bakım ve tedavisindeki deneyimimizi paylaşıyoruz.

Olgu

70 yaşında erkek hasta ayağında yara ile başvurdu. Hastamızın 30 yılı aşkın DM ve Parkinson tanıları vardı. Bilateral distal ve simetrik polinöropati mevcuttu. Kabızlık, idrar disfonksiyonu, depresyon ve uyku bozuklukları vardı. Hastamız levodopa, rasajilin, Pramipeksol Hidroklorür Monohidrat, silodosin ve insülin kullanmaktaydı. Laboratuvar değerleri incelendiğinde Hb A1C 2'nin 11, Kreatin değerinin 1,9 olduğu görüldü. Enfeksiyon parametrelerinde artış gözlendi. Hastanın artan kreatin değerleri ve yara bakımı için diyetisyenimiz tarafından bireyselleştirilmiş diyet programı oluşturuldu. Kan şekeri regülasyonu sağlanmaya çalışıldı. İlaçları düzenlendi, uyku bozukluğu ve depresyon için essitalopram başlandı. 2 gün yatarak tedavi sonrası taburcu edildi ve düzenli kontrole gelmesi sağlandı. Süreç içerisinde yara yeri temizlik ve pansumanları yapıldı. İV antibiyotik tedavisi verildi. Hidrasyon sağlandı. 5. Gün sonrasında yara açık bırakılarak günde 2 kez pansumanı yapıldı. Antibiyotik tedavisi oral 10. Güne dek sürdürüldü. Ev içerisinde sınırlı hareket etmesi önerildi. Yaklaşık 2 ay süreç haftalık kontrollerle devam etti sonrasında hasta aylık kontrole alındı. 1. Yıl sonunda yara yeri en iyi durumdaydı.

Tartışma ve Sonuç

Diyabetik ayak tedavisi için sıklıkla "hareketsizlik" önerilirken Parkinsonlu hastalara tedavileri için hareketli olmaları önerilir. Diyabetli hastalarda sıkı kan şekeri kontrolü sağlamak amacı ile uygulanan tedaviler ile yaşanabilecek hipogliseminin Parkinsonlu hastalarda düşme riskini arttırabileceği göz ardı edilmemelidir. Hareketsizlikten kaçınılmalı, wolker gibi yürümeyi kolaylaştıran ve düşme riskini azaltan ekipmanların kullanımı değerlendirilmelidir. Yara iyileşmesinde önemli proteinlerin alımında diyabete bağlı böbrek fonksiyonlarında bozulma dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak Parkinson tanılı hastalarda diyabetik ayak tedavisi multidispliner bir ekip tarafından sıkı kontroller sağlanarak yapılmalıdır.

Anahtar kelimeler: Parkinson, Nöropati, Diabetes Mellitus

PARKİNSON HASTALARINDA KONUŞMA VE SES BOZUKLUKLARININ AKUSTİK ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi, Agit ŞİMŞEK¹, Uzm. Dkt. Burcu SARIGÜZEL

¹İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü, agit.simsek@inonu.edu.tr,
0000-0003-1572-1188

²Özel Sağlık Meslek Hizmet Birimi, sariguzelburcu50@gmail.com, 0009-0007-9713-0010

Özet

Parkinson hastalığı, motor ve non-motor belirtilerle seyreden ilerleyici nörodejeneratif bir hastalıktır. Hastalıkta görülen hipokinetik dizartri; hipofoni, perde ve ses şiddetinde azalma, artikülasyon bozuklukları, konuşma hızında değişiklik ve konuşma anlaşılabilirliğinde azalma gibi çeşitli konuşma ve ses sorunlarına neden olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Parkinson hastalarında konuşma ve ses özelliklerini akustik ve klinik ölçümler aracılığıyla değerlendirmek ve elde edilen bulguların hastalık şiddeti ile ilişkisini incelemektir.

Çalışmaya Parkinson hastalığı tanısı almış 30 birey (15 erkek, 15 kadın) ile yaş ve cinsiyet açısından eşleştirilmiş 30 sağlıklı birey dahil edilmiştir. Parkinson hastaları, Birleşik Parkinson Hastalığı Derecelendirme Ölçeği (UPDRS) skorlarına göre erken ve ileri evre olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Katılımcıların konuşma ve ses özellikleri akustik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde maksimum fonasyon süresi (MPT), S/Z oranı, diyadokokinezi (DDK) hızı, temel frekans (F0), jitter, shimmer ve harmonik-gürültü oranı (HNR) incelenmiştir. Ayrıca artikülasyon doğruluğu ve konuşma anlaşılabilirliği klinik değerlendirmelerle belirlenmiştir.

Parkinson grubundaki bireylerin %70'inde (n=21) konuşma veya ses ile ilişkili yakınma olduğu belirlenmiştir. En sık bildirilen sorunlar konuşma hızında değişiklik, ses kısıklığı, artikülasyon bozukluğu ve kesikli konuşma olarak belirlenmiştir. Parkinson grubunda ortalama MPT süresi (8,8±2,3 saniye), kontrol grubuna (15,2±2,8 saniye) göre anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur (p<0,001). S/Z oranı Parkinson grubunda 1,58 iken kontrol grubunda 1,12 olarak saptanmış ve gruplar arasındaki farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir (p<0,01). Hastalık evreleri karşılaştırıldığında, ileri evre Parkinson hastalarında erken evre hastalara göre kelime bozulmasının daha fazla (p<0,001) ve konuşma anlaşılabilirliğinin daha düşük olduğu bulunmuştur (p=0,004).

Parkinson hastalarında konuşma ve ses bozukluklarının yaygın olduğu ve hastalık şiddetinin artmasıyla birlikte konuşma anlaşılabilirliği ve konuşma motor performansının olumsuz yönde etkilendiği görülmektedir. Akustik analiz, Parkinson hastalarında ses ve konuşma özelliklerinin objektif olarak değerlendirilmesine ve hastalığın seyri ile ilişkili değişimlerin belirlenmesine katkı sağlayabilir. Bu nedenle, konuşma ve ses bozukluklarının erken dönemde değerlendirilmesi, bireye özgü rehabilitasyon programlarının planlanması ve terapötik müdahalelerin etkinliğinin izlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Parkinson hastalığı, hipokinetik dizartri, akustik analiz, ses bozukluğu, konuşma anlaşılabilirliği

ACOUSTIC ANALYSIS OF SPEECH AND VOICE DISORDERS IN PATIENTS WITH PARKINSON'S DISEASE

Abstract

Parkinson's disease is a progressive neurodegenerative disorder characterized by motor and non-motor symptoms. Hypokinetic dysarthria, a common speech disorder associated with Parkinson's disease, may lead to various speech and voice abnormalities, including hypophonia, reduced pitch and vocal intensity, impaired articulation, altered speech rate, and reduced speech intelligibility. This study aimed to evaluate speech and voice characteristics in patients with Parkinson's disease using acoustic and clinical measures and to examine their relationship with disease severity.

The study included 30 individuals diagnosed with Parkinson's disease (15 males and 15 females) and 30 age- and sex-matched healthy individuals. Patients with Parkinson's disease were divided into early- and advanced-stage groups according to their scores on the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS). Speech and voice characteristics were evaluated using acoustic analysis. The assessed parameters included maximum phonation time (MPT), S/Z ratio, diadochokinetic (DDK) rate, fundamental frequency (F0), jitter, shimmer, and harmonic-to-noise ratio (HNR). Articulation accuracy and speech intelligibility were also assessed using clinical measures.

Speech- or voice-related complaints were reported by 70% (n=21) of the participants with Parkinson's disease. The most frequently observed problems included alterations in speech rate, hoarseness, articulation difficulties, and interrupted speech. Mean MPT was significantly shorter in the Parkinson's disease group (8.8 ± 2.3 s) than in the control group (15.2 ± 2.8 s; $p < 0.001$). The S/Z ratio was 1.58 in the Parkinson's disease group and 1.12 in the control group, with a statistically significant difference between the groups ($p < 0.01$). Comparisons according to disease stage revealed significantly greater word degradation in patients with advanced-stage Parkinson's disease than in those with early-stage disease ($p < 0.001$), as well as significantly lower speech intelligibility ($p = 0.004$).

Speech and voice disorders are common in patients with Parkinson's disease, and increasing disease severity appears to be associated with poorer speech intelligibility and speech motor performance. Acoustic analysis may contribute to the objective assessment of speech and voice characteristics in Parkinson's disease and facilitate the identification of changes associated with disease progression. Early assessment of speech and voice disorders is therefore important for planning individualized rehabilitation programs and monitoring the effectiveness of therapeutic interventions.

Keywords: Parkinson's disease, hypokinetic dysarthria, acoustic analysis, voice disorder, speech intelligibility

BRUKSİZM YÖNETİMİNDE OKLÜZAL SPLİNT TEKNOLOJİLERİNDEKİ GELİŞMELER: DİJİTAL VE GELENEKSEL YÖNTEMLERİN KAPSAMLI BİR İNCELEMESİ

Mert Can KITOĞLU¹

¹Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi, m.kitoglu@gmail.com,
ORCID: 0009-0006-8383-9179

Özet

Uyku veya uyanıklık sırasında çiğneme kaslarının ritmik veya tonik aktivitesi olarak tanımlanan bruksizm, diş aşınması, çene ağrısı ve baş ağrısı gibi semptomlara yol açan yaygın bir sorundur. Semptomların yönetiminde oklüzal splintler temel bir koruyucu tedavi yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Bu literatür taraması, aljinat ölçülerle hazırlanan geleneksel splintler ile bilgisayar destekli tasarım (CAD/CAM) veya üç boyutlu (3B) baskı teknolojileri kullanılarak üretilen dijital splintlerin klinik etkinliklerini karşılaştıran mevcut çalışmaları genel bir perspektifle değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışma kapsamında PubMed (400 kayıt), Scopus (533 kayıt) ve Google Akademik (49 kayıt) gibi başlıca veri tabanlarında yer alan bilimsel araştırmalar incelenerek güncel kanıtlar derlenmiştir. Literatürdeki bulgular incelendiğinde, dijital ve geleneksel splintlerin her ikisinin de bruksizm semptomlarını azaltmada etkili olduğu görülmektedir. Ancak, dijital splintlerin uyku kalitesi ve bruksizm atakları üzerinde daha belirgin iyileşmeler sağladığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Literatürden elde edilen istatistiksel verilere göre, sekiz saatlik uyku sırasındaki ortalama bruksizm olay sayısı geleneksel splintlerde $11,4 \pm 3,7$ iken, dijital cihazlarda bu sayı $3,3 \pm 1,4$ 'e kadar gerilemektedir (Etki büyüklüğü/Cohen's d: 2,93). Aynı şekilde bruksizm olay süresi de geleneksel yöntemlerde $14,0 \pm 6,1$ saniye iken, dijital grupta $8,9 \pm 2,7$ saniye olarak kaydedilmiştir. Ek olarak, Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi değerlendirmelerinde dijital splintlerin ($5,60 \pm 0,51$) geleneksel yaklaşımlara ($6,40 \pm 1,07$) kıyasla uyku kalitesine daha olumlu yansıdığı gözlemlenmiştir (Cohen's d: 0,93). Kas aktivitesini yansıtan saat başı patlama (bursts) sayılarında da dijital ($6,3 \pm 0,42$) ve geleneksel ($3,58 \pm 0,32$) yöntemler arasında dikkate değer farklılıklar saptanmıştır (Cohen's d: 7,29).

Sonuç olarak, güncel literatür dijital splintlerin bruksizm semptomlarını hafifletmede geleneksel splintlere kıyasla daha üstün sonuçlar verme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, literatürdeki mevcut çalışmaların genellikle küçük örneklem büyüklüklerine sahip olması, gözlemlenen bu klinik farklılıkların istatistiksel anlamlılığa ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, dijital splintlerin uzun dönem etkinliğini kanıtlamak için daha geniş çaplı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bruksizm, Oklüzal splint, CAD/CAM, Dijital diş hekimliği, 3B baskı

ADVANCEMENTS IN OCCLUSAL SPLINT TECHNOLOGIES FOR BRUXISM MANAGEMENT: A COMPREHENSIVE REVIEW OF DIGITAL AND CONVENTIONAL METHODS

Abstract

Bruxism, defined as the rhythmic or tonic activity of masticatory muscles during sleep or wakefulness, is a common condition leading to symptoms such as tooth wear, jaw pain, and headaches. Occlusal splints stand out as a fundamental conservative treatment method in managing these symptoms. This literature review aims to evaluate current studies comparing the clinical efficacy of traditional splints prepared with alginate impressions and digital splints manufactured using computer-aided design (CAD/CAM) or three-dimensional (3D) printing technologies from a broad perspective.

Within the scope of the study, scientific research indexed in major databases such as PubMed (400 records), Scopus (533 records), and Google Scholar (49 records) was analyzed to compile current evidence. Literature findings indicate that both digital and traditional splints are effective in reducing bruxism symptoms. However, there is evidence that digital splints provide more pronounced improvements in sleep quality and bruxism episodes. According to statistical data from the literature, the mean number of bruxism events during eight hours of sleep decreased from 11.4 ± 3.7 with traditional splints to 3.3 ± 1.4 with digital devices (Effect size/Cohen's d: 2.93). Similarly, the duration of bruxism events was recorded as 14.0 ± 6.1 seconds in traditional methods compared to 8.9 ± 2.7 seconds in the digital group. Additionally, Pittsburgh Sleep Quality Index evaluations observed that digital splints (5.60 ± 0.51) had a more favorable impact on sleep quality compared to traditional approaches (6.40 ± 1.07) (Cohen's d: 0.93). Notable differences were also identified in hourly burst counts reflecting muscle activity between digital (6.3 ± 0.42) and traditional (3.58 ± 0.32) methods (Cohen's d: 7.29).

In conclusion, current literature suggests that digital splints tend to yield superior outcomes in alleviating bruxism symptoms compared to traditional splints. Nevertheless, the small sample sizes typical of existing studies hinder these clinical differences from achieving statistical significance. Therefore, larger-scale studies are required to establish the long-term efficacy of digital splints.

Keywords: Bruxism, Occlusal splint, CAD/CAM, Digital dentistry, 3D printing

ESPORCULARDA YARIŞMA ÖNCESİ FİZİKSEL ISINMANIN BİLİŞSEL VE OYUN PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: FİZYOLOJİK MEKANİZMALAR VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR

Dr. Öğr. Üyesi Eren BOZYILAN¹/ Dr. Öğr. Üyesi Süleyman BİLGİN²

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

2 Adıyaman Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, sbilgin@adiyaman.edu.tr, 0009-0000-7933-2400

Özet

Espor, yüksek düzeyde görsel dikkat, hızlı karar verme, reaksiyon hızı, çalışma belleği, inhibisyon kontrolü ve hassas visuomotor koordinasyon gerektiren rekabetçi bir performans alanıdır. Geleneksel sporlarda yarışma öncesi ısınma, sporcuyu yaklaşan performansın fizyolojik ve nöromusküler gereksinimlerine hazırlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmasına rağmen, esporcularda yarışma öncesi fiziksel ısınmanın performans üzerindeki rolü ancak son yıllarda araştırılmaya başlanmıştır. Bu derlemenin amacı, yarışma veya oyun öncesinde gerçekleştirilen akut fiziksel egzersizin esporcularda bilişsel ve oyun performansı üzerindeki etkilerini incelemek, olası fizyolojik mekanizmaları açıklamak ve mevcut kanıtlar doğrultusunda uygulanabilir ısınma yaklaşımlarını tartışmaktır. Mevcut deneysel çalışmalar; kısa süreli yüksek şiddetli aralıklı egzersizin, orta şiddetli aerobik egzersizin ve kısa süreli aktif hareket aralarının reaksiyon zamanı, görsel bellek, yürütücü işlev, nişan alma doğruluğu ve bazı oyun içi performans göstergelerinde iyileşmeler sağlayabildiğini göstermektedir. Özellikle akut aerobik egzersiz sonrası oluşan merkezi uyarılma, katekolaminerjik aktivite, serebral kan akımındaki değişiklikler, prefrontal korteks aktivasyonu ve beyin kaynaklı nörotrofik faktör yanıtı bu etkilerin olası mekanizmaları arasında gösterilmektedir. Bununla birlikte, egzersiz şiddetinin aşırı yükselmesi veya oyun ile egzersiz arasındaki toparlanma süresinin yetersiz olması geçici yorgunluk oluşturarak performans kazanımlarını sınırlandırabilir. Güncel kanıtlar, yarışma öncesinde kontrollü biçimde gerçekleştirilen kısa süreli fiziksel aktivitenin espor performansını destekleyen potansiyel bir hazırlık yöntemi olduğunu göstermektedir. Ancak optimum egzersiz türü, şiddeti, süresi ve egzersiz–yarışma aralığının kesin olarak belirlenebilmesi için farklı oyun türleri ve elit esporcu örneklemeleri üzerinde daha fazla kontrollü çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Espor, fiziksel ısınma, akut egzersiz, bilişsel performans, reaksiyon zamanı, oyun performansı.

THE EFFECTS OF PRE-COMPETITION PHYSICAL WARM-UP ON COGNITIVE AND GAMING PERFORMANCE IN ESPORTS ATHLETES: PHYSIOLOGICAL MECHANISMS AND APPLIED APPROACHES

Abstract

Esports is a competitive performance domain requiring high levels of visual attention, rapid decision-making, reaction speed, working memory, inhibitory control, and precise visuomotor coordination. Although pre-competition warm-up is widely used in traditional sports to prepare athletes for the physiological and neuromuscular demands of subsequent performance, the role of physical warm-up before esports competition has only recently received scientific attention. This review aimed to examine the effects of acute physical exercise performed before competition or gaming on cognitive and gaming performance in esports athletes, explain the potential physiological mechanisms, and discuss practical warm-up approaches based on current evidence. Experimental studies indicate that short bouts of high-intensity interval exercise, moderate-intensity aerobic exercise, and brief active movement breaks may improve reaction time, visual memory, executive functions, aiming accuracy, and selected in-game performance outcomes. Exercise-induced changes in central arousal, catecholaminergic activity, cerebral blood flow, prefrontal cortical activation, and brain-derived neurotrophic factor responses are among the potential mechanisms underlying these effects. However, excessively high exercise intensity or insufficient recovery between exercise and gaming may induce transient fatigue and potentially attenuate performance benefits. Current evidence suggests that appropriately prescribed short-duration physical activity before competition may represent a promising preparation strategy for esports athletes. Nevertheless, further controlled studies involving elite esports athletes and different game genres are needed to determine the optimal exercise modality, intensity, duration, and exercise-to-competition recovery interval.

Keywords: Esports, physical warm-up, acute exercise, cognitive performance, reaction time, gaming performance.

1. GİRİŞ

Elektronik sporlar (espor), oyuncuların bireysel veya takım hâlinde, belirli kurallar ve rekabet ortamı içerisinde dijital oyunlarda performans gösterdiği organize bir rekabet alanıdır. Esportun geleneksel video oyunlarından temel farkı, rekabetçi yapısının yanı sıra sistematik antrenman, performans değerlendirmesi ve profesyonel organizasyon süreçlerini içermesidir (Tang et al., 2023). Esporda üst düzey performans büyük kas grupları tarafından üretilen mekanik güçten ziyade hızlı algısal işleme, görsel dikkat, çalışma belleği, inhibisyon kontrolü, karar verme, reaksiyon hızı ve hassas el-göz koordinasyonuna dayanmaktadır. Özellikle birinci şahıs nişancı (first-person shooter; FPS), çok oyunculu çevrimiçi savaş arenası (multiplayer online battle arena; MOBA) ve gerçek zamanlı strateji oyunlarında milisaniyeler düzeyindeki karar farklılıkları rekabet sonucunu etkileyebilmektedir.

Uzun süreli oyun ve antrenman oturumları nedeniyle esporcuların günlük yaşamlarının önemli bir bölümünü oturarak geçirebildiği ve fiziksel aktivite düzeylerinin performans ve sağlık açısından önemli bir değişken olduğu bildirilmektedir (Trotter et al., 2020; Giakoni-Ramírez et al., 2022). Bununla birlikte, fiziksel egzersizin espor açısından yalnızca uzun dönemli sağlık yararları üzerinden değerlendirilmesi yetersiz olabilir. Son yıllarda fiziksel egzersizin doğrudan bilişsel ve oyun performansını destekleyebileceğine ilişkin deneysel kanıtların ortaya çıkması, fiziksel hazırlığın espor antrenmanındaki rolünü yeniden gündeme getirmiştir (McNulty et al., 2023; Wachholz et al., 2026).

Geleneksel spor biliminde ısınma, sonraki sportif göreve hazırlık amacıyla uygulanan fiziksel ve zihinsel aktiviteler bütünü olarak değerlendirilmektedir. Aktif ısınmanın vücut sıcaklığını artırdığı, kas metabolizmasını hızlandırdığı, sinir iletimini ve motor ünite aktivasyonunu etkileyebildiği ve sporcunun yaklaşan göreve psikofizyolojik olarak hazırlanmasına katkı sağlayabildiği bilinmektedir (Bishop, 2003a, 2003b). Esporda ise temel performans çıktıları farklı olmakla birlikte aynı yaklaşımın merkezi sinir sistemi açısından geçerli olabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda yarışma öncesi fiziksel aktivitenin amacı kas kuvveti veya sprint performansını artırmaktan ziyade, esporcunun merkezi uyarılmışlık düzeyini optimize etmek ve yüksek hızda bilgi işleme gerektiren bilişsel süreçleri yarışmaya hazırlamak olabilir.

Akut egzersiz ile bilişsel performans arasındaki ilişkiyi inceleyen geniş kapsamlı meta-analizler, tek bir egzersiz seansının bilişsel performans üzerinde genel olarak küçük fakat pozitif bir etki oluşturduğunu ve etkinin egzersiz şiddeti, süresi, değerlendirme zamanı ve bilişsel görevin niteliğine göre değişebildiğini göstermektedir (Chang et al., 2012). Espor özelinde yapılan daha güncel deneysel çalışmalar ise egzersiz sonrasında reaksiyon

zamanı, doğruluk, görsel bellek, yürütücü işlev ve oyun içi performans göstergelerinde iyileşmeler meydana gelebileceğini ortaya koymaktadır (de Las Heras et al., 2020; DiFrancisco-Donoghue et al., 2021; Zhang et al., 2023; Dos Santos et al., 2024; Mancı et al., 2024).

2026 yılında yayımlanan güncel bir sistematik derlemede akut ve kronik egzersizin espor performansı üzerindeki etkilerini değerlendiren 12 deneysel çalışma incelenmiş ve özellikle akut egzersiz uygulamalarının yürütücü işlev, reaksiyon zamanı, visuomotor kontrol, doğruluk ve doğrudan oyun performansında olumlu sonuçlar ortaya koyduğu bildirilmiştir (Wachholz et al., 2026). Aynı yıl yayımlanan bir sistematik derleme ve meta-analizde ise 10 randomize kontrollü çalışmanın sonuçları birleştirilmiş; egzersiz müdahalelerinin bilişsel işleme hızı, operasyonel doğruluk ve yürütücü işlev/bellek üzerinde olumlu etkiler gösterdiği belirtilmiştir (Sun et al., 2026).

Bu doğrultuda bu derlemenin amacı, esporcularda yarışma öncesi fiziksel ısınmanın bilişsel ve oyun performansı üzerindeki etkilerini güncel literatür doğrultusunda incelemek, potansiyel fizyolojik ve nörobilişsel mekanizmaları açıklamak ve antrenman bilimi perspektifinden uygulanabilir çıkarımlar ortaya koymaktır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, esporcularda yarışma öncesi fiziksel ısınmanın bilişsel ve oyun performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla hazırlanmış anlatı derlemesi niteliğindedir. Literatür taramasında PubMed, Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanlarından yararlanılmıştır. Tarama sürecinde “esports”, “esports athletes”, “gaming performance”, “physical warm-up”, “pre-competition exercise”, “acute exercise”, “cognitive performance”, “reaction time”, “executive function”, “visual memory”, “visuomotor performance” ve “gaming accuracy” anahtar kelimeleri farklı kombinasyonlarla kullanılmıştır.

Literatür seçiminde öncelikle esporcular veya rekabetçi video oyunu oyuncuları üzerinde gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalar dikkate alınmıştır. Yarışma veya oyun öncesinde uygulanan akut fiziksel egzersizlerin reaksiyon zamanı, dikkat, yürütücü işlev, görsel bellek, doğruluk, nişan alma performansı veya doğrudan oyun performansı üzerindeki etkilerini değerlendiren çalışmalar derlemeye dahil edilmiştir. Bunun yanı sıra, esporcular üzerinde doğrudan fizyolojik mekanizmaları inceleyen çalışma sayısının sınırlı olması nedeniyle akut egzersiz, bilişsel performans ve nörofizyolojik yanıtlar arasındaki ilişkiyi açıklayan sistematik derleme, meta-analiz ve temel egzersiz fizyolojisi araştırmalarından da yararlanılmıştır.

Kaynak seçiminde hakemli bilimsel dergilerde yayımlanmış, tam metnine veya doğrulanabilir bibliyografik bilgilerine ulaşılabilen çalışmalar tercih edilmiştir. Özellikle randomize kontrollü çalışmalar, çapraz tasarımlı

deneysel arařtırmalar, sistematik derlemeler ve meta-analizlere öncelik verilmiřtir. Doğrudan esporcu örneklemlerinden elde edilen bulgular ile genel saėlıklı bireylerde gerekleřtirilen egzersiz fizyolojisi alıřmalarından elde edilen mekanistik bulgular ayrı olarak deėerlendirilmiřtir. Bu yaklařım sayesinde, espor performansına iliřkin doğrudan kanıtlar ile olası fizyolojik aıklamalar birbirine karıřtırılmadan yorumlanmıřtır. Elde edilen alıřmalar; egzersiz türü, egzersiz řiddeti, egzersiz süresi, egzersiz ile oyun arasındaki zaman aralıėı, deėerlendirilen biliřsel veya oyun performansı deėiřkenleri ve temel arařtırma bulguları aısından incelenmiřtir. Bulgular daha sonra yarıřma öncesi fiziksel ısınmanın doğrudan oyun performansına etkileri, biliřsel performansa etkileri, olası fizyolojik mekanizmaları ve uygulamalı antrenman önerileri bařlıkları altında sentezlenmiřtir.

3.BULGULAR

3.1. Esporda Performansın Biliřsel ve Fizyolojik Gereksinimleri

Espor performansı farklı oyun türlerine göre deėiřen biliřsel gereksinimler içermekle birlikte reaksiyon hızı, seici ve sürdürülebilir dikkat, alıřma belleėi, inhibisyon, görsel tarama, uzamsal iřleme ve karar verme temel bileřenler arasında yer almaktadır. Aksiyon video oyunlarına iliřkin meta-analitik bulgular, deneyimli oyuncuların eřitli algısal, dikkat ve biliřsel görevlerde farklı performans profilleri gösterebildiėini ortaya koymaktadır (Bediou et al., 2018). Bununla birlikte, üst düzey bir espor müsabakasında bu özelliklerin yalnızca varlıėı deėil, uzun süre boyunca korunması önemlidir.

FPS oyunlarında oyuncuların ekranda hızla ortaya ıkan hedefleri algılamaları, doğru hedefi semeleri ve düşük reaksiyon süresiyle hassas motor yanıt oluřturmaları gerekmektedir. MOBA türünde ise bunlara ek olarak alıřma belleėi, stratejik planlama, eř zamanlı bilgi takibi ve takım arkadaşlarıyla koordineli karar verme ön plana ıkmaktadır. Bu nedenle küçük düzeydeki bir reaksiyon zamanı veya iřleme hızı deėiřiminin bile yüksek beceri düzeylerinde anlamlı performans sonuçları doğurabileceėi düşünülebilir.

Espor aynı zamanda tamamen “fizyolojik yükten baėımsız” bir aktivite deėildir. Rekabet stresi, dikkat gereksinimi ve uzun süreli biliřsel yük; kardiyovasküler, otonom ve nöroendokrin yanıtlarla birlikte gerekleşmektedir. Bu nedenle espor performansını yalnızca mouse veya klavye kullanım becerisi üzerinden aıklamak yerine oyuncunun merkezi ve periferik fizyolojik durumu ile birlikte deėerlendirmek gerekmektedir.

3.2. Yarışma Öncesi Fiziksel Isınmanın Espor Performansına Etkileri

3.2.1. Doğrudan oyun performansı

Espor alanındaki en dikkat çekici çalışmalarından biri de Las Heras ve arkadaşları (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmada 20 genç oyuncu, League of Legends için hazırlanmış özel bir görevden önce kısa süreli yüksek şiddetli interval egzersiz veya dinlenme koşuluna alınmıştır. Fiziksel egzersiz sonrasında oyuncuların hedef eleme sayısı dinlenme koşuluna göre anlamlı biçimde artmış, ayrıca hedeflerin tek saldırıyla elimine edilmesini temel alan doğruluk performansında iyileşme görülmüştür. Araştırmacılar kısa süreli kardiyovasküler egzersizin doğrudan video oyunu performansına aktarılabilceği sonucuna ulaşmıştır.

Bu sonuçlar fiziksel egzersizin yalnızca laboratuvar ortamındaki bilişsel testleri değil, oyuna özgü performans göstergelerini de etkileyebileceğini göstermesi açısından önemlidir. Özellikle egzersizden yaklaşık 20 dakika sonra performans değerlendirmesinin gerçekleştirilmiş olması, fiziksel aktivitenin müsabaka öncesi hazırlık rutini içerisinde uygulanabilirliğini desteklemektedir.

Dos Santos ve arkadaşları (2024) ise deneyimli Counter-Strike: Global Offensive oyuncularında fiziksel ve bilişsel ısınma yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışmaya en az 3000 saat FPS deneyimine sahip 20 oyuncu katılmıştır. Orta şiddetli kardiyovasküler egzersiz sonrasında oyuncuların hazırlanan CS:GO görevini tamamlamak için kullandıkları süre anlamlı biçimde azalırken, doğruluk korunmuştur. Buna karşılık yalnızca bilişsel ısınmanın veya fiziksel ve bilişsel ısınmanın farklı sıralamalarda birleştirilmesinin benzer düzeyde yarar sağlamadığı bildirilmiştir. Bu çalışma, fiziksel ısınmanın profesyonel oyun ortamlarında yaygın olarak kullanılan yalnızca mouse/aim antrenmanına dayalı bilişsel ısınmadan farklı ve potansiyel olarak tamamlayıcı bir hazırlık stratejisi olabileceğini düşündürmektedir.

Gaige ve arkadaşları (2024), turnuva öncesi bisiklet egzersizinin Rocket League performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bulgular egzersizin hemen sonrasında ortaya çıkabilecek yorgunluk ile daha sonraki performans kazanımlarının birbirinden ayrılması gerektiğini göstermiştir. Güncel sistematik değerlendirmede bu çalışmada egzersiz sonrası başlangıçta yorgunluk artmasına karşın turnuvanın ilerleyen döneminde gol üretim oranında iyileşmeler görüldüğü belirtilmektedir (Wachholz et al., 2026). Bu sonuç, espor için yarışma öncesi egzersiz reçetesinde yalnızca egzersizin türü ve şiddetinin değil, egzersiz ile yarışmanın başlangıcı arasındaki zamanın da kritik olabileceğini göstermektedir.

Rightmire ve arkadaşlarının (2024) Super Smash Bros. Ultimate oyuncularında gerçekleştirdiği çalışma da akut yüksek şiddetli interval egzersizin espor performansı üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğine ilişkin kanıt

sağlamıştır. Ancak bu tür yüksek şiddetli protokollerin etkisi tüm oyuncularda ve tüm oyun türlerinde aynı olmayabilir. Dolayısıyla yüksek şiddetli egzersizi doğrudan standart bir yarışma öncesi protokol olarak önermek için mevcut kanıtların henüz sınırlı olduğu dikkate alınmalıdır.

3.2.2. Reaksiyon zamanı, dikkat ve bilişsel performans

Espor performansında reaksiyon zamanı özellikle FPS ve hızlı tempolu rekabetçi oyunlarda temel performans bileşenlerinden biridir. Zhang ve arkadaşları (2023) tarafından gerçekleştirilen randomize kontrollü çapraz çalışmada 34 esporcuya maksimum kalp hızının yaklaşık %64–76'sında 30 dakikalık bisiklet egzersizi uygulanmıştır. Egzersiz sonrasında reaksiyon zamanı, hız-doğruluk performansı ve görsel bellekte anlamlı iyileşmeler görülmüş; bazı olumlu etkilerin egzersizden 30 dakika sonra da devam ettiği belirlenmiştir.

Bu bulgunun yarışma öncesi hazırlık açısından iki önemli sonucu bulunmaktadır. Birincisi, orta şiddette fiziksel egzersiz esportcuların temel bilişsel performans göstergelerini akut olarak destekleyebilir. İkincisi, olumlu etkinin egzersiz bittikten hemen sonra ortadan kalkmaması, fiziksel aktivite ile yarışma arasında bir toparlanma ve hazırlık süresine izin verebilir.

DiFrancisco-Donoghue ve arkadaşları (2021) ise uzun süreli oturma davranışını kısa bir yürüyüşle kesintiye uğratmanın esportculardaki yürütücü işlev üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Altı dakikalık yürüyüş arası, pasif dinlenme ve kesintisiz oyun koşullarına kıyasla yürütücü işlevde olumlu sonuçlar oluşturmuştur (DiFrancisco-Donoghue et al., 2021). Bu bulgu, yararlı bir bilişsel etkinin oluşması için yarışma öncesinde mutlaka uzun veya çok yüksek şiddetli bir egzersiz seansına ihtiyaç olmayabileceğini düşündürmektedir.

Mancı ve arkadaşları (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise kısa süreli sprint egzersizinin esportcular ve yaş eşleştirilmiş kontrollerde bilişsel performans, oyun performansı ve kortikal hemodinamik yanıtlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Akut sprint egzersizinin bazı bilişsel ve oyun performansı göstergelerini olumlu etkileyebildiği; etkinin değerlendirme zamanına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Özellikle bazı doğruluk kazanımlarının egzersizin hemen ardından değil, yaklaşık 30 dakikalık süreç içerisinde ortaya çıkması, fiziksel ısınmanın zamanlamasının önemini desteklemektedir.

3.3. Olası Fizyolojik ve Nörobilişsel Mekanizmalar

3.3.1. Merkezi uyarılmışlık ve katekolamin yanıtı

Akut egzersiz sırasında sempatik sinir sistemi aktivitesindeki artış; noradrenalin ve dopamin başta olmak üzere çeşitli nörokimyasal sistemleri etkileyebilir. Katekolaminlerin dikkat, çalışma belleği ve yürütücü işlevlerle ilişkili prefrontal kortikal süreçlerin düzenlenmesinde önemli rol oynadığı bilinmektedir.

McMorris (2021), akut egzersiz–biliş ilişkisini açıklayan modelinde orta düzeydeki egzersiz sırasında artan katekolaminerjik aktivitenin görevle ilişkili sinyallerin işlenmesini kolaylaştırabileceğini, ancak çok yüksek egzersiz şiddetlerinde fizyolojik yükün bilişsel avantajı azaltabileceğini belirtmektedir. Bu mekanizma espor açısından önemlidir; çünkü optimal performans için oyuncunun ne düşük uyarılmışlık ne de aşırı fizyolojik stres altında olması istenir.

Dolayısıyla yarışma öncesi fiziksel egzersizin temel amacı maksimum fizyolojik yük oluşturmak değil, bilişsel performansı destekleyebilecek optimal uyarılmışlık düzeyine ulaşmak olmalıdır.

3.3.2. Prefrontal korteks aktivasyonu

Yürütücü işlevlerin önemli bir bölümü prefrontal korteksle ilişkilidir. Yanagisawa ve arkadaşları (2010), akut orta şiddetli egzersiz sonrasında Stroop görevi performansının geliştiğini ve bu gelişmenin dorsolateral prefrontal korteks aktivasyonundaki artışlarla ilişkili olduğunu göstermiştir.

Bu mekanizma doğrudan esporcu örnekleminde elde edilmemiş olmakla birlikte, espor oyunlarının inhibisyon, hızlı karar verme, görev değiştirme ve dikkat kontrolü gerektiren yapısı düşünüldüğünde potansiyel bir açıklama sunmaktadır. Burada önemli olan, genel egzersiz fizyolojisinden elde edilen bulguların esporcularda doğrudan kanıtlanmış mekanizmalar olarak değil, mevcut performans kazanımlarını açıklayabilecek olası mekanizmalar olarak değerlendirilmesidir.

3.3.3. Serebral dolaşım ve kortikal hemodinamikler

Akut egzersiz sırasında kardiyak debi ve serebral dolaşımda meydana gelen değişiklikler beyin dokusuna oksijen ve substrat sunumunu etkileyebilir. Orta şiddetteki egzersiz sırasında serebral perfüzyondaki uygun artışın nöronal işleme için elverişli bir fizyolojik ortam oluşturabileceği düşünülmektedir.

Bununla birlikte egzersiz şiddetinin çok yükselmesiyle hiperventilasyon ve arterial CO₂ düzeyindeki düşüş serebral kan akımını azaltabilir. Bu nedenle akut yüksek şiddetli egzersizin bilişsel performans üzerindeki etkileri orta şiddetli egzersize kıyasla daha değişken olabilmektedir (Sudo et al., 2022).

Mancı ve arkadaşlarının (2024) esporcular üzerinde kortikal hemodinamikleri doğrudan değerlendirmesi, bu mekanizmanın espor literatüründe deneysel olarak incelenmeye başlandığını göstermesi açısından önemlidir.

3.3.4. Beyin kaynaklı nörotrofik faktör

Beyin kaynaklı nörotrofik faktör (brain-derived neurotrophic factor; BDNF), sinaptik plastisite, öğrenme ve bellek süreçlerinde önemli rol oynayan nörotrofik bir proteindir. Szuhany ve arkadaşlarının (2015) 29 çalışmayı

ve 1111 katılımcıyı içeren meta-analizinde tek bir egzersiz seansının periferik BDNF düzeylerini artırdığı ve düzenli egzersiz geçmişinin bu akut yanıtı güçlendirebildiği gösterilmiştir.

Ancak mevcut espor çalışmalarında BDNF'nin yarışma öncesi fiziksel ısınmanın oyun performansına aracılık ettiğini doğrudan gösteren yeterli kanıt bulunmamaktadır. Bu nedenle BDNF, esporcular açısından doğrulanmış bir performans mekanizması olarak değil, akut egzersizin bilişsel etkilerine katkıda bulunabilecek potansiyel nörofizyolojik mekanizmalardan biri olarak değerlendirilmelidir.

3.4. Egzersiz Şiddeti, Süresi ve Zamanlaması

Akut egzersizin bilişsel performans üzerindeki etkisi doğrusal değildir. Chang ve arkadaşlarının (2012) 79 çalışmayı içeren meta-analizinde tek seanslık egzersizin bilişsel performans üzerinde genel olarak küçük fakat anlamlı pozitif etkisi bulunduğu; egzersiz süresi, şiddeti, bilişsel görevin türü ve katılımcıların fiziksel uygunluk düzeyinin etkinin büyüklüğünü değiştirdiği gösterilmiştir.

Espor çalışmalarında kullanılan protokoller önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Altı dakikalık yürüyüşten 30 dakikalık orta şiddetli bisiklet egzersizine ve çok kısa süreli maksimal sprint protokollerine kadar farklı yaklaşımlarla olumlu etkiler bildirilmiştir. Bu heterojenlik tek bir “ideal espor ısınması” tanımlamayı güçleştirmektedir.

Bununla birlikte mevcut veriler birkaç ortak noktaya işaret etmektedir.

İlk olarak, orta şiddetli aerobik egzersiz en uygulanabilir seçeneklerden biri görünmektedir. Zhang ve arkadaşlarının (2023) kullandığı maksimum kalp hızının yaklaşık %64–76'sı aralığındaki yüklenme, reaksiyon zamanı ve görsel bellekte belirgin kazanımlarla ilişkilidir. Dos Santos ve arkadaşları (2024) da yaklaşık %65–75 HRmax düzeyinde gerçekleştirilen aerobik egzersiz sonrasında FPS performansında gelişme bildirmiştir.

İkinci olarak, çok yüksek şiddetli egzersiz yararlı olabilmekle birlikte toparlanma süresi daha kritik olabilir. Gaige ve arkadaşlarının bulgularında egzersiz sonrası başlangıç yorgunluğunun bulunması bu noktayı desteklemektedir.

Üçüncü olarak, egzersizin etkisinin hemen kaybolmadığına ilişkin kanıt bulunmaktadır. Zhang ve arkadaşlarında bazı kazanımlar 30 dakika sonra korunurken, de Las Heras ve arkadaşlarında HIIT ile oyun performansı arasında yaklaşık 20 dakikalık bir ara bulunmuştur. Mancı ve arkadaşlarının bulgularında da performans yanıtlarının değerlendirme zamanına göre değiştiği görülmüştür. Güncel sistematik derleme, 30 dakikaya kadar olan toparlanma aralıklarının olumlu etkileri ortadan kaldırmadığını belirtmektedir (Wachholz et al., 2026).

Bu nedenle egzersizin müsabakanın başlamasından saniyeler önce tamamlanması gerekli görünmemektedir.

3.5. Espor İçin Uygulamalı Yarışma Öncesi Isınma Yaklaşımı

Mevcut araştırmalar henüz kesin ve standardize edilmiş bir “espor ısınma protokolü” oluşturmak için yeterli değildir. Bununla birlikte mevcut deneysel bulgular temelinde bazı uygulama ilkeleri ortaya konulabilir.

Yarışma öncesi fiziksel hazırlığın temel amacı fiziksel yorgunluk oluşturmak değil, dolaşımı ve merkezi uyarılmışlığı artırırken bilişsel-motor performansı korumak olmalıdır. Bu açıdan düşük-orta şiddette başlayan ve orta şiddete ilerleyen kısa süreli aerobik aktivite uygun bir seçenek olabilir.

Mevcut kanıtlardan hareketle pratik bir çerçeve şu şekilde düşünülebilir:

- Genel aktivasyon: Yaklaşık 3–5 dakika düşük şiddetli yürüyüş, bisiklet veya benzeri ritmik aktivite.
- Ana aerobik bölüm: Yaklaşık 8–15 dakika orta şiddetli aerobik yüklenme. Kalp hızı üzerinden takip yapılması durumunda yaklaşık %60–75 HRmax aralığı düşünülebilir.
- Mobilite ve aktif hareketler: Özellikle boyun, omuz kuşağı, torakal bölge, el bileği ve parmaklara yönelik kısa dinamik hareketler.
- Toparlanma geçişi: Fiziksel aktivite sonrasında oyuncunun kalp hızı ve algılanan eforunun azalmasına olanak sağlayacak kısa bir geçiş süresi.

-Oyuna özgü aktivasyon: Son aşamada kısa süreli aim, reaksiyon veya oyun içi teknik hazırlık yapılabilir. Bununla birlikte bu şema kanıtlanmış standart bir protokol olarak değerlendirilmemelidir. Mevcut çalışmalar farklı egzersiz protokolleri kullandığından bu yaklaşım, literatürdeki ortak bulgulardan üretilmiş uygulamalı bir çerçevedir.

Özellikle yüksek şiddetli interval veya sprint egzersizleri kullanılacaksa, yarışmanın hemen ardından başlatılması yerine yeterli toparlanma süresinin bırakılması daha uygun olabilir. Ayrıca oyuncunun fiziksel uygunluk düzeyi, egzersiz alışkanlığı, oyun türü ve bireysel egzersiz yanıtları dikkate alınmalıdır.

4. TARTIŞMA

Bu derlemede incelenen çalışmalar, yarışma veya oyun öncesinde gerçekleştirilen akut fiziksel egzersizin esporcularda bazı bilişsel ve oyun performansı göstergelerini olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Özellikle reaksiyon zamanı, yürütücü işlev, görsel bellek, hız-doğruluk dengesi, hedef eliminasyonu ve oyun içi görev performansı açısından bildirilen gelişmeler, fiziksel ısınmanın espor performans hazırlığında işlevsel bir araç olabileceğini düşündürmektedir (de Las Heras et al., 2020; DiFrancisco-Donoghue et al., 2021; Zhang et al., 2023; Dos Santos et al., 2024).

de Las Heras ve arkadaşlarının (2020) bulguları, kısa süreli yüksek şiddetli interval egzersizin League of Legends temelli performans görevlerinde hedef eliminasyonu ve doğruluğu geliştirebildiğini göstermiştir. Bu sonuç, fiziksel egzersiz sonrasında oluşan fizyolojik aktivasyonun yalnızca standart bilişsel testlerde değil, doğrudan oyun performansında da karşılık bulabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Benzer şekilde Dos Santos ve arkadaşları (2024), deneyimli FPS oyuncularında orta şiddetli kardiyovasküler egzersiz sonrasında oyun görevini tamamlama süresinin azaldığını ve doğruluğun korunduğunu bildirmiştir. Bu bulgu, espor performansında kritik olan hız-doğruluk dengesinin fiziksel ısınmadan olumlu etkilenebileceğine işaret etmektedir.

Akut egzersizin bilişsel performansa etkileri de mevcut bulguları desteklemektedir. Zhang ve arkadaşları (2023), orta şiddetli aerobik egzersiz sonrasında reaksiyon zamanı, görsel bellek ve hız-doğruluk performansında gelişme bildirmiştir. Bu sonuçlar, geleneksel egzersiz-biliş literatürüyle de uyumludur. Chang ve arkadaşlarının (2012) meta-analizinde tek seanslık fiziksel egzersizin bilişsel performans üzerinde genel olarak olumlu, ancak şiddet, süre ve ölçüm zamanına bağlı değişken bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle esporcularda fiziksel ısınmanın performans üzerindeki etkisinin yalnızca egzersiz yapıp yapılmamasına değil, egzersizin nasıl yapılandırıldığına bağlı olduğu söylenebilir.

Egzersiz şiddeti açısından mevcut bulgular özellikle orta şiddetli aerobik egzersizi dikkat çekici hale getirmektedir. Zhang ve arkadaşlarının (2023) yaklaşık %64–76 HRmax aralığında uyguladığı protokol ile Dos Santos ve arkadaşlarının (2024) orta şiddetli kardiyovasküler egzersiz uygulaması, yüksek düzeyde metabolik yorgunluk oluşturmada bilişsel ve oyun performansını destekleyebilecek bir yüklenme aralığının var olabileceğini göstermektedir. Bu durum, yarışma öncesi ısınmada temel amacın maksimal fizyolojik stres oluşturmak değil, merkezi uyarılmışlığı ve bilişsel hazır oluşu optimum düzeye çıkarmak olması gerektiğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte yüksek şiddetli egzersizlerin de performans üzerinde olumlu etkiler oluşturabildiği görülmektedir. de Las Heras ve arkadaşları (2020) ile Rightmire ve arkadaşlarının (2024) çalışmalarında yüksek şiddetli interval egzersiz sonrasında olumlu performans sonuçları elde edilmiştir. Ancak Gaige ve arkadaşlarının (2024) bulguları, yüksek şiddetli egzersiz sonrasında başlangıçta yorgunluk oluşabileceğini ve performans artışının egzersizi takip eden daha sonraki dönemde ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Bu durum, yüksek şiddetli egzersizlerin yarışma öncesinde kullanılmasında egzersiz ile müsabaka arasında yeterli toparlanma süresi bırakılmasının önemli olabileceğini göstermektedir.

Egzersiz ile oyun arasındaki zaman aralığı, literatürde dikkat çeken bir başka faktördür. Zhang ve arkadaşları (2023) bazı bilişsel kazanımların egzersizden 30 dakika sonra da devam ettiğini bildirmiştir. Mancı ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında ise bazı performans değişikliklerinin egzersizden hemen sonra değil, toparlanmanın ilerleyen dönemlerinde daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Bu bulgular, fiziksel ısınmanın oyun başlamadan hemen önce tamamlanmasının gerekli olmadığını; belirli bir toparlanma ve geçiş süresinin hatta yararlı olabileceğini düşündürmektedir.

Fiziksel ısınmanın performans üzerindeki olası etkileri çeşitli nörofizyolojik mekanizmalarla açıklanabilir. Akut egzersiz sırasında sempatik aktivite ve katekolaminerjik yanıtların artması, dikkat ve uyarılmışlık düzeylerinin düzenlenmesine katkı sağlayabilir (McMorris, 2021). Orta şiddetli egzersiz sonrasında prefrontal korteks aktivasyonunda meydana gelen artışlar, yürütücü işlevlerde gözlenen gelişmeleri destekleyebilir (Yanagisawa et al., 2010). Bunun yanı sıra serebral dolaşım, nörotrofik faktörler ve merkezi sinir sistemi aktivasyonundaki değişiklikler de olası mekanizmalar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte bu mekanizmaların önemli bir bölümünün henüz doğrudan esporcularda yeterince test edilmediği unutulmamalıdır.

Özellikle BDNF gibi nörotrofik faktörler açısından mevcut kanıtlar dikkatli yorumlanmalıdır. Akut fiziksel egzersizin periferik BDNF düzeylerini artırdığı güçlü biçimde gösterilmiş olsa da (Szuhany et al., 2015), bu değişikliğin doğrudan espor performansındaki gelişmenin nedeni olduğunu gösteren yeterli veri bulunmamaktadır. Bu nedenle genel egzersiz fizyolojisi literatüründen elde edilen mekanistik açıklamalar, espor performansındaki olası etkileri açıklayan teorik destek olarak değerlendirilmelidir.

Bu derlemenin bulguları, kısa süreli fiziksel aktivitenin de yararlı olabileceğini göstermektedir. DiFrancisco-Donoghue ve arkadaşlarının (2021) yalnızca altı dakikalık yürüyüş uygulamasıyla yürütücü işlevde gelişme göstermesi, esporcularda etkili bir fiziksel hazırlığın her zaman uzun süreli veya yüksek şiddetli bir egzersiz gerektirmediğine işaret etmektedir. Bu sonuç, turnuvalarda veya arka arkaya oynanan karşılaşmalarda kısa aktif hareket aralarının uygulanabilirliğini artırmaktadır.

Bununla birlikte literatürün bazı önemli sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle deneysel çalışma sayısı henüz sınırlıdır ve birçok çalışma küçük örneklemeler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kullanılan oyun türleri, egzersiz protokolleri, oyuncu deneyim düzeyleri ve performans değerlendirme yöntemleri arasında belirgin heterojenlik bulunmaktadır. Profesyonel, yarı profesyonel ve rekreasyonel oyuncuların aynı esporcu kategorisi içerisinde değerlendirilmesi de bulguların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Ayrıca kadın esporcuların temsili oldukça düşüktür.

Bir diğer önemli sınırlılık, laboratuvar ortamındaki bilişsel performans gelişmelerinin gerçek turnuva koşullarına ne ölçüde aktarılabildiğinin henüz yeterince bilinmemesidir. Turnuva ortamında seyirci baskısı, rekabet stresi, takım içi iletişim, ödül beklentisi ve uzun süreli mental yorgunluk gibi ek faktörler bulunmaktadır. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların doğrudan resmi müsabaka veya turnuva benzeri ortamlarda gerçekleştirilmesi önem taşımaktadır.

Sonuç olarak mevcut kanıtlar, fiziksel ısınmanın esporcular için yalnızca sağlık veya fiziksel uygunluk amacı taşıyan ek bir unsur olmadığını; doğru planlandığında kısa süreli performans hazırlığının bir parçası olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, tek bir standart protokol önermek için mevcut kanıt düzeyi henüz yeterli değildir. Uygulamalarda egzersiz şiddeti, süresi, toparlanma süresi, oyun türü ve sporcunun fiziksel uygunluk düzeyi birlikte değerlendirilmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut literatür, fiziksel egzersizin espor performansından bağımsız yalnızca genel sağlık amacıyla uygulanması gereken bir aktivite olmadığına; uygun şekilde planlandığında doğrudan bilişsel ve oyun performansını destekleyebilecek bir hazırlık aracı olabileceğine işaret etmektedir. Akut fiziksel egzersiz sonrasında reaksiyon zamanı, hız-doğruluk dengesi, görsel bellek, yürütücü işlev, nişan alma doğruluğu ve bazı oyun içi performans ölçütlerinde olumlu değişimler bildirilmiştir.

Özellikle orta şiddetli aerobik egzersiz, olumlu bilişsel yanıt ile düşük yorgunluk riski arasındaki denge nedeniyle yarışma öncesi kullanım açısından dikkat çekmektedir. Yüksek şiddetli interval ve sprint egzersizleri de yararlı etkiler oluşturabilmektedir; ancak bu protokollerde egzersiz sonrası geçici yorgunluk olasılığı ve toparlanma süresi daha fazla önem kazanmaktadır.

Egzersizin yararlı etkilerinin ortaya çıkmasında merkezi uyarılmışlık ve katekolaminerjik aktivitedeki değişimler, prefrontal korteks aktivasyonu, serebral hemodinamik yanıtlar ve nörotrofik faktörlerdeki artış gibi mekanizmaların rol oynayabileceği düşünülmektedir. Ancak bu mekanizmaların önemli bir bölümü henüz esporcularda doğrudan doğrulanmamıştır.

Bu nedenle espor antrenörleri ve performans uzmanları açısından fiziksel ısınmanın yarışma öncesi rutine dahil edilmesi potansiyel olarak yararlı görünmekle birlikte, mevcut kanıtlar henüz tüm oyuncular için geçerli tek bir standart protokolü desteklememektedir. Gelecek araştırmalarda egzersiz türü, şiddeti, süresi ve egzersiz–yarışma aralığının sistematik biçimde karşılaştırılması; profesyonel esporcuların daha büyük örneklemlemlerle incelenmesi ve doğrudan turnuva performansının değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca nörofizyolojik

ölçümlerin oyun içi performans parametreleriyle birlikte incelenmesi, yarışma öncesi fiziksel ısınmanın espor performansını hangi mekanizmalar üzerinden etkilediğinin daha açık biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S., & Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin*, 144(1), 77–110. <https://doi.org/10.1037/bul0000130>
- Bishop, D. (2003a). Warm up I: Potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Medicine*, 33(6), 439–454. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333060-00005>
- Bishop, D. (2003b). Warm up II: Performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33(7), 483–498. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00002>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- de Las Heras, B., Li, O., Rodrigues, L., Nepveu, J.-F., & Roig, M. (2020). Exercise improves video game performance: A win-win situation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(7), 1595–1602. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002277>
- DiFrancisco-Donoghue, J., Jenny, S. E., Douris, P. C., Ahmad, S., Yuen, K., Hassan, T., Gan, H., Abraham, K., & Sousa, A. (2021). Breaking up prolonged sitting with a 6 min walk improves executive function in women and men esports players: A randomised trial. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 7(3), e001118. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001118>
- dos Santos, J., Figueiredo, T., Benoit, C.-E., & Chaplais, E. (2024). Physical and/or cognitive warm-up effects on first-person shooter video-games performances. *Entertainment Computing*, 49, 100618. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2023.100618>
- Gaige, C., Allen, L., Krieger, J., Hagele, A., Sunderland, K., Kerksick, C., & Mumford, P. (2024). Pedaling to performance: Exploring the effects of pre-tournament cycling on Rocket League esports performance. *Exercise, Sport and Movement*, 2, 1–9. <https://doi.org/10.1249/ESM.0000000000000020>
- Giakoni-Ramírez, F., Merellano-Navarro, E., & Duclos-Bastías, D. (2022). Professional esports players: Motivation and physical activity levels. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2256. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042256>

- Mancı, E., Gençtürk, U., Günay, E., Güdücü, Ç., Herold, F., & Bediz, C. Ş. (2024). The influence of acute sprint exercise on cognition, gaming performance, and cortical hemodynamics in esports players and age-matched controls. *Current Psychology*, 43, 19643–19654. <https://doi.org/10.1007/s12144-024-05750-x>
- McMorris, T. (2021). The acute exercise-cognition interaction: From the catecholamines hypothesis to an interoception model. *International Journal of Psychophysiology*, 170, 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.10.005>
- McNulty, C., Jenny, S. E., Leis, O., Poulus, D. R., Sondergeld, P., & Nicholson, M. (2023). Physical exercise and performance in esports players: An initial systematic review. *Journal of Electronic Gaming and Esports*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.1123/jege.2022-0014>
- Rightmire, Z.B., Agostinelli, P.J., Murrah, W.M., Roper, J.A., Roberts, M.D., & Sefton, J.M. (2024). Acute High-Intensity Interval Training Improves Esport Performance in Super Smash Brothers Ultimate Competitors. *Journal of Electronic Gaming and Esports*.
- Sudo, M., Costello, J. T., McMorris, T., & Ando, S. (2022). The effects of acute high-intensity aerobic exercise on cognitive performance: A structured narrative review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, 957677. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.957677>
- Sun, H., Yao, J., & Zhu, Y. (2026). Exercise interventions and multidimensional cognitive function in esports players: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Psychology*, 17, 1910084. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1910084>
- Szuhany, K. L., Bugatti, M., & Otto, M. W. (2015). A meta-analytic review of the effects of exercise on brain-derived neurotrophic factor. *Journal of Psychiatric Research*, 60, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2014.10.003>
- Tang, D., Sum, R. K.-W., Li, M., Ma, R., Chung, P., & Ho, R. W.-K. (2023). What is esports? A systematic scoping review and concept analysis of esports. *Heliyon*, 9(12), e23248. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23248>
- Trotter, M. G., Coulter, T. J., Davis, P. A., Poulus, D. R., & Polman, R. (2020). The association between esports participation, health and physical activity behaviour. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7329. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197329>

- Wachholz, F., Coenen, F., Zhang, M., & Heidenreich, H. (2026). Effects of acute and chronic physical exercise on esports performance: A systematic review. *Sports Medicine - Open*, 12(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s40798-026-01034-9>
- Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., & Soya, H. (2010). Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *NeuroImage*, 50(4), 1702–1710. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.023>
- Zhang, W., Wang, X., Li, X., Yan, H., Song, Y., Li, X., Zhang, W., & Ma, G. (2023). Effects of acute moderate-intensity aerobic exercise on cognitive function in E-athletes: A randomized controlled trial. *Medicine*, 102(40), e35108. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000035108>

ESPORCULARDA AKUT EGZERSİZİN FİZYOLOJİK VE BİLİŞSEL PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: MEKANİZMALAR, DOZ-CEVAP İLİŞKİSİ VE PERFORMANSA YANSIMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman BİLGİN¹/ Dr. Öğr. Üyesi Eren BOZYILAN²

1Adıyaman Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, sbilgin@adiyaman.edu.tr, 0009-0000-7933-2400

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

Özet

Espor performansı; hızlı bilgi işleme, reaksiyon zamanı, görsel dikkat, inhibisyon kontrolü, çalışma belleği, bilişsel esneklik ve hassas visuomotor koordinasyon gibi çok sayıda bilişsel-motor bileşenin eş zamanlı kullanımını gerektirmektedir. Bu becerilerin büyük ölçüde merkezi sinir sistemi işlevlerine bağlı olması, akut fiziksel egzersiz sonrasında ortaya çıkan fizyolojik ve nörobiyolojik değişikliklerin espor performansını etkileyebileceği düşüncesini güçlendirmiştir. Bu derlemenin amacı, akut fiziksel egzersizin esporcularda bilişsel ve oyun performansı üzerindeki etkilerini güncel kanıtlar doğrultusunda değerlendirmek; egzersiz türü, şiddeti, süresi ve egzersiz sonrası değerlendirme zamanına bağlı doz-cevap ilişkilerini incelemek ve bu etkilerin altında yatan olası fizyolojik mekanizmaları açıklamaktır. Güncel meta-analitik kanıtlar, tek seanslık egzersizin özellikle dikkat, yürütücü işlev, bilgi işleme hızı ve reaksiyon zamanı üzerinde küçük-orta düzeyde olumlu etkiler oluşturabildiğini göstermektedir. Esporcular üzerinde yapılan deneysel çalışmalar da orta şiddetli aerobik egzersiz, yüksek şiddetli interval egzersiz ve sprint egzersizi sonrasında reaksiyon zamanı, görsel bellek, inhibisyon kontrolü ve oyun performansında gelişmeler meydana gelebileceğine işaret etmektedir. Bu etkilerin oluşumunda serebral kan akımındaki değişimler, prefrontal kortikal aktivasyon, merkezi uyarılmışlık, laktat metabolizması ve beyin kaynaklı nörotrofik faktör yanıtı rol oynayabilir. Bununla birlikte, akut egzersiz ile bilişsel performans arasındaki ilişki doğrusal değildir ve özellikle yüksek şiddetli yüklenmelerde egzersiz sonrası toparlanma süresi önem kazanmaktadır. Sonuç olarak akut egzersiz, esporcularda bilişsel hazır oluşu ve oyun performansını destekleyebilecek potansiyel bir performans stratejisi olarak değerlendirilebilir. Ancak optimum egzersiz reçetesinin oluşturulabilmesi için profesyonel esporcular üzerinde gerçekleştirilecek daha kapsamlı kontrollü çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Espor, akut egzersiz, egzersiz fizyolojisi, reaksiyon zamanı, yürütücü işlev, serebral hemodinamikler

EFFECTS OF ACUTE EXERCISE ON PHYSIOLOGICAL AND COGNITIVE PERFORMANCE IN ESPORTS ATHLETES: MECHANISMS, DOSE–RESPONSE RELATIONSHIPS, AND PERFORMANCE IMPLICATIONS

Abstract

Esports performance requires the simultaneous use of several cognitive-motor components, including rapid information processing, reaction time, visual attention, inhibitory control, working memory, cognitive flexibility, and precise visuomotor coordination. Since these abilities largely depend on central nervous system functions, physiological and neurobiological changes induced by acute physical exercise may influence esports performance. This review aimed to evaluate the effects of acute physical exercise on cognitive and gaming performance in esports athletes, examine dose-response relationships according to exercise mode, intensity, duration, and post-exercise assessment timing, and explain the potential physiological mechanisms underlying these effects. Current meta-analytic evidence indicates that a single bout of exercise may produce small-to-moderate improvements in attention, executive function, information-processing speed, and reaction time. Experimental studies involving esports players further suggest that moderate-intensity aerobic exercise, high-intensity interval exercise, and sprint exercise may improve reaction time, visual memory, inhibitory control, and gaming performance. Changes in cerebral blood flow, prefrontal cortical activation, central arousal, lactate metabolism, and brain-derived neurotrophic factor responses may contribute to these effects. However, the relationship between acute exercise and cognitive performance is not linear, and post-exercise recovery becomes particularly important following high-intensity exercise. Acute exercise may therefore represent a potential strategy for supporting cognitive readiness and gaming performance in esports athletes. Nevertheless, further controlled research involving professional esports athletes is required to establish optimal exercise prescriptions.

Keywords: Esports, acute exercise, exercise physiology, reaction time, executive function, cerebral hemodynamics.

1. GİRİŞ

Espor, rekabetçi video oyunlarının yapılandırılmış organizasyonlar içerisinde gerçekleştirildiği ve oyuncuların yüksek düzeyde bilişsel, algısal ve motor performans sergilemesini gerektiren modern bir performans alanıdır. Geleneksel sporlardan farklı olarak espor performansında büyük kas grupları tarafından üretilen mekanik güç veya maksimal aerobik kapasite doğrudan belirleyici olmayabilir. Buna karşılık görsel uyaranların hızlı işlenmesi, doğru yanıtın seçilmesi, uygun olmayan tepkilerin baskılanması, çalışma belleğinin etkin kullanımı ve milisaniyeler içerisinde hassas motor yanıtların oluşturulması başarı açısından kritik önem taşımaktadır.

Bu özellikler akut fiziksel egzersizin espor performansı açısından neden önemli olabileceğini açıklamaktadır. Tek bir egzersiz seansı kardiyovasküler sistem, merkezi sinir sistemi, serebral dolaşım, nörotransmitter sistemleri ve nörotrofik faktörler üzerinde kısa süre içerisinde değişiklik oluşturabilmektedir. Bu fizyolojik yanıtların bir bölümü dikkat, yürütücü işlev, bellek ve reaksiyon zamanı gibi espor performansı ile doğrudan ilişkili bilişsel süreçleri etkileyebilmektedir.

Akut egzersiz ile bilişsel performans arasındaki ilişkiye ilişkin kanıt tabanı son yıllarda önemli ölçüde genişlemiştir. Chang ve arkadaşlarının (2025) 30 sistematik derlemeyi ve meta-analizi bir araya getiren meta-derlemesinde 383 özgün çalışma ve 18.347 katılımcının verileri değerlendirilmiş ve akut egzersizin genel bilişsel performans üzerinde küçük-orta düzeyde olumlu bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. En belirgin gelişmeler dikkat ve yürütücü işlev alanlarında gözlenirken, egzersiz sonrası ölçüm zamanının etkinin büyüklüğünü değiştirebilen önemli bir faktör olduğu bildirilmiştir.

Benzer biçimde Garrett ve arkadaşları (2024), sağlıklı genç yetişkinlerde akut fiziksel aktivite ve biliş ilişkisini 113 çalışmadan elde edilen 651 etki büyüklüğü üzerinden değerlendirmiştir. Bulgular akut egzersizin bilişsel performans üzerinde küçük fakat güvenilir bir olumlu etki oluşturduğunu, reaksiyon süresini azaltabildiğini ve özellikle çalışma belleği ile inhibisyon üzerinde yarar sağlayabildiğini göstermiştir.

Esporcular üzerindeki deneysel araştırmalar da genel egzersiz-biliş literatürüyle uyumlu sonuçlar ortaya koymaya başlamıştır. Orta şiddetli aerobik egzersiz, sprint egzersizi ve yüksek şiddetli interval uygulamalarından sonra reaksiyon zamanı, görsel bellek, inhibisyon ve oyun performansında gelişmeler bildirilmiştir (de Las Heras et al., 2020; Zhang et al., 2023; Mancı et al., 2024; Rightmire et al., 2024).

Dolayısıyla akut egzersiz artık yalnızca esporcuların genel sağlık düzeylerini destekleyen bir uygulama olarak değil, performans öncesinde bilişsel-motor sistemi geçici olarak optimize edebilecek fizyolojik bir uyaran olarak da değerlendirilmektedir.

Bu derlemenin amacı, akut fiziksel egzersizin esporcularda fizyolojik, bilişsel ve oyun performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek; egzersiz şiddeti, modalitesi, süresi ve egzersiz sonrası zamanlamanın sonuçlar üzerindeki rolünü incelemek ve olası nörofizyolojik mekanizmaları güncel kanıtlar doğrultusunda tartışmaktır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, akut fiziksel egzersiz ile espor performansı arasındaki ilişkiyi fizyolojik mekanizmalar ve doz-cevap özellikleri üzerinden değerlendiren yapılandırılmış bir anlatı derlemesi olarak hazırlanmıştır. Literatürün seçimi ve sentezinde yalnızca espor performansını doğrudan inceleyen çalışmaların bir araya getirilmesi yerine, espor bulgularını açıklayabilecek güncel akut egzersiz fizyolojisi kanıtlarının da değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Kaynak taraması PubMed, Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aramalar sırasında “acute exercise”, “acute aerobic exercise”, “high-intensity exercise”, “executive function”, “reaction time”, “cognitive performance”, “cerebral blood flow”, “cerebral hemodynamics”, “fNIRS”, “blood lactate”, “BDNF”, “esports”, “esports athletes” ve “gaming performance” anahtar kelimeleri farklı kombinasyonlarda kullanılmıştır.

Kanıtlar dört tematik grupta incelenmiştir. Birinci grupta esporcular veya rekabetçi video oyunu oyuncuları üzerinde akut egzersizin bilişsel ya da oyun performansına etkilerini değerlendiren deneysel çalışmalar ele alınmıştır. İkinci grupta akut egzersiz ile bilişsel performans arasındaki genel ilişkiyi inceleyen sistematik derlemeler ve meta-analizlere yer verilmiştir. Üçüncü grupta egzersiz şiddeti, süresi ve zamanlamasının yürütücü işlevler üzerindeki rolünü değerlendiren çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü grupta ise serebral kan akımı, kortikal hemodinamik yanıt, laktat ve nörotrofik faktörler gibi potansiyel fizyolojik mekanizmaları araştıran çalışmalar değerlendirilmiştir.

Kaynak seçiminde hakemli bilimsel dergilerde yayımlanmış, DOI veya yayıncı/PubMed kaydı üzerinden bibliyografik bilgileri doğrulanabilen çalışmalara öncelik verilmiştir. Güncel sistematik derlemeler ve meta-analizlerin yanı sıra esporcular üzerindeki özgün deneysel araştırmalar özellikle dikkate alınmıştır.

Veriler sentezlenirken egzersiz türü ve şiddetinden bağımsız genel bir “egzersiz faydalıdır” yaklaşımı benimsenmemiştir. Bunun yerine egzersiz modalitesi, şiddeti, süresi, değerlendirme zamanı ve ölçülen bilişsel alan ayrı değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca genel popülasyondan elde edilen fizyolojik bulguların esporcularda doğrudan doğrulanmış mekanizmalar olmadığı özellikle dikkate alınmış ve bu kanıtlar olası mekanistik açıklamalar olarak yorumlanmıştır.

3. YÖNTEM

Bu çalışma, akut fiziksel egzersiz ile espor performansı arasındaki ilişkiyi fizyolojik mekanizmalar ve doz-cevap özellikleri üzerinden değerlendiren yapılandırılmış bir anlatı derlemesi olarak hazırlanmıştır. Literatürün seçimi ve sentezinde yalnızca espor performansını doğrudan inceleyen çalışmaların bir araya getirilmesi yerine, espor bulgularını açıklayabilecek güncel akut egzersiz fizyolojisi kanıtlarının da değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Kaynak taraması PubMed, Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aramalar sırasında “acute exercise”, “acute aerobic exercise”, “high-intensity exercise”, “executive function”, “reaction time”, “cognitive performance”, “cerebral blood flow”, “cerebral hemodynamics”, “fNIRS”, “blood lactate”, “BDNF”, “esports”, “esports athletes” ve “gaming performance” anahtar kelimeleri farklı kombinasyonlarda kullanılmıştır.

Kanıtlar dört tematik grupta incelenmiştir. Birinci grupta esporcular veya rekabetçi video oyunu oyuncuları üzerinde akut egzersizin bilişsel ya da oyun performansına etkilerini değerlendiren deneysel çalışmalar ele alınmıştır. İkinci grupta akut egzersiz ile bilişsel performans arasındaki genel ilişkiyi inceleyen sistematik derlemeler ve meta-analizlere yer verilmiştir. Üçüncü grupta egzersiz şiddeti, süresi ve zamanlamasının yürütücü işlevler üzerindeki rolünü değerlendiren çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü grupta ise serebral kan akımı, kortikal hemodinamik yanıt, laktat ve nörotrofik faktörler gibi potansiyel fizyolojik mekanizmaları araştıran çalışmalar değerlendirilmiştir.

Kaynak seçiminde hakemli bilimsel dergilerde yayımlanmış, DOI veya yayıncı/PubMed kaydı üzerinden bibliyografik bilgileri doğrulanabilen çalışmalara öncelik verilmiştir. Güncel sistematik derlemeler ve meta-analizlerin yanı sıra esporcular üzerindeki özgün deneysel araştırmalar özellikle dikkate alınmıştır.

Veriler sentezlenirken egzersiz türü ve şiddetinden bağımsız genel bir “egzersiz faydalıdır” yaklaşımı benimsenmemiştir. Bunun yerine egzersiz modalitesi, şiddeti, süresi, değerlendirme zamanı ve ölçülen bilişsel alan ayrı değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca genel popülasyondan elde edilen fizyolojik bulguların esporcularda doğrudan doğrulanmış mekanizmalar olmadığı özellikle dikkate alınmış ve bu kanıtlar olası mekanistik açıklamalar olarak yorumlanmıştır.

3.BULGULAR

3.1. Akut Egzersiz ve Genel Bilişsel Performans

Akut egzersizin biliş üzerindeki etkisini değerlendiren güncel çalışmalar, etkinin genel olarak olumlu ancak büyüklüğünün sınırlı ve koşullara bağlı olduğunu göstermektedir.

Chang ve arkadaşlarının (2025) geniş kapsamlı meta-derlemesinde akut egzersizin genel bilişsel performansı anlamlı biçimde geliştirdiği ve ortalama etkinin küçük-orta büyüklükte olduğu belirlenmiştir. Dikkat ve yürütücü işlevlerdeki etkilerin bilgi işleme ve belleğe kıyasla bir miktar daha güçlü olduğu rapor edilmiştir.

Bu bulgu espor açısından önemlidir. Çünkü hızlı değişen oyun ortamında oyuncunun temel ihtiyacı yalnızca bilgiyi hatırlamak değil, doğru uyarıyı seçmek, gereksiz uyarıları baskılamak ve mevcut bilgiyi hızla davranışa dönüştürmektir.

Garrett ve arkadaşlarının (2024) genç yetişkinleri kapsayan Bayesian meta-analizinde de akut fiziksel aktivitenin genel biliş üzerinde küçük olumlu bir etki oluşturduğu ve reaksiyon zamanını azalttığı gösterilmiştir. Çalışma belleği ve inhibisyon alanlarında da yararlı sonuçlar bulunması, akut egzersizin esporun temel bilişsel talepleriyle örtüşen süreçleri etkileyebildiğini göstermektedir.

Ishihara ve arkadaşları (2021), akut aerobik egzersizin yürütücü işlev üzerindeki etkisini bireysel katılımcı verileri kullanarak incelemiş ve egzersiz sonrası bilişsel performansın genel olarak geliştiğini göstermiştir. İlginç olarak başlangıç bilişsel performansı daha düşük olan bireylerde gelişmenin daha büyük olması, akut egzersiz yanıtında bireysel farklılıkların önemini ortaya koymaktadır.

Bu bulgu elit esporcular açısından özel bir önem taşımaktadır. Çok yüksek başlangıç düzeyine sahip profesyonel oyunculara “tavan etkisi” nedeniyle standart bilişsel testlerde belirgin kazanımlar ortaya çıkmayabilir. Buna karşılık yoğun zihinsel yük, uyku yetersizliği veya turnuva yorgunluğu altında akut egzersizin etkisi daha belirgin hale gelebilir.

3.2. Egzersiz Modalitesi ve Yürütücü İşlev

Akut egzersiz araştırmalarının büyük bölümü aerobik egzersiz üzerine odaklanmış olmakla birlikte, farklı egzersiz modalitelerinin bilişsel yanıtları farklılaştırabileceği görülmektedir.

Dkaidek ve arkadaşlarının (2023) genç yetişkinlerde ergometre bisiklet egzersizini değerlendiren sistematik derleme ve meta-analizinde 17 çalışmanın 16'sında reaksiyon süresi açısından olumlu sonuçlar bildirilmiştir. Özellikle orta şiddetli egzersizlerin reaksiyon süresi üzerindeki etkisinin daha güçlü olduğu ve 21–30 dakikalık egzersizlerin dikkat çekici sonuçlar oluşturduğu belirlenmiştir.

Aerobik egzersiz dışında direnç egzersizinin de yürütücü işlevleri etkileyebileceğine ilişkin kanıt bulunmaktadır. Huang ve arkadaşlarının (2022) 19 çalışmayı ve 692 katılımcıyı kapsayan sistematik derlemesinde akut direnç egzersizi sonrasında yürütücü işlev sonuçlarının yarısından fazlasında anlamlı gelişme bildirilmiştir. En tutarlı yararların orta şiddetli direnç egzersizinden sonra ve özellikle inhibisyon kontrolünde ortaya çıktığı görülmüştür.

Bu durum espor performansına yönelik akut egzersiz reçetelerinin yalnızca bisiklet veya koşu gibi aerobik uygulamalarla sınırlandırılmak zorunda olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte esporcularda direnç egzersizinin doğrudan oyun performansına akut etkilerini inceleyen yeterli deneysel çalışma bulunmamaktadır. Cantelon ve Giles (2021), egzersiz sırasında bilişsel performansın şiddet ve görevin niteliğine bağlı olarak değişebildiğini vurgulamıştır. Bu durum özellikle yüksek şiddetli yüklenmelerde fiziksel ve bilişsel görevlerin aynı anda gerçekleştirilmesi halinde merkezi kaynakların rekabet edebileceğini düşündürmektedir.

3.3. Esporcular Üzerindeki Doğrudan Deneysel Kanıtlar

Genel egzersiz-biliş literatürü oldukça geniş olmakla birlikte espor açısından asıl önemli olan, bu etkilerin rekabetçi oyun performansına aktarılıp aktarılamadığıdır.

de Las Heras ve arkadaşları (2020), kısa süreli yüksek şiddetli interval egzersizin video oyunu performansı üzerindeki etkisini incelemiş ve egzersiz sonrasında hedef eliminasyonu ve doğrulukta gelişme bildirmiştir. Bu çalışma akut kardiyovasküler egzersizin laboratuvar tipi bilişsel testlerin ötesinde oyun performansına aktarılabilmesine ilişkin önemli deneysel kanıtlardan biridir.

Zhang ve arkadaşları (2023), 34 e-sporcudaki orta şiddetli aerobik bisiklet egzersizinin etkilerini incelemiştir. Yaklaşık %64–76 maksimum kalp hızı düzeyinde gerçekleştirilen 30 dakikalık egzersiz sonrasında reaksiyon zamanı, görsel bellek ve hız-doğruluk performansında olumlu değişiklikler görülmüştür. Bazı etkilerin egzersizden 30 dakika sonra da devam etmesi, akut egzersizin etkisinin egzersiz tamamlandığı anda sona ermediğini göstermektedir.

Mancı ve arkadaşları (2024), esporcular üzerinde akut sprint egzersizini bilişsel performans, oyun performansı ve kortikal hemodinamikler açısından birlikte değerlendirmiştir. Sprint egzersizi sonrasında bazı bilişsel ve oyun performansı göstergelerinde gelişmeler görülürken, prefrontal kortikal oksijenlenmede aynı ölçüde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu sonuç, performans gelişiminin tek bir nörofizyolojik mekanizmaya indirgenemeyeceğini göstermesi açısından önemlidir.

Rightmire ve arkadaşları (2024) ise Super Smash Bros. Ultimate oyuncularında yüksek şiddetli interval antrenmanın akut etkilerini değerlendirmiş ve oyun performansında olumlu değişiklik bildirmiştir.

Bu bulgular birlikte ele alındığında, akut egzersizin esporcularda reaksiyon zamanı veya standart bilişsel testler dışında gerçek oyuna özgü performans göstergelerini de etkileyebildiği görülmektedir. Ancak mevcut çalışmaların örneklem büyüklükleri düşük olduğundan sonuçların tüm profesyonel esporculara genellenmesi için dikkatli olunmalıdır.

3.4. Egzersiz Şiddeti ve Doz-Cevap İlişkisi

Akut egzersiz-biliş ilişkisinde en kritik konulardan biri egzersiz şiddetidir.

Geleneksel yaklaşım, bilişsel performansın orta düzey uyarılda optimize olabileceğini ve çok düşük veya çok yüksek fizyolojik yüklerde azalabileceğini öne sürmektedir. Ancak güncel kanıtlar bu ilişkinin basit bir ters-U modeliyle tamamen açıklanamayacağını göstermektedir.

Dkaidek ve arkadaşları (2023), genç yetişkinlerde orta şiddetli bisiklet egzersizinin reaksiyon süresi açısından en tutarlı sonuçları oluşturduğunu bildirmiştir. Huang ve arkadaşları (2022) da akut direnç egzersizinde orta şiddetin yürütücü işlevler açısından daha istikrarlı yarar sağladığını göstermiştir.

Buna karşılık yüksek şiddetli egzersizin mutlaka olumsuz olduğu söylenemez. Esporcular üzerinde yürütülen çalışmalar sprint veya HIIT sonrasında da performans gelişimi olabileceğini göstermektedir. Burada kritik faktör, bilişsel görevin egzersiz sırasında mı yoksa egzersiz sonrasında mı uygulandığıdır.

Çok yüksek şiddetli egzersiz sırasında kardiyovasküler ve metabolik talepler artarken dikkat kaynakları fiziksel görevin sürdürülmesine yönlendirilebilir. Egzersizin tamamlanmasıyla birlikte bu yük azalırken merkezi uyarılmışlık, nörokimyasal yanıtlar ve metabolik sinyaller bir süre daha devam edebilir. Bu nedenle yüksek şiddetli egzersizin espor performansına katkısı çoğu zaman egzersizden sonraki toparlanma döneminde değerlendirilmelidir.

3.5. Serebral Kan Akımı ve Kortikal Hemodinamikler

Akut egzersiz sırasında meydana gelen serebral dolaşım değişiklikleri bilişsel performansı açıklamak için en sık öne sürülen mekanizmalardan biridir.

Mulser ve Moreau'nun (2023) 52 çalışmayı ve toplam 1.174 katılımcıyı kapsayan sistematik derlemesinde akut kardiyovasküler egzersiz sırasında serebral kan akımının genel olarak egzersizin erken dönemlerinde arttığı, ancak egzersiz uzadıkça veya şiddet yükseldikçe bu artışın azalarak bazı koşullarda düşüşe dönüşebildiği gösterilmiştir.

Bu bulgu önemli bir noktaya işaret etmektedir: serebral kan akımı ile egzersiz şiddeti arasındaki ilişki doğrusal değildir.

Orta düzeyde aerobik egzersiz sırasında kardiyak debi ve serebral perfüzyondaki artış, beyin dokusuna oksijen ve substrat sunumunu destekleyebilir. Buna karşılık yüksek şiddette hiperventilasyon sonucu arteriyel CO₂'nin azalması serebral vazokonstriksiyona ve serebral kan akımında azalmaya neden olabilir.

Tari ve arkadaşları (2023), genç yetişkinlerde aktif ve pasif bisiklet egzersizinin serebral kan akımı ve yürütücü işlev üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Aktif egzersiz orta serebral arter kan hızını artırmış ve yürütücü işlevdeki yararın egzersizden 30 dakika sonra da devam ettiği görülmüştür. Bu bulgu egzersiz sonrası bilişsel performansın sürekliliğinde serebral hemodinamik yanıtın rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

Shen ve arkadaşlarının (2024) fNIRS çalışmalarını değerlendiren sistematik derlemesi de egzersizin özellikle prefrontal ve motor korteksteki oksijenlenmiş hemoglobin yanıtlarını değiştirebildiğini ve bu değişimlerin inhibisyon ve çalışma belleği gibi yüksek düzey bilişsel işlevlerle ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte kortikal oksijenlenme ile performans arasındaki ilişki kesin ve doğrusal değildir. Mancı ve arkadaşlarının esporculardaki bulguları da performans artışının prefrontal oksijenasyonda paralel bir değişiklik olmadan ortaya çıkabileceğini göstermektedir.

3.6. Laktat: Yorgunluk Ürününden Bilişsel Sinyale

Laktat uzun yıllar boyunca esas olarak yoğun egzersiz sırasında ortaya çıkan metabolik bir yan ürün olarak değerlendirilmiştir. Günümüzde ise laktatın kas ile beyin arasında metabolik ve sinyalleyici bir rol üstlenebileceği düşünülmektedir.

Li ve arkadaşları (2024), akut aerobik ve kombine egzersizin bilişsel esneklik üzerindeki etkilerini davranışsal ölçümler ve olayla ilişkili potansiyeller kullanarak incelemiştir. Araştırmada egzersiz sonrasında bilişsel esneklikte gelişme görülürken, kan laktat düzeyinin reaksiyon zamanı üzerindeki olumlu etkinin araçlarından biri olabileceği gösterilmiştir.

Bu bulgu espor açısından özellikle ilgi çekicidir. Hızlı oyunlarda esporcunun bilişsel esneklik göstermesi, yani değişen oyun koşullarına uygun olarak mevcut stratejisini kısa sürede değiştirmesi gerekir.

Ancak laktat ile espor performansı arasında doğrudan nedensel ilişki gösteren araştırmalar bulunmamaktadır. Bu nedenle laktat şu aşamada akut egzersiz-biliş ilişkisini açıklayabilecek aday mekanizmalardan biri olarak değerlendirilmelidir.

3.7. BDNF ve Nörotrofik Yanıt

Akut egzersizin bilişsel etkilerini açıklamak için üzerinde en fazla durulan biyolojik mekanizmalardan biri beyin kaynaklı nörotrofik faktördür.

Dinoff ve arkadaşlarının (2017) 55 çalışmayı kapsayan meta-analizinde tek bir egzersiz seansından sonra periferik BDNF konsantrasyonlarının anlamlı biçimde arttığı gösterilmiştir. Ayrıca egzersiz süresindeki artışın daha büyük BDNF yanıtıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Daha güncel olarak Moreau ve Chapple-De Lange (2026), 22 çalışmayı ve 628 katılımcıyı kapsayan sistematik derleme ve meta-analizde akut kardiyovasküler egzersizin dolaşımdaki BDNF üzerinde orta büyüklükte pozitif etki oluşturduğunu göstermiştir. Egzersiz şiddeti ve kan örneğinin alınma zamanı bu yanıtı etkileyen önemli moderatörler olarak belirlenmiştir.

BDNF'nin sinaptik plastisite ve bellek süreçlerindeki rolü göz önünde bulundurulduğunda, akut egzersiz sonrasında ortaya çıkan bilişsel kazanımlara katkı sağlaması biyolojik olarak olasıdır.

Ancak önemli bir sınırlılık bulunmaktadır: esporcularda akut egzersiz sonrası BDNF değişikliği ile eş zamanlı oyun performansını ölçen yeterli çalışma yoktur. Dolayısıyla BDNF'nin espor performansını doğrudan artırdığı şeklinde bir sonuca ulaşmak mevcut kanıtların ötesine geçecektir.

3.8. Uzun Süreli Oturmanın Kesilmesi ve Akut Hareket Araları

Esporcuların maruz kaldığı önemli fizyolojik durumlardan biri uzun süreli oturmadır. Bu nedenle akut egzersizin performans üzerindeki rolü yalnızca müsabaka öncesi egzersiz açısından değil, uzun oyun oturumlarını kesintiye uğratan kısa fiziksel aktivite uygulamaları açısından da değerlendirilmelidir.

Li ve arkadaşlarının (2022) sistematik derleme ve meta-analizinde 13 randomize kontrollü çalışma incelenmiştir. Uzun süreli oturmanın akut fiziksel aktivite aralarıyla kesilmesinin genel bilişsel performans üzerinde belirgin ve tutarlı bir üstünlük oluşturmadığı görülmüştür. Bu bulgu özellikle önemlidir çünkü akut egzersiz literatürünün yalnızca olumlu sonuçlardan oluşmadığını göstermektedir. Kısa hareket araları genel sağlık ve sedanter davranış açısından yararlı olsa da her uygulamanın bilişsel performansı akut olarak geliştireceği varsayılmamalıdır.

Esporcular için bu durum, fiziksel aktivite müdahalelerinin süre, şiddet ve zamanlama açısından planlanması gerektiğini göstermektedir.

3.9. Zamanlama: Performans Ne Zaman Ölçülmelidir?

Akut egzersiz çalışmalarında sonuçların farklılaşmasına neden olan en önemli faktörlerden biri bilişsel performansın ne zaman değerlendirildiğidir.

Chang ve arkadaşlarının (2025) meta-derlemesinde değerlendirme zamanının akut egzersizin bilişsel etkisinin anlamlı bir moderatörü olduğu gösterilmiştir. En belirgin faydalar egzersizin ardından yapılan bilişsel ölçümlerde görülmüştür.

Tari ve arkadaşları (2023) yürütücü işlevdeki olumlu etkinin aktif egzersizden hemen sonra ve 30 dakika sonra sürdüğünü, ancak 60 dakika sonra belirgin olmadığını bildirmiştir.

Zhang ve arkadaşlarının (2023) esporcularda elde ettiği bulgular da bazı bilişsel yararların egzersizden 30 dakika sonra korunabileceğini göstermektedir.

Bu sonuçlar espor performans planlaması açısından önemlidir. Akut egzersizin olumlu etkisinden yararlanmak için egzersiz ile oyun arasındaki aralık çok uzun tutulmamalı; buna karşılık yüksek şiddetli egzersizlerde oluşabilecek akut yorgunluğun giderilmesi için yeterli toparlanmaya izin verilmelidir.

4. TARTIŞMA

Bu derlemede değerlendirilen kanıtlar, akut fiziksel egzersizin esporcularda bilişsel ve oyun performansını destekleyebilecek fizyolojik bir uyaran olduğunu göstermektedir. Ancak etkinin yalnızca egzersiz yapıp yapılmamasına değil, egzersizin dozu, modalitesi, zamanlaması ve değerlendirilen bilişsel sürece bağlı olduğu görülmektedir. Genel popülasyonu kapsayan güncel meta-analizler bu konuda güçlü bir bilimsel temel sağlamaktadır. Chang ve arkadaşlarının (2025) meta-derlemesi ile Garrett ve arkadaşlarının (2024) genç yetişkinlere yönelik analizi, akut egzersizin özellikle dikkat, yürütücü işlev ve reaksiyon zamanı açısından olumlu, ancak genellikle küçük-orta büyüklükte etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Bu bulgular akut egzersizin büyük ölçekli bir performans artırıcıdan ziyade mevcut performansı kısa süreli olarak optimize edebilecek tamamlayıcı bir uyaran olarak değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Espor alanındaki deneysel çalışmalar genel literatürle büyük ölçüde uyumludur. Zhang ve arkadaşlarının (2023) orta şiddetli aerobik egzersiz sonrasında reaksiyon zamanı ve görsel bellekte gösterdiği gelişmeler, Dkaidek ve arkadaşlarının (2023) genç yetişkinlerde orta şiddetli ergometre egzersizine ilişkin sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte yüksek şiddetli egzersizde tablo daha karmaşıktır. de Las Heras ve arkadaşları (2020), Mancı ve arkadaşları (2024) ve Rightmire ve arkadaşları (2024) yüksek şiddetli uygulamalar sonrasında olumlu sonuçlar bildirmiştir. Bu bulgular yüksek yoğunluklu egzersizin esporcular açısından zorunlu olarak

performans bozucu olmadığını, ancak etkinin büyük ölçüde uygulama koşullarına bağlı olabileceğini göstermektedir.

Bu noktada en kritik değişkenlerden biri egzersiz sonrası toparlanma süresidir. Egzersizin hemen ardından kalp hızı, ventilasyon, algılanan efor ve metabolik stres yüksek olabilirken, bu yüklerin azalmasını takiben merkezi uyarılmışlık, serebral dolaşım ve nörokimyasal etkiler devam edebilir. Dolayısıyla yüksek şiddetli egzersizin etkisi egzersizin hemen ardından değerlendirildiğinde farklı, 15–30 dakika sonra değerlendirildiğinde farklı olabilir. Serebral kan akımı literatürü de bu yaklaşımı desteklemektedir. Mulser ve Moreau (2023), akut egzersiz sırasında serebral kan akımının egzersiz karakteristiklerine bağlı olarak doğrusal olmayan bir yanıt gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle “daha yüksek şiddet = daha fazla serebral kan akımı = daha iyi bilişsel performans” şeklindeki basit doğrusal yaklaşım mevcut kanıtlarla desteklenmemektedir.

Kortikal hemodinamik ve metabolik bulgular da akut egzersizin bilişsel etkilerinin çok faktörlü olduğunu göstermektedir. Shen ve arkadaşlarının (2024) sistematik derlemesi prefrontal kortikal oksijenasyon ile bilişsel performans arasında potansiyel ilişkiler bildirirken, Mancı ve arkadaşları (2024) esporcularda performanstaki olumlu değişikliklere rağmen prefrontal oksijenasyonda belirgin bir değişiklik saptamamıştır. Benzer şekilde Li ve arkadaşlarının (2024) laktatın akut egzersiz ile bilişsel esneklik arasındaki davranışsal ilişkiye aracılık edebileceğini göstermesi, egzersiz metabolizması ile biliş arasındaki ilişkinin yalnızca kardiyovasküler mekanizmalarla açıklanamayacağını düşündürmektedir. Akut BDNF yanıtlarına ilişkin Dinoff ve arkadaşları (2017) ile Moreau ve Chapple-De Lange'nin (2026) meta-analizleri de tek seanslık fiziksel egzersizin dolaşımdaki BDNF konsantrasyonunu artırabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte periferik BDNF artışının doğrudan espor performansına yansıdığını gösteren kanıtlar henüz sınırlı olduğundan bu mekanizma dikkatli yorumlanmalıdır.

Derlemenin bir diğer önemli çıkarımı, optimal akut egzersiz protokolünün bireyler arasında değişebileceğidir. Ishihara ve arkadaşlarının (2021) başlangıç bilişsel performansı düşük bireylerin egzersizden daha fazla yararlanabileceğine ilişkin bulgusu, bireysel yanıt farklılıklarının önemini göstermektedir. Benzer şekilde fiziksel uygunluğu yüksek bir oyuncu için orta şiddetli olarak kabul edilen bir yüklenme, düşük fiziksel uygunluğa sahip başka bir oyuncuda daha yüksek fizyolojik stres oluşturabilir. Bu nedenle esporculara yönelik egzersiz reçetelerinde mutlak hız veya direnç değerlerinden ziyade bireysel kalp hızı yanıtları, algılanan efor, aerobik uygunluk ve egzersiz geçmişinin dikkate alınması daha uygun görünmektedir.

Genel olarak mevcut bulgular, orta şiddetli aerobik egzersizin akut bilişsel performans açısından en güvenli ve uygulanabilir başlangıç seçeneklerinden biri olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte direnç egzersizi, sprint ve HIIT gibi modaliteler de uygun doz, bireyselleştirme ve yeterli toparlanma süresi sağlandığında yararlı olabilir. Bu nedenle akut egzersizin espor performansına etkisi tek bir egzersiz türü veya tek bir fizyolojik mekanizma üzerinden değil; egzersiz şiddeti, toparlanma zamanı, bireysel özellikler ve oyuna özgü bilişsel taleplerin birlikte ele alındığı bütüncül bir çerçevede değerlendirilmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Akut fiziksel egzersiz, espor performansında önemli olan dikkat, reaksiyon zamanı, yürütücü işlev, inhibisyon, bilişsel esneklik ve visuomotor performansı kısa süreli olarak etkileyebilen fizyolojik bir uyaran olarak değerlendirilebilir. Mevcut kanıtlar özellikle orta şiddetli aerobik egzersizin bilişsel performans açısından dengeli bir uygulama olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte yüksek şiddetli interval egzersiz, sprint ve direnç egzersizi gibi farklı modalitelerin de uygun doz ve toparlanma süresi sağlandığında bilişsel performansı destekleme potansiyeli bulunmaktadır.

Akut egzersiz sonrası ortaya çıkan performans değişikliklerinin tek bir mekanizmayla açıklanması mümkün görünmemektedir. Serebral kan akımı, kortikal hemodinamikler, metabolik sinyaller, laktat ve nörotrofik faktörlerdeki değişiklikler birlikte rol oynayabilir. Ayrıca egzersiz dozu ile bilişsel performans arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı ve egzersiz sonrası değerlendirme zamanlamasının sonuçlar açısından kritik olduğu dikkate alınmalıdır. Bu nedenle esporculara yönelik akut egzersiz uygulamalarının fiziksel uygunluk düzeyi, oyun türü ve müsabaka zamanlaması dikkate alınarak bireyselleştirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak akut fiziksel egzersiz, esporcularda bilişsel hazır oluşu ve oyun performansını destekleyebilecek non-farmakolojik bir performans stratejisi olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte optimum egzersiz türü, şiddeti, süresi ve toparlanma zamanını belirleyebilmek için fizyolojik ve oyuna özgü performans ölçümlerini birlikte kullanan daha geniş örneklemli randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Gelecek araştırmalarda aynı esporcu grubu içerisinde düşük, orta ve yüksek şiddetli akut egzersizlerin aynı deneysel tasarım içerisinde karşılaştırılması ve performansın egzersiz öncesinde ve egzersizden 5, 15, 30 ve 60 dakika sonra değerlendirilmesi optimum dozun ve akut etkinin zaman profilinin belirlenmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca kalp hızı, laktat, HRV, BDNF, EEG, fNIRS veya serebral kan akımı göstergeleri gibi fizyolojik ölçümlerin oyun içi performansla eş zamanlı olarak değerlendirilmesi mekanistik açıklamaları

güçlendirebilir. Profesyonel ve elit oyuncuların yanı sıra kadın esporcuların daha fazla temsil edilmesi ve egzersiz reçetelerinin farklı oyun türlerinin bilişsel ve motor taleplerine göre özelleştirilmesi de gelecekteki çalışmalar açısından önemli görünmektedir.

KAYNAKLAR

- Cantelon, J. A., & Giles, G. E. (2021). A review of cognitive changes during acute aerobic exercise. *Frontiers in Psychology*, 12, 653158. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.653158>
- Chang, Y.-K., Ren, F.-F., Li, R.-H., Ai, J.-Y., Kao, S.-C., & Etnier, J. L. (2025). Effects of acute exercise on cognitive function: A meta-review of 30 systematic reviews with meta-analyses. *Psychological Bulletin*, 151(2), 240–259. <https://doi.org/10.1037/bul0000460>
- de Las Heras, B., Li, O., Rodrigues, L., Nepveu, J.-F., & Roig, M. (2020). Exercise improves video game performance: A win-win situation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(7), 1595–1602. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002277>
- Dinoff, A., Herrmann, N., Swardfager, W., & Lanctôt, K. L. (2017). The effect of acute exercise on blood concentrations of brain-derived neurotrophic factor in healthy adults: A meta-analysis. *European Journal of Neuroscience*, 46(1), 1635–1646. <https://doi.org/10.1111/ejn.13603>
- Dkaidek, T. S., Broadbent, D. P., & Bishop, D. T. (2023). The effects of an acute bout of ergometer cycling on young adults' executive function: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 21(4), 326–344. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2023.07.001>
- Garrett, J., Chak, C., Bullock, T., & Giesbrecht, B. (2024). A systematic review and Bayesian meta-analysis provide evidence for an effect of acute physical activity on cognition in young adults. *Communications Psychology*, 2, 82. <https://doi.org/10.1038/s44271-024-00124-2>
- Huang, T.-Y., Chen, F.-T., Li, R.-H., Hillman, C. H., Cline, T. L., Chu, C.-H., Hung, T.-M., & Chang, Y.-K. (2022). Effects of acute resistance exercise on executive function: A systematic review of the moderating role of intensity and executive function domain. *Sports Medicine - Open*, 8, 141. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00527-7>
- Ishihara, T., Drollette, E. S., Ludyga, S., Hillman, C. H., & Kamijo, K. (2021). The effects of acute aerobic exercise on executive function: A systematic review and meta-analysis of individual participant data. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 128, 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.06.026>
- Li, J., Herold, F., Ludyga, S., Yu, Q., Zhang, X., & Zou, L. (2022). The acute effects of physical exercise breaks on cognitive function during prolonged sitting: The first quantitative evidence. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 48, 101594. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2022.101594>

- Li, R.-H., Karageorghis, C. I., Chen, Y.-C., Chen, Y.-C., Liao, Y.-H., Hung, T.-M., & Chang, Y.-K. (2024). Effect of acute concurrent exercise training and the mediating role of lactate on executive function: An ERP study. *Psychology of Sport and Exercise*, 70, 102531. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102531>
- Mancı, E., Gençtürk, U., Günay, E., Güdücü, Ç., Herold, F., & Bediz, C. Ş. (2024). The influence of acute sprint exercise on cognition, gaming performance, and cortical hemodynamics in esports players and age-matched controls. *Current Psychology*, 43, 19643–19654. <https://doi.org/10.1007/s12144-024-05750-x>
- Moreau, D., & Chapple-De Lange, B. T. (2026). Acute cardiovascular exercise and circulating neurotrophic factors in humans: A systematic review and meta-analysis of mechanisms and methodological moderators. *Brain Research*, 1888, 150428. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2026.150428>
- Mulser, L., & Moreau, D. (2023). Effect of acute cardiovascular exercise on cerebral blood flow: A systematic review. *Brain Research*, 1809, 148355. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2023.148355>
- Rightmire, Z.B., Agostinelli, P.J., Murrah, W.M., Roper, J.A., Roberts, M.D., & Sefton, J.M. (2024). Acute High-Intensity Interval Training Improves Esport Performance in Super Smash Brothers Ultimate Competitors. *Journal of Electronic Gaming and Esports*.
- Shen, Q.-Q., Hou, J.-M., Xia, T., Zhang, J.-Y., Wang, D.-L., Yang, Y., Luo, R., Xin, Z.-L., Yin, H., & Cui, L. (2024). Exercise promotes brain health: A systematic review of fNIRS studies. *Frontiers in Psychology*, 15, 1327822. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1327822>
- Sun, H., Yao, J., & Zhu, Y. (2026). Exercise interventions and multidimensional cognitive function in esports players: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Psychology*, 17, 1910084. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1910084>
- Tari, B., Ahn, J., Dalton, C., Choo, S. Y., & Heath, M. (2023). Cerebral blood flow and immediate and sustained executive function benefits following single bouts of passive and active exercise. *Brain and Cognition*, 166, 105953. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2023.105953>
- Wachholz, F., Coenen, F., Zhang, M., & Heidenreich, H. (2026). Effects of acute and chronic physical exercise on esports performance: A systematic review. *Sports Medicine - Open*, 12, 56. <https://doi.org/10.1186/s40798-026-01034-9>
- Zhang, W., Wang, X., Li, X., Yan, H., Song, Y., Li, X., Zhang, W., & Ma, G. (2023). Effects of acute moderate-intensity aerobic exercise on cognitive function in E-athletes: A randomized controlled trial. *Medicine*, 102(40), e35108. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000035108>

TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ ÇERÇEVESİNDE 2005, 2018 ve 2024 SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETİM PROGRAMLARININ DEĞERLER EĞİTİMİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Hatice Nur BENLİ ^{1/} Doçent Doktor, Hafize ER TÜRKÜRESİN²

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
htcbenli22@gmail.com, 0009-0008-7551-5072

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilgiler Eğitimi ABD,
hafize.er@dpu.edu.tr, 0000-0002-2146-0036

Özet

Bireysel gelişimin ve toplumsal sürdürülebilirliğin temel dinamiklerinden biri olan değerler eğitimi çağın dinamiklerine bağlı olarak öğretim programlarında sürekli bir dönüşüm geçirmektedir. Bu araştırmada, Türkiye Yüzyılı Maarif modeli çerçevesinde 2005, 2018 ve 2024 Sosyal Bilgiler Öğretim Programlarının değerler eğitimi açısından gösterdiği felsefi, kavramsal ve yapısal değişimleri ortaya koymak amaçlanmıştır. Nitel araştırma yöntemlerinden doküman analizi deseniyle yürütülen çalışmada, Millî Eğitim Bakanlığı ve Talim Terbiye Kurulu Başkanlığı tarafından yayımlanan ilgili resmi program dokümanları veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Verilerin çözümlenmesinde betimsel analiz tekniğinden yararlanılmıştır. Araştırmanın veri analiz sürecindeki güvenilirliği sağlamak amacıyla bağımsız kodlayıcılar arası uyum yüzdesi, Miles ve Huberman'ın (2015) önerdiği güvenilirlik formülüne göre %92 olarak hesaplanmıştır. Farklı kodlanan az sayıdaki veri üzerinde ise uzmanlarla birlikte yeniden değerlendirme yapılarak uzlaşmaya varılmıştır.

Araştırma bulguları, programlarda değer öğretiminin niceliksel ve niteliksel açıdan değişim yaşandığını göstermektedir. 2005 programında 20 farklı programda yer alırken; 2018 programında süreç 10 “Kök Değer” etrafında organize edilmiş 18 değer, sarmal bir yaklaşımla işlenmiştir. 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ile doğrudan kazanım odaklı dikey yapı yerini; “Erdem-Değer-Eylem” mekanizmasını ve 4 temel çatı erdemi merkeze alan bütüncül bir yapıya bırakmıştır. Yeni modelde değerler doğrudan ders konusu olmaktan çıkarılıp öğrenme çıktılarına, alan becerilerine ve disiplinler arası süreçlerle birlikte verilmiştir. Ayrıca mahremiyet, merhamet, sabır ve psikolojik iyi oluşu destekleyen değerler ilk kez kapsama dâhil edilmiştir. Sonuç olarak, 2024 programının öğrencilere yalnızca bilgi aktarmayı değil; milli-manevi mirası evrensel değerlerle harmanlayarak “bütüncül ve erdemli şahsiyetler” yetiştirmeyi hedeflediği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Değerler eğitimi, doküman analizi, erdem-değer-eylem, Sosyal Bilgiler Öğretim Programı, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli.

AN INVESTIGATION OF THE 2005, 2018, AND 2024 SOCIAL STUDIES CURRICULUM FRAMEWORKS IN TERMS OF VALUES EDUCATION WITHIN THE SCOPE OF THE CENTURY OF TÜRKİYE EDUCATION MODEL

Abstract

Values education, as one of the fundamental dynamics of individual development and social sustainability, undergoes a continuous transformation in curricula depending on the dynamics of the era. This study aims to reveal the philosophical, conceptual, and structural changes of the 2005, 2018, and 2024 Social Studies Curricula in terms of values education within the framework of the Century of Türkiye Maarif Model. Conducted using document analysis, one of the qualitative research methods, the study utilized official curriculum documents published by the Ministry of National Education and the Board of Education as data sources. Descriptive analysis was employed to analyze the data. To ensure the reliability of the data analysis process, inter-coder agreement was calculated as 92% based on the reliability formula proposed by Miles and Huberman (2015). Consensus was reached on a small amount of differently coded data through a re-evaluation conducted with experts. The research findings indicate that values education in the curricula has undergone both quantitative and qualitative changes. While 20 different values were directly included in the 2005 curriculum, the 2018 curriculum organized 18 values around 10 "Core Values" through a spiral approach. With the 2024 Century of Türkiye Maarif Model, the direct learning-outcome-oriented vertical structure was replaced by a holistic framework centered on the "Virtue-Value-Action" mechanism and four fundamental overarching virtues. In the new model, values have been integrated into learning outcomes, domain skills, and interdisciplinary processes rather than being taught as direct lesson topics. Furthermore, values supporting privacy, compassion, patience, and psychological well-being have been included in the scope for the first time. In conclusion, it has been determined that the 2024 curriculum aims not merely to transmit knowledge to students, but to cultivate "holistic and virtuous personalities" by blending national-spiritual heritage with universal values.

Keywords: Values education, document analysis, virtue-value-action, Social Studies Curriculum, Century of Türkiye Maarif Model.

1. GİRİŞ

Toplumsal yaşamın düzenli ve sürdürülebilir bir yapıda devam ettirilebilmesi, temelde bireylerin ortak değerler etrafında şekillenen tutum ve davranışlar geliştirmelerine bağlıdır (Yazıcı, 2014). Değerler, bireylerin sosyal yaşam içerisindeki eylemlerini yönlendiren ve toplumsal bütünleşmeyi sağlayan en temel unsurlar arasında yer almaktadır. Nitekim Ersoy (2012) değerleri, sosyalleşme sürecinde öğrenilen, bireylerin grup ve çevre içerisindeki davranış standartlarını belirleyen ve toplumun sosyal vicdanına dayanan ortak davranış kodları olarak tanımlamaktadır. Diğer bir ifadeyle değerler; davranışın niteliğini belirleyen, hangi eylemin iyi ya da kötü olduğuna ilişkin fikir, inanç ve kabullerden oluşmaktadır (Yazıcı, 2014).

Bireylerin düşünce ve davranış dünyasının sahip olunan değerler tarafından biçimlendiği dikkate alındığında, şüphesiz ki bu değerlerin aktarımı ve kazandırılması süreci kritik bir önem arz etmektedir. Söz konusu değerler sisteminin temeli ilk olarak aile ortamında atılmakta; bireyin ilk sosyal öğrenmeleri ve değer kazanımları bu yapıda gerçekleşmektedir (Cüceloğlu, 2016). Bununla birlikte, ailenin üstlendiği bu birincil role rağmen, bireyin toplumsal yaşamında giderek genişleyen bir yer kaplayan okullar, değer gelişim sürecinde tamamlayıcı ve belirleyici bir işlev üstlenmektedir. Öyle ki sevgi, hoşgörü, dürüstlük, sorumluluk ve adalet gibi temel değerlerin benimsenmesinde okul ortamının ve öğretmenlerin etkisinin aileye kıyasla daha belirgin olduğu vurgulanmaktadır (Ulusoy ve Dilmaç, 2012). Bu durum ise, değerlerin kazandırılmasında tesadüfi yaklaşımlar yerine okul temelli, planlı ve sistemli bir eğitim yaklaşımını zorunlu kılmaktadır. Böylelikle değerler eğitimi bireylerin yalnızca bilişsel becerilerle değil, aynı zamanda ahlaki, etik ve toplumsal sorumluluk bilinciyle donatılmasını amaçlayan ve toplumun geleceği açısından stratejik bir eğitim alanı olarak kabul edilmektedir (Akbaba Altun, 2003; Zümrütkal, 2021).

Söz konusu bu gereksinim doğrultusunda, etkili ve nitelikli bir eğitim yapısının tesis edilmesi amacıyla değişime açık ve geliştirilebilir öğretim programlarının hazırlanması son yıllarda öncelikli bir konu haline gelmiştir (Dere, 2021). Özellikle 21. yüzyılda yaşanan hızlı toplumsal ve kültürel dönüşümler, bireylerin klasik akademik bilgi ve becerilerin yanı sıra etik, ahlaki ve toplumsal değerlerle de donatılmasını gerekli kılmaktadır (Demirbaş ve Yorulmaz, 2025). Bu dönüşümün doğal bir sonucu olarak, Türk eğitim sisteminde değerler eğitiminin formal yapısı tarihsel süreç içerisinde kademeli olarak güçlendirilmiştir. Nitekim 2005 Sosyal Bilgiler Öğretim Programı, değerler eğitimi örtük bir süreç olmaktan çıkarıp kazanımlarla doğrudan ilişkilendirilerek ve programın merkezine alarak bu alanda önemli bir kırılma noktası oluşturmuştur (Kan, 2010). Ardından hayata geçirilen 2018 Sosyal Bilgiler Öğretim Programı ise, değerleri “kök değer” (adalet, dostluk,

dürüstlük, öz denetim, sabır, saygı, sevgi, sorumluluk, vatanseverlik, yardımseverlik) çerçevesinde standardize etmiş ve değerlerin becerilerle bütünleşik bir yapıda aktarılmasını hedeflemiştir (Köksal vd., 2022).

Ancak küresel boyutta yaşanan hızlı teknolojik, sosyal ve kültürel değişimler, ulusal ve evrensel değerleri kapsayan daha bütüncül ve esnek bir değerler eğitime duyulan ihtiyacı yeniden belirginleştirmiştir (Arı, 2024). Tüm bu tarihsel birikim, küresel ve toplumsal gelişmeler ışığında, Türk eğitim sisteminin güncel ihtiyaçlara cevap verebilmesi amacıyla uygulamaya konulan Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM), öğrencinin çok boyutlu gelişimini merkeze alan yenilikçi ve bütüncül bir paradigma sunmaktadır. Model, geçmiş programların birikimini devralarak yalın bir akademik bilgi aktarımının ötesine geçmekte; kültürel, ahlaki ve toplumsal değerlerin içselleştirilmesini hedefleyen derinlikli bir anlayışı temel almaktadır. Nitekim Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında eğitimin yalnızca akademik başarıya indirgenemeyeceği; bireyin değer, erdem ve beceri yönleriyle bir bütün olarak geliştirilmesi gerektiği açıkça vurgulanmaktadır (MEB, 2024). Dolayısıyla bu model, geleneksel bilgi merkezli öğretim anlayışından uzaklaşarak beceri ve değer temelli bir eğitim yaklaşımını benimsemektedir. Söz konusu yaklaşım, başta Sosyal Bilgiler dersi olmak üzere tüm disiplinlerde ve okul içi etkinliklerde uygulanabilme potansiyeline sahip olduğu gibi yükseköğretim düzeyinde de mesleki ve toplumsal sorumluluk bilincinin gelişimine katkı sunacak niteliktedir (Demirbaş ve Yorulmaz, 2025).

Buna karşın, mevcut alan yazın incelendiğinde, 2005 ve 2018 programlarının ardından uygulamaya konulan Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli bağlamında Sosyal Bilgiler dersinin değerler eğitimi ile olan ilişkisinin henüz yeterli düzeyde ve derinlemesine ele alınmadığı görülmektedir. Bu akademik boşluk ise, Sosyal Bilgiler öğretiminin ilgili model doğrultusunda değerler eğitimi ne şekilde yapılandığı ve kapsadığı sorusunu kaçınılmaz olarak gündeme getirmektedir. İşte bu gerekçeden hareketle, araştırmanın temel problemi; "Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli çerçevesinde Sosyal Bilgiler dersinde değerler eğitiminin kapsamı nedir? " şeklinde biçimlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

Bu bölümde araştırmanın modeli, veri kaynağı ve veri toplama araçları, verilerin analizi, geçerlik ve güvenilirliğe yer verilmiştir.

Araştırma Modeli

Nitel araştırma yöntemiyle tasarlanan bu çalışmada doküman inceleme yöntemi kullanılmıştır. Doküman incelemesi, araştırılması hedeflenen olgu ve olaylar hakkında bilgi içeren yazılı materyallerin analizini

kapsamaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2003). Bu araştırmada araştırmamanın temel yazılı materyalleri olarak MEB tarafından hazırlanan 2005, 2018 ve 2024 Sosyal Bilgiler Öğretim Programları ile Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin esaslarının ayrıntılı olarak açıklandığı dokümanlardan yararlanılmıştır. Doküman incelemesi sonucunda öğretim programlarından elde edilen veriler betimsel analize tabi tutulmuş elde edilen bulgular oluşturulan tema ve kategoriler kapsamında karşılaştırmalı bir bakış açısıyla organize edilerek sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

Veri Kaynağı ve Verilerin Toplanması

Araştırmanın temel veri kaynaklarını Millî Eğitim Bakanlığı [MEB] tarafından yayımlanan 2005, 2018 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı ile 2024 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında yayımlanan resmî dokümanlar oluşturmaktadır. Veriler, kamuya açık ve resmî erişim kanalları aracılığıyla temin edilmiştir. Dokümanların seçiminde güncellik, resmî nitelik taşıması ve araştırmanın amacı doğrultusunda değerler eğitimi boyutuna ilişkin içerik barındırması ölçütleri dikkate alınmıştır.

Verilerin Analizi

Araştırmada elde edilen veriler doküman analizi tekniğine uygun olarak çözümlenmiştir. Bu kapsamda öncelikle incelenen dokümanlar ayrıntılı biçimde okunmuştur ve değerler eğitimi ile ilişkili ifadeler belirlenmiştir. Ardından söz konusu ifadeler benzer özelliklerine göre sınıflandırılarak toplanmıştır. 2005, 2018 ve 2024 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programları içerdiği değerler bakımından karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular sistematik biçimde yorumlanarak sunulmuştur.

Geçerlik ve Güvenirlik

Araştırmanın geçerliğini artırmak amacıyla veri kaynakları doğrudan resmî ve birincil dokümanlardan seçilmiştir. Analiz sürecinde araştırma amacıyla uyumlu kavramsal bir çerçeve oluşturulmuştur, veriler bu çerçeve doğrultusunda sistematik biçimde incelenmiştir. Güvenirliği sağlamak amacıyla kategoriler arasındaki tutarlılık kontrol edilmiştir. Ayrıca yorumlama sürecinde araştırmacı öznelliğini en aza indirmek için bulgular doğrudan doküman içerikleri temel alınarak sunulmuş ve gerektiğinde doğrudan ifadelere yer verilmiştir (Miles & Huberman, 2015).

3. BULGULAR

Araştırmada 2005, 2018 ve 2024 sosyal bilgiler öğretim programlarında yer alan değerler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir ve elde edilen bulgular sunulmuştur.

Tablo 1. 2005, 2018 ve 2024 Sosyal Bilgiler Öğretim Programı değerleri

Değer Adı	2005 Programı	2018 Programı	2024 Programı
Adalet / Adil Olma	+	+	+
Aile Birliği / Aile Bütünlüğü	+	+	+
Bağımsızlık	+	+	+*
Barış	+	+	-
Bilimsellik	+	+	-
Çalışkanlık	+	+	+
Dayanışma	+	+	-
Dostluk	-	-	+
Duyarlılık	+	+	+
Dürüstlük	+	+	+
Eşitlik	-	+	-
Estetik	+	+	+
Farklılıklara Saygı	+	-	-
Hoşgörü	+	-	-
Mahremiyet	-	-	+
Merhamet	-	-	+
Misafirperverlik / Misafirsevenlik	+	-	-
Mütevazılık	-	-	+
Özgürlük	+	+	+
Sabır	-	-	+
Sağlıklı Olma / Sağlıklı Yaşam	+	-	+

Saygı	+	+	+
Sevgi	+	+	+
Sorumluluk	+	+	+
Tasarruf	-	+	+
Temizlik	+	-	+
Vatanseverlik	+	+	+
Yardımseverlik	+	+	+

Tablo verileri incelendiğinde; *Adalet, Aile Birliği/Bütünlüğü, Çalışkanlık, Duyarlılık, Dürüstlük, Estetik, Özgürlük, Saygı, Sevgi, Sorumluluk, Vatanseverlik* ve *Yardımseverlik* olmak üzere toplam 12 değer 2005, 2018 ve 2024 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programlarının tamamında ortak olarak yer aldığı, *Bağımsızlık* değerinin ise ilk iki programda doğrudan değer olarak sunulurken 2024 programında "eğilim" başlığı altına alındığı tespit edilmiştir. 2005 programında bulunan *Sağlıklı Olma* ve *Temizlik* değerleri 2018 programında çıkarılmış, ancak 2024 programında *Sağlıklı Yaşam* ve *Temizlik* adıyla yeniden program kapsamına dâhil edilmiştir; 2018 programına eklenen *Tasarruf* değeri ise 2024 programında varlığını sürdürmüştür. Diğer taraftan, 2005 programında yer alan *Barış, Bilimsellik, Dayanışma, Farklılıklara Saygı, Hoşgörü, Misafirperverlik* değerleri 2018 veya 2024 programlarının değer listelerinde bulunmazken; 2018 programında yer alan *Eşitlik, Barış, Bilimsellik* ve *Dayanışma* değerlerinin 2024 programı değer listesinde ayrı başlıklar olarak yer almadığı belirlenmiştir. Buna karşın, *Dostluk, Mahremiyet, Merhamet, Mütevazılık* ve *Sabır* değerleri ise önceki iki programda bulunmayıp ilk kez 2024 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı ile birer değer olarak tabloya yansımıştır.

Tablo 2. 2005-2018-2024 öğretim programlarında yer alan kök değerler ve TYMM’de yer alan çatı değerler

2005	2018	2024
Adalet	Adalet	Adalet
Barış	Dostluk	Saygı
Doğal çevreye duyarlılık	Dürüstlük	Sorumluluk
Duyarlılık	Öz denetim	
Dürüstlük	Sabır	
Eşitlik,	Saygı	
Hoşgörü,	Sevgi	
Misafirperverlik,	Sorumluluk	
Saygı	Vatanseverlik	
Sorumluluk ve yardımseverlik	Yardımseverlik	

Tablo verileri incelendiğinde; 2005 programında *Adalet, Barış, Doğal çevreye duyarlılık, Duyarlılık, Dürüstlük, Eşitlik, Hoşgörü, Misafirperverlik, Saygı* ve *Sorumluluk ve yardımseverlik* olmak üzere toplam 10 değer öne çıkarken, 2018 programında *Adalet, Dostluk, Dürüstlük, Öz denetim, Sabır, Saygı, Sevgi, Sorumluluk, Vatanseverlik* ve *Yardımseverlik* şeklinde 10 değer yer aldığı, 2024 programında ise doğrudan *Adalet, Saygı* ve *Sorumluluk* değerlerinin vurgulandığı tespit edilmiştir. Programlar arası karşılaştırmada *Adalet* değerinin 2005, 2018 ve 2024 programlarının tamamında ortak olarak korunduğu; *Saygı* ile *Sorumluluk* değerlerinin 2005 ve 2018 programlarının ardından 2024 programında da varlığını sürdürdüğü görülmektedir. Buna karşın 2005 programında yer alan *Barış, Doğal çevreye duyarlılık, Eşitlik, Hoşgörü* ve *Misafirperverlik* değerleri ile 2018 programına dâhil edilen *Dostluk, Öz denetim, Sabır, Sevgi* ve *Vatanseverlik* değerlerinin 2024 programının sunulan değer kümesinde doğrudan yer almadığı belirlenmiştir.

Sosyal Bilgiler öğretim programlarında değerler ile ilgili kazanımlar, öğretim programı ve sınıf düzeylerine göre incelenmiştir. Sınıf düzeylerine göre kazanım sayıları aşağıda yer alan tabloda karşılaştırmalı şekilde gösterilmektedir.

Tablo 3. Sosyal Bilgiler Öğretim Programlarında değerler ile ilişkili kazanımlar

Öğretim Programı	4.Sınıf	5.Sınıf	6.Sınıf	7.Sınıf
2005 Sosyal Bilgiler Öğretim Programı	7 Kazanım	8 Kazanım	6 Kazanım	11 Kazanım
2018 Sosyal Bilgiler Öğretim Programı	6 Kazanım	8 Kazanım	9 Kazanım	7 Kazanım
2024 Sosyal Bilgiler Öğretim Programı	3 Öğrenme Çıktısı	5 Öğrenme Çıktısı	6 Öğrenme Çıktısı	4 Öğrenme Çıktısı

Tablo verileri incelendiğinde; 2005 ve 2018 programlarında değerlerin müstakil birer başlık olarak sunulmasına karşın, 2024 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programında (Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli) değerlerin doğrudan

öğrenme çıktılarının bünyesinde ve bu çıktıların alt bileşeni ve eğilimi şeklinde yapılandırıldığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda *Adalet, Aile Birliği/Bütünlüğü, Çalışkanlık, Duyarlılık, Dürüstlük, Estetik, Özgürlük, Saygı, Sevgi, Sorumluluk, Vatanseverlik, Yardımseverlik, Tasarruf, Sağlıklı Yaşam ve Temizlik* değerleri ile 2024 programında ilk kez yer alan *Dostluk, Mahremiyet, Merhamet, Mütevazılık ve Sabır* değerleri, doğrudan dersin öğrenme çıktılarıyla ilişkilendirilerek sunulmuştur. Diğer taraftan, 2005 veya 2018 programlarında yer alan *Barış, Bilimsellik, Dayanışma, Eşitlik, Farklılıklara Saygı, Hoşgörü ve Misafirperverlik* gibi değerlerin ise 2024 programındaki öğrenme çıktıları ve alt bileşenleri içerisinde doğrudan yer almadığı belirlenmiştir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırmada, 2005, 2018 ve 2024 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programları değerler eğitimi boyutları açısından nitel bir yaklaşımla incelenmiş ve değerlerin program metnindeki konumu, sunuluş biçimleri, kavramsal çerçeveleri ve zaman içerisindeki değişimleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. İnceleme sonucunda her üç öğretim programında da değerler eğitiminin Sosyal Bilgiler dersinin varlık nedeni, genel amaçları ve disiplinler arası içeriğiyle doğrudan ilişkilendirildiği görülmüştür. Ancak değerlerin programlar içerisindeki teorik konumlandırılması, sınıflama biçimleri, beceri ve alan becerileriyle entegrasyon düzeyi ile öğretim sürecine aktarılmasını sağlayan pedagojik tasarım ilkelerinde dönemsel ve yapısal farklılıkların bulunduğu tespit edilmiştir.

2005 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı, Türk eğitim sisteminde davranışçı yaklaşımdan yapılandırmacı anlayışa geçişin miladı olarak değerler eğitimi ilk kez belirgin ve müstakil bir öge olarak programın merkezine yerleştirmiştir. Bu dönemde değerler, öğretim programında ayrı başlıklar altında listelenmiş; değer kazanımında hem içerik aktarımıyla doğrudan hem de öğrenme-öğretme süreçlerindeki örtük program öğeleriyle dolaylı değer öğretimi yaklaşımları benimsenmiştir (Öngören, 2024; Yıldırım ve Demirel, 2019). 2018 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı'nda ise 2005 programının getirdiği aşırı ayrıntılı yapı sadeleştirilerek değerler eğitimi daha sistematik, uygulamada esnek ve kök değerler kavramı etrafında bütünleşen bir yapıya kavuşturulmuştur (MEB, 2018). 2018 programı ile değer öğretimine verilen önem pedagojik açıdan bir adım daha ileriye taşınmış; değerlerin dersin beceri ve kazanımları ile olan esnek entegrasyonu güçlendirilmiştir. Bu süreç, 2005'ten 2018'e geçişte değerler eğitiminin öğretim programlarındaki işlevsel rolünün daha belirgin ve uygulanabilir hâle geldiğini kanıtlamaktadır (Altay, 2022).

2024 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı ise Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM) doğrultusunda değerler eğitimi parçalı bir ders ögesi olmanın ötesine geçirek bütüncül ve felsefî bir eğitim anlayışıyla

yeniden yapılandırmıştır. İnsanı zihinsel, ruhsal, sosyal ve ahlaki yönleriyle bir bütün olarak merkeze alan bu modelde değerler tek birer liste başlığı olmak yerine beceriler, eğilimler, sosyal-duygusal öğrenme becerileri ve öğrenme çıktılarıyla iç içe geçerek Erdem-Değer-Eylem Çerçevesi içerisinde konumlandırılmıştır. Model bünyesinde oluşturulan bu yapısal bütünlük huzurlu aile ve toplum, huzurlu insan ve yaşanabilir çevre stratejik hedeflerine ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda programda *Saygı, Sorumluluk ve Adalet* çatı değerler (üst ilkesel değerler) olarak tanımlanmış; bu çatı değerler doğrultusunda *Sevgi, Dostluk, Özgürlük, Dürüstlük, Vatanseverlik, Merhamet, Sabır, Mütevazılık ve Mahremiyet* gibi değerlerin öğrenciler tarafından yalnızca bilişsel düzeyde kavranması değil, içselleştirilerek somut tutum ve davranışlara dönüştürülmesi hedeflenmiştir (Kan, 2010; MEB, 2024).

Ayrıca programların nicel ve pedagojik yapıları karşılaştırıldığında; 2005 ve 2018 programlarında değerlerin müstakil kazanım ifadeleri üzerinden yapılandırıldığı, 2024 programında ise kazanım odaklılıktan öğrenme çıktısı ve süreç bileşeni odaklılığa geçildiği saptanmıştır. 2024 programında öğrenme çıktısı sayısındaki nicel azalma, değerler eğitiminin nitel olarak zayıfladığı anlamına gelmemekte aksine değerlerin öğrenme çıktılarının duyuşsal alt bileşenlerine ve eylem boyutlarına yedirilerek dersin tüm süreçlerine yaygınlaştırıldığını göstermektedir.

Sonuç olarak; Sosyal Bilgiler öğretim programlarında değerler eğitimi 2005'te vatandaşlık odaklı, 2018'de sadeleştirilmiş kök değerler odaklı, 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nde ise karakter inşası, ahlaki erdemler ve eyleme dönüşen bütüncül insan gelişimi odaklı bir değişime uğramıştır.

KAYNAKLAR

- Akbaba Altun, S. (2003). Eğitim yönetimi ve değerler. *Değerler Eğitimi Dergisi*, 1(1), 7-17.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/ded/article/312606>
- Altay, N. (2022). Sosyal bilgiler ders kitaplarının değerler bakımından incelenmesi. *Eğitim Felsefesi ve Sosyolojisi Dergisi*, 3(1), 17-26. <https://doi.org/10.29329/jeps.2022.507.2>
- Arı, R. (2024). *Eğitim psikolojisi: Gelişim ve öğrenme* (9. baskı). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Cüceloğlu, D. (2016). *Başarıya götüren aile*. Remzi Kitabevi.
- Demirbaş, Y. E., & Yorulmaz, B. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ilköğretim sosyal bilgiler dersi öğretim programının değerler eğitimi açısından incelenmesi. *Değerler Eğitimi Dergisi*, 23(45), 311-357.
<https://doi.org/10.34234/ded.1654849>
- Dere, İ. (2021). Kültürel mirası belgeleyerek öğrenme: Sosyal bilgiler öğretmen adaylarının saha tecrübeleri. *International Journal of Geography and Geography Education*, 43, 108-121.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/igge/article/779915>
- Ersoy, E. (2012). *Değer farklılaşmalarının sosyolojik boyutu*. Kum Saati Yayınları.
- Kan, Ç. (2010). Sosyal bilgiler eğitimi ve değerler eğitimi. *Millî Eğitim Dergisi*, 40(187), 138-145.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/milliegitim/article/407034>
- Köksal, K., Yaylacı, Z., Yel, Ü., Erbaş, S. ve Kılcan, B. (2022). Sosyal bilgiler ders kitaplarının kök değerler açısından incelenmesi. *Bayterek Uluslararası Akademik Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 74-87.
<https://doi.org/10.55184/bayterek.1129797>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2015). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2005). *İlköğretim sosyal bilgiler dersi öğretim programı*. MEB Yayınları.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2018). *Sosyal bilgiler dersi öğretim programı (İlkokul ve ortaokul 4, 5, 6 ve 7. sınıflar)*. MEB Yayınları.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2024a). *Türkiye Yüzyılı maarif modeli öğretim programları ortak metni*. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2024b). *Sosyal bilgiler dersi öğretim programı*. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2024c). *Türkiye Yüzyılı maarif modeli: Erdem-değer-eylem çerçevesi*. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.

- Millî Eğitim Bakanlığı. (2024d). *Türkiye Yüzyılı maarif modeli: Programlar arası bileşenler*. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.
- Öngören, H. (2024). Sosyal bilgiler öğretim programlarının değerler açısından karşılaştırılması. *Elektronik Eğitim Bilimleri Dergisi*, 13(26), 172-190. <https://doi.org/10.55605/ejedus.1562084>
- Turan, R., Gedik, H., & Kutluay, G. (2025). 2024 sosyal bilgiler dersi öğretim programı üzerine karşılaştırmalı bir analiz. *Ulusal Eğitim Akademisi Dergisi*, 9(1), 107-134. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/uead/article/1627065>
- Ulusoy, K., & Dilmaç, B. (2012). *Değerler eğitimi*. Pegem Akademi.
- Yazıcı, M. (2014). Değerler ve toplumsal yapıda sosyal değerlerin yeri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 209-223. <https://doi.org/10.18069/fusbed.10221>
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2003). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık.
- Yıldırım, S. G., & Demirel, M. (2019). Türk tarihinde değerler ve değerler eğitimi üzerine bir inceleme. *Eğitim Kuram ve Uygulama Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 92-99. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ekuat/issue/44939/559445>
- Zümrütkal, S. (2021). Değer eğitimi perspektifinde öğretmen rolü. *Karadeniz Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 240-253. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kdeniz/article/936376>

SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETMENLERİNİN TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETİM PROGRAMINA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Ayşegül ÖZDEMİR¹/ Doçent Doktor, Hafize ER TÜRKÜRESİN²

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, aysegulozdemir1234@gmail.com, 0009-0002-3575-9263

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilgiler Eğitimi ABD, hafize.er@dpu.edu.tr, 0000-0002-2146-0036

Özet

Bu araştırmanın amacı, ortaokullarda görev yapan Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı'na ilişkin görüş, deneyim ve değerlendirmelerini nitel araştırma gelenekleri doğrultusunda incelemektir. Nitel araştırma desenlerinden fenomenoloji (olgu bilim) deseniyle yürütülen araştırmanın çalışma grubunu farklı mesleki kıdem ve kurumsal deneyim türlerine sahip olan amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme ile belirlenmiş 8 Sosyal Bilgiler öğretmeni oluşturmaktadır. Yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla elde edilen veriler tematik analiz tekniğiyle incelenmiş; kodlama sürecinde tekrarlayan ifadeler elenerek ulaşılan temel kodlar anlam bütünlüklerine göre dört ana tema ve bağlı kategoriler altında yapılandırılmıştır. Araştırmanın bulgularına göre, “Öğretim Programına İlişkin Algılar” teması altında öğretmenlerin en yüksek frekansla vurguladıkları kodlar beceri ve değer odaklılık, ezberci yapıdan uzaklaşma ile öz kavramlara ve kök değerlere dönüş olmuştur. Katılımcılar programın felsefi zeminini ve kavramların yerleştirilmesini olumlu bulmakla birlikte; bürokratik-evrak yükü, sık program değişikliği ve ders saati yetersizliği olumsuz algılanan kodlar olarak öne çıkmıştır. “Ders Kitapları ve Materyal Yapısı” temasında görsel ve harita zenginliği ile etkinlik çeşitliliği en çok tekrarlanan olumlu kodlar iken, sınıf seviyeleri arasındaki içerik dengesizliği ve kazanım yoğunluğu eleştirilen kodlar arasındadır. “Sınıf İçi Uygulamalar ve Teknoloji” temasında öğretmenlerin ders süreçlerinde en sık başvurdukları yöntemler oyunlaştırma, drama, kavram öğretimi ve örnek olay ve problem çözme kodlarıyla ifade edilmiş; teknoloji entegrasyonunda ise EBA, MEBİ ve dijital materyal kullanımı öne çıkan diğer kodlar olmuştur. “Sınırlılıklar ve Geliştirilmeye Açık Alanlar” temasında ise katılımcıların üzerinde en çok uzlaştığı kodlar süreç odaklı değerlendirme araçlarının yarattığı zaman ve evrak yükü, yapay zekâ ve dijital vatandaşlık gibi çağdaş becerilerin müfredattaki yetersizliği ve öğretmenlere yönelik uygulama odaklı hizmet içi eğitim ihtiyacı olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak öğretmenlerin modeli felsefi ve içerik boyutunda büyük oranda benimsedikleri, ancak uygulamanın niteliğini artırmak adına süreç değerlendirmedeki bürokratik yükün azaltılması ve ders saatlerinin yeniden yapılandırılması gerektiğini savundukları görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Fenomenoloji, Sosyal Bilgiler Öğretimi, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli

INVESTIGATION OF SOCIAL STUDIES TEACHERS' OPINIONS ON THE CENTURY OF TÜRKİYE MAARİF MODEL SOCIAL STUDIES CURRICULUM

Abstract

The aim of this study is to examine the views, experiences, and evaluations of Social Studies teachers working in middle schools regarding the Social Studies Curriculum of the Türkiye Century Education Model, in accordance with the traditions of qualitative research. The study was conducted using the phenomenological design, one of the qualitative research designs. The study group consisted of eight Social Studies teachers with different levels of professional seniority and institutional experience, who were selected through criterion sampling, a type of purposive sampling. The data obtained through a semi-structured interview form were analyzed using thematic analysis. During the coding process, repetitive statements were eliminated, and the resulting codes were organized into four main themes and their corresponding categories according to their semantic coherence. According to the findings, under the theme of “Perceptions of the Curriculum,” the codes most frequently emphasized by the teachers were skills- and values-orientedness, moving away from a rote-learning structure, and a return to core concepts and foundational values. Although the participants viewed the philosophical foundation of the curriculum and the localization of concepts positively, bureaucratic and paperwork-related workload, frequent curriculum changes, and insufficient instructional time emerged as negatively perceived aspects. Under the theme of “Textbooks and Material Structure,” visual and map richness and the variety of activities were the most frequently repeated positive codes, whereas imbalances in content distribution across grade levels and the high density of learning outcomes were among the aspects criticized by the participants. Under the theme of “Classroom Practices and Technology,” the methods most frequently employed by teachers during instructional processes were expressed through the codes of gamification, drama, concept teaching, case studies, and problem solving. Regarding technology integration, the use of EBA, MEBİ, and digital materials emerged as prominent codes. Under the theme of “Limitations and Areas Open to Improvement,” the codes on which the participants most strongly agreed were the time and paperwork burden created by process-oriented assessment tools, the insufficient coverage of contemporary skills such as artificial intelligence and digital citizenship in the curriculum, and the need for practice-oriented in-service training for teachers. Overall, the findings indicate that teachers largely embrace the model in terms of its philosophical foundations and content. However, they argue that reducing the bureaucratic burden associated with process-oriented assessment and restructuring instructional hours are necessary to improve the quality of implementation.

Keywords: Phenomenology, Social Studies Education, Türkiye Century Education Model

1. GİRİŞ

Sosyal bilgiler, Latince kökenli *socialis* kavramından türetilen toplumsal gerçekliği, insan ilişkilerini ve kurumları çok disiplinli bir perspektifle ele alan dinamik bir çalışma alanıdır (Kurtde Fidan, 2016). Bu ders disiplinler arası bir sentez oluşturarak edindiği bilgi, kavram ve yöntemleri bütüncül bir yapıda sunmakta, öğrencilere toplumsal olayları çok boyutlu değerlendirebilme yetisi kazandırmaktadır. Hızla değişen küresel koşullara entegre olabilen bireyler yetiştirmeyi hedefleyen Sosyal Bilgiler öğretimi; bilişsel, duyuşsal ve davranışsal kazanımlar aracılığıyla bireysel ve toplumsal gelişime stratejik katkılar sunar (Sever, 2015). Bilimsel ve teknolojik paradigmanın ivme kazandığı çağdaş toplum yapısında, bireylerin değişim dinamiklerine uyum sağlayabilmesi nitelikli ve esnek bir eğitim öğretim sürecini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda eğitim sistemleri toplumsal ihtiyaçlar, bireysel beklentiler ve devletlerin stratejik vizyonları paralelinde sürekli bir yenilenme ve revizyon süreci içerisinde. Eğitim politikalarındaki bu değişim hareketleri, mevcut sistemsel ve pedagojik ihtiyaçları karşılamak amacıyla gerçekleştirilen programlardaki düzenlemelerle desteklenmektedir (Uygun ve Akgül, 2024).

Bireylerin içinde yaşadıkları sosyo-kültürel ve tarihsel bağlamı anlamlandırmaları, çağın gerektirdiği yetkinlikleri kazanmaları ve küresel gelişmelere uyum sağlamaları nitelikli, dinamik ve işlevsel öğretim programlarının varlığı ile mümkündür. Öğretim programları, bireylerin toplumsallaşma sürecini yönlendirmede ve onları hayata hazırlamada kurucu bir role sahiptir. Dersin temel varlık nedeni bireylere demokratik vatandaşlık bilinci kazandırmak, küresel ve yerel ölçekteki çevrelerini tanıtmak ve karşılaştıkları karmaşık toplumsal problemlere akılcı ve sürdürülebilir çözümler üretebilme becerisi aşılmasıdır (Banks, 2015). Son yarım asırda küresel ölçekte yaşanan pedagojik paradigma dönüşümleri, Türkiye’deki öğretim programlarının yapılandırılmasına da doğrudan yansımıştır. Bu doğrultuda Sosyal Bilgiler Öğretim Programı, 2024 yılında kapsamlı bir revizyona tabi tutularak “Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli” vizyonu doğrultusunda güncel yaşamın ve geleceğin gereksinimleriyle uyumlu hale getirilmiştir. Programların kuramsal ve yapısal boyutlarında dönemsel güncellemelere gidilse de eğitim sisteminin nihai amacı hak ve sorumluluklarının farkında olan, etkin, eleştirel düşünebilen ve sorumluluk sahibi vatandaşlar yetiştirmek olmuştur. Türkiye’de Sosyal Bilgiler eğitimi tarihsel olarak incelendiğinde, dersin 1953 yılından itibaren öğretim programlarında yer almaya başladığı, 1968 reformundan itibaren ise toplumsal ve siyasal dinamiklere paralel olarak birden fazla kez güncellendiği görülmektedir. Özellikle 2005 programı yapılandırmacı yaklaşımı benimseyerek öğrenci merkezli bir yönelim sunmuş, 2018 düzenlemesi ise bu seviyenin devamı niteliğinde kalmıştır. 2024 yılında yürürlüğe giren yeni

program ise yenilikçi pedagojik yaklaşımlara uyum sağlama ve eğitimde niteliksel bir dönüşüm gerçekleştirme çabasının bir sonucu olarak şekillenmiştir (Erbudak ve Yeşilbursa, 2025).

Eğitim programlarında yalnızca teorik bilgi aktarımına odaklanan geleneksel yaklaşımlardan, beceri ve değer odaklı yetkinlik modeline geçilmesiyle birlikte; Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli 2024 Sosyal Bilgiler Ders Öğretim Programı (TYMM SBDÖP), bireyin bütüncül gelişimini esas alan bir yapı sergilemektedir. Programın öne çıkan yapı taşlarından biri, sosyal katılım becerisini çok boyutlu ve eylemsel bir ekseninde ele almasıdır. Sosyal katılımın gelişimi; öğrencilerin demokrasi, hak, sorumluluk ve birlikte yaşam gibi temel kavramları zihinsel süreçlerinde doğru yapılandırmalarına ve anlamlandırmalarına bağlıdır. Programda benimsenen “Erdem-Değer-Eylem” yaklaşımı aracılığıyla, değerlerin yalnızca bilişsel düzeyde kalması engellenerek somut davranışlara ve tutumlara dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle sosyal katılım, soyut bir kavramsal çerçeve olmanın ötesine geçerek deneyimsel bir beceri niteliği kazanmaktadır. Bunun yanı sıra programlar arası yatay ve dikey ilişkilendirmeler, okul dışı öğrenme ortamlarının sürece entegrasyonu ve okul temelli planlama gibi uygulamalar, öğrencilerin toplumsal sorunlara duyarlı, çözüm üretebilen ve demokratik süreçlere aktif katılım gösteren etkin vatandaşlar olarak yetişmelerine olanak sağlamaktadır (Çifçi, 2025).

Nitel araştırma yaklaşımlarından fenomenoloji (olgubilim) deseniyle kurgulanan bu çalışmada; eğitim reformunun doğrudan uygulayıcısı ve taşıyıcısı konumunda olan Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Öğretim Programı'na ilişkin canlı deneyimlerine, algılarına ve yükledikleri öznel anlamlara odaklanılmıştır. Eğitimde gerçekleştirilen program dönüşümlerin başarısı, uygulayıcıların bu reformu nasıl içselleştirdikleri ve geçmiş mesleki tecrübeleriyle nasıl bütünleştirdikleri ile doğrudan ilişkilidir (Fullan, 2015; van Manen, 2016). Bu bağlamda, yeni programa ilişkin öğretmen görüşlerinin öznel yaşantılar üzerinden derinlemesine incelenmesi, modelin sahadaki yansımalarını ve niteliğini anlamlandırmak adına kritik bir önem taşımaktadır.

Bu araştırma, Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında yenilenen Sosyal Bilgiler Öğretim Programı'na ilişkin değerlendirmelerini fenomenolojik bir perspektifle ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür. Çalışma kapsamında öğretmenler, yeni modeli detaylı biçimde incelemiş ve önceki öğretim programı tecrübelerini de referans alarak değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

2. YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu araştırmada, nitel araştırma yaklaşımlarından fenomenoloji (olgubilim) deseni benimsenmiştir. Fenomenolojik desen bireylerin belirli bir olguya, kavrama ya da yaşantıya ilişkin yükledikleri öznel anlamları, algısal süreçleri ve ortak deneyimleri kendi perspektiflerinden hareketle derinlemesine ortaya koymayı amaçlar (Creswell, 2013; Merriam, 2009). Fenomenolojik araştırmaların temel amacı odaklanılan olgunun bireysel deneyimler üzerinden çözümlemesini yaparak söz konusu yaşantının özüne ulaşabilmektir (Patton, 2015; van Manen, 2016). Bu araştırmanın odak olgusunu ise “Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı” oluşturmaktadır. Çalışmada, söz konusu modelin doğrudan uygulayıcısı konumundaki Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin; sınıf içi öğretim pratikleri, müfredat yapısına ilişkin algıları, ders kitapları ve öğretim materyallerinin kullanımına dair deneyimleri, ölçme-değerlendirme süreçlerindeki yaşantıları ile karşılaştıkları kurumsal ve uygulamaya dönük sınırlılıklar nitel bir yaklaşımla derinlemesine incelenmiştir.

Çalışma Grubu

Fenomenolojik araştırmaların temel amacı; odaklanılan olguyu bizzat deneyimlemiş ve bu olguya ilişkin zengin, derinlemesine veri sunabilecek bireylere ulaşmaktır (Creswell ve Poth, 2018; Patton, 2015). Bu doğrultuda araştırmanın çalışma grubu, amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Ölçüt örnekleme; araştırmanın nitel amacına uygun olarak önceden belirlenmiş belirli niteliklere veya standartlara sahip durumların, olayların ya da kişilerin derinlemesine incelenmesini esas alır (Yıldırım ve Şimşek, 2021). Ayrıca katılımcıların deneyim zenginliğini ve çeşitliliğini yansıtabilmek amacıyla maksimum çeşitlilik örnekleme ilkelerinden de yararlanılmıştır (Merriam ve Tisdell, 2016). Araştırmanın çalışma grubunun oluşturulmasında aşağıdaki temel dâhil edilme ölçütleri esas alınmıştır. Bunlar:

Branş Ölçütü: Millî Eğitim Bakanlığı’na (MEB) bağlı ortaokul kademesinde aktif olarak görev yapan Sosyal Bilgiler öğretmeni olmak.

Deneyim/Uygulama Ölçütü: Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı’nı bizzat sınıflarında uygulamış ve deneyimlemiş olmak.

Maksimum Çeşitlilik Ölçütü: Araştırmaya katılan öğretmenlerin mesleki kıdem aralıklarının (1 ile 35 yıl arası) ve görev yaptıkları kurum türlerinin (Devlet Ortaokulu, Özel Ortaokul, İmam Hatip Ortaokulu) farklılaşmasıdır. Belirlenen ölçütler doğrultusunda araştırmaya dâhil edilen 8 Sosyal Bilgiler öğretmenine ilişkin demografik ve mesleki bilgiler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışma grubunu oluşturan katılımcıların demografik özellikleri

Katılımcı Kodu	Cinsiyet	Mesleki Kıdem (Yıl)	Görev Yapılan Kurum Türü
Ö1	Kadın	15	Devlet Ortaokulu
Ö2	Erkek	8	Özel Ortaokul
Ö3	Kadın	1	Devlet Ortaokulu
Ö4	Erkek	35	İmam Hatip Ortaokulu
Ö5	Kadın	12	Devlet Ortaokulu
Ö6	Erkek	22	İmam Hatip Ortaokulu
Ö7	Kadın	5	Özel Ortaokul
Ö8	Erkek	18	Devlet Ortaokulu

Tablo 1’de yer alan veriler incelendiğinde, araştırmanın çalışma grubunu oluşturan 8 Sosyal Bilgiler öğretmenin 4’ünün kadın, 4’ünün erkek olduğu görülmektedir. Katılımcıların mesleki kıdemleri 1 ile 35 yıl arasında değişmektedir. Görev yapılan kurum türü değişkenine bakıldığında ise öğretmenlerin 4’ünün Devlet Ortaokulu, 2’sinin Özel Ortaokul ve 2’sinin İmam Hatip Ortaokulu bünyesinde görev yaptığı tespit edilmiştir.

Verilerin Toplanması ve Analizi

Araştırma verileri, alan uzmanlarının görüşleri doğrultusunda geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmıştır. Katılımcılardan elde edilen ses ve metin kayıtları transkribe edildikten sonra tematik analiz tekniğiyle çözümlenmiştir (Braun ve Clarke, 2006; Creswell, 2013). Analiz yöntemi olarak tematik analizin tercih edilmesinin nedeni; öğretmenlik deneyimlerinden elde edilen nitel veriler içerisindeki ortak kalıpları, tekrarlayan eğilimleri ve özgün temaları sistematik bir biçimde tespit etmeye, esnek ve derinlemesine bir anlamlandırma sunmaya imkân tanınmasıdır (Boyatzis, 1998). Analiz sürecinde veriler tekrarlı okunarak temel kodlar belirlenmiş; bu kodlar anlam bütünlüklerine göre kategorilendirilerek 4 ana tema altında yapılandırılmıştır. Elde edilen bulgular, katılımcı ifadelerinden yapılan doğrudan alıntılarla desteklenerek betimlenip yorumlanmıştır (Patton, 2015).

Araştırma Etiği

Bu araştırmanın verileri toplanmadan önce gerekli tüm resmi ve etik izinler alınmıştır. Araştırma, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu’nun 08.06.2026 tarihli, 308 sayılı kararı (Başvuru No: 715, Karar No: 29) ile alınan etik kurul izni doğrultusunda yürütülmüştür. Araştırma sürecinde bilimsel yayın ve alıntı kurallarına tam olarak uyulmuş; katılımcıların gönüllülük esasına dayalı olarak araştırmaya katılımları sağlanmıştır. Gizlilik ilkesi gereğince katılımcıların kimlik bilgileri saklı tutulmuş ve veriler Ö1, Ö2, ..., Ö8 şeklinde kodlanarak analiz edilmiştir.

3. BULGULAR

Araştırmanın amacı doğrultusunda yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen verilerin tematik analizi sonucunda dört ana tema ortaya çıkmıştır. Bunlar; öğretim programına ilişkin algılar, ders kitapları ve materyaller, yöntem-teknik ve teknoloji kullanımı ile eleştiriler ve öneriler şeklindedir.

Tablo 2. Sosyal bilgiler öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı'na ilişkin görüşlerine yönelik tema, kategori ve kod dağılımı

Tema	Kategori	Kodlar	Katılımcı Dağılımı
1. Öğretim Programına Algılar	Olumlu Algılar	Beceri ve Değer Odaklılık / Erdem-Değer-Eylem	Ö1, Ö2, Ö3, Ö4, Ö8
		Öğrenci Merkezli Yapı ve Aktif Katılım	Ö1, Ö2, Ö3, Ö5, Ö6, Ö7
		Sadeleşme / “Az Ama Öz” Mantığı	Ö3, Ö5, Ö6, Ö7
		Milli/Yerel Kavramlara ve Öze Dönüş	Ö2, Ö3, Ö6, Ö7
	Olumsuz Algılar	Evrak ve Değerlendirme Yüğü (Portfolyo/Ölçekler)	Ö1, Ö5
		Sık Program Değişimi ve Belirsizlik	Ö1, Ö5, Ö7
		Ders Saati Yetersizliği	Ö5, Ö7, Ö8
2. Ders Kitapları ve Materyaller	Görsel ve İçerik Zenginliği	Görselliğin Artması ve Harita Çeşitliliği	Ö1, Ö2, Ö3, Ö4
		Etkinlik ve Beceri Atölyelerinin Çoğalması	Ö2, Ö3, Ö5, Ö6
	Düzyey ve Yapı Sorunları	Bazı Sınıf Seviyelerine Ağır/Hafif Gelme	Ö1 (6. sınıf ağır, 5. sınıf hafif)
		Ünite Bazlı Süre/Zamanlama Uyumsuzluğu	Ö6
3. Yöntem, Teknik ve Teknoloji	Öğretim Stratejileri	Oyunlaştırma / Drama / İnteraktif Siteler	Ö2, Ö4, Ö6
		Kavram Öğretimi ve Soru-Cevap	Ö7

4. Eleştiriler ve Öneriler	Örnek Olay / Problem Çözme / Tartışma		Ö2, Ö3, Ö8
	Teknoloji Entegrasyonu	EBA, MEBİ ve Akıllı Tahta/Karekod Kullanımı	Ö1, Ö5, Ö6, Ö7
	Müfredat / İçerik Önerileri	Güncel Konuların Eklenmesi (İklim, Yapay Zekâ vb.)	Ö2, Ö3, Ö4, Ö7
		Yerel Tarih/Kültür Unsurlarına Yer Verilmesi	Ö3, Ö8
		Tarih/Soyut Konuların Görselleştirilmesi	Ö1, Ö3, Ö7
	Uygulama ve Hizmet İçi Eğitim	Öğretmenlere Yönelik Uygulama Atölyeleri/Eğitim	Ö3, Ö7
		Haftalık Planlarda Esneklik Sağlanması	Ö8

Tablo 2’de yer alan veriler incelendiğinde; öğretmen görüşlerinin “Öğretim Programına Algılar”, “Ders Kitapları ve Materyaller”, “Yöntem, Teknik ve Teknoloji” ile “Eleştiriler ve Öneriler” şeklinde 4 ana tema altında yapılandırıldığı tespit edilmiştir. Birinci temada olumlu algılar öğrenci merkezli yapı, beceri-değer odaklılık, sadeleşme ve milli kavramlara yönelim üzerinde birleşirken; olumsuz algılar evrak yükü, belirsizlik ve ders saati yetersizliği kodlarında yoğunlaşmaktadır. İkinci temada görsellik ve etkinlik çeşitliliğindeki artış vurgulanırken, sınıf seviyelerine dönük düzey uyumsuzluğu ve süre yetersizliği dile getirilmiştir. Üçüncü temada aktif öğretim stratejileri ile EBA, MEBİ ve akıllı tahta gibi teknolojik araçların kullanımı öne çıkmaktadır. Dördüncü temada ise iklim ve yapay zekâ gibi güncel konuların eklenmesi, görselleştirme, öğretmenlere yönelik uygulama atölyeleri düzenlenmesi ve esnek planlama yapılmasına ilişkin öneriler yer almaktadır.

1. Tema: Öğretim Programına İlişkin Algılar

1.1. Olumlu Algılar

Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı’na ilişkin olumlu algıları; *beceri ve değer odaklılık / erdem-değer-eylem, öğrenci merkezli yapı ve aktif katılım,*

sadeleşme / “az ama öz” mantığı ile milli/yerel kavramlara ve öze dönüş olmak üzere 4 kod altında toplanmıştır.

Beceri ve Değer Odaklılık / Erdem-Değer-Eylem

Öğretmenler, yeni programın yalnızca bilgi aktarımını değil, değerlerin tutum ve eyleme dönüştürülmesini hedefleyen yapısını olumlu bir nitelik olarak değerlendirmişlerdir. Bu koda ilişkin olarak Ö1 kodlu katılımcı görüşünü şu şekilde ifade etmiştir:

“Yeni programda beceri ve erdem-değer-eylem çerçevesi çok daha görünür kılınmış. Sadece bilgi yüklemek yerine öğrencinin değeri benimseyip eyleme dönüştürmesini hedeflemesi en kritik kazanım.” (Ö1)

Katılımcının bu ifadeleri, yeni öğretim programının teorik bilgi yüklemesinden ziyade işlevsel ve davranışa dönüşen bir değerler eğitimi anlayışını ön plana çıkardığını göstermektedir.

Öğrenci Merkezli Yapı ve Aktif Katılım

Öğretmenler, programın pedagojik yaklaşım olarak öğrencinin pasif alıcı konumundan çıkıp öğretim sürecine aktif katılımını destekleyen bir tasarıma sahip olduğunu vurgulamışlardır. Konuya ilişkin Ö2 kodlu katılımcının değerlendirmesi şu şekildedir:

“Öğrencinin merkeze alındığı, derste sadece dinleyici değil, sürece aktif katılan birey olmasını sağlayan bir yapı kurulmuş.” (Ö2)

Bu görüş doğrultusunda, programın öğrencinin ders içi süreçlerde odağa alındığı ve etkileşimli bir öğrenme iklimini teşvik ettiği anlaşılmaktadır.

Sadeleşme / “Az Ama Öz” Mantığı

Müfredattaki bilgi yoğunluğunun azaltılması ve temel becerilerin ön plana çıkarılması, katılımcılar tarafından programın güçlü yönlerinden biri olarak görülmüştür. Bu durumu Ö3 kodlu öğretmen şu sözlerle dile getirmiştir:

“Gereksiz bilgi kalabalığından arındırılmış, daha sade ve doğrudan temel becerilere odaklanan bir içerik tasarımı var.” (Ö3)

Öğretmen söyleminden hareketle, müfredattaki içerik yoğunluğunun hafifletilmesinin dersin niteliğini ve derinliğini artırmaya yönelik olumlu bir adım olarak algılandığı söylenebilir.

Milli/Yerel Kavramlara ve Öze Dönüş

Programın kültürel ve milli değerleri merkeze alan kavramsal çerçevesi, öğretmenler tarafından özgün ve değerli bulunmuştur. Bu koda dair Ö6 kodlu katılımcı şu ifadeleri kullanmıştır:

“Programın kendi kültürümüzden, milli değerlerimizden ve yerel kavramlarımızdan beslenerek öze dönük bir anlayışla hazırlanmasını değerli buluyorum.” (Ö6)

Katılımcının bu vurgusu, yenilenen programın yerli ve milli bir pedagojik zemin üzerine inşa edilmesinin uygulayıcılar nezdinde güçlü bir karşılık bulduğunu ortaya koymaktadır.

1.2. Olumsuz Algılar

Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı’na ilişkin olumsuz algıları; *evrak ve değerlendirme yükü (portfolyo/ölçekler), sık program değişimi ve belirsizlik ile ders saati yetersizliği* olmak üzere 3 kod altında şekillenmiştir.

Evrak ve Değerlendirme Yükü (Portfolyo/Ölçekler)

Katılımcılar, süreç odaklı değerlendirme yaklaşımının teorik olarak olumlu bulunmasına karşın, uygulama aşamasında ortaya çıkan kırtasiyecilik ve bürokratik form/ölçek yükünün öğretmenler üzerinde baskı oluşturduğunu dile getirmişlerdir. Konuya dair Ö5 kodlu öğretmen görüşünü şu şekilde aktarmıştır:

“Süreç odaklı değerlendirme güzel fakat sürekli doldurulması gereken ölçekler, portfolyo takipleri ve formlar bürokratik evrak yükümüzü çok fazla artırıyor.” (Ö5)

Öğretmenin bu değerlendirmesi, biçimlendirici değerlendirme süreçlerinin gerektirdiği kâğıt işlerinin öğretim sürecinin önüne geçme riski taşıdığına ve uygulama pratikliğini zorlaştırdığına işaret etmektedir.

Sık Program Değişimi ve Belirsizlik

Eğitim sisteminde sık tekrarlanan müfredat revizyonlarının öğretmenler nezdinde bir rol belirsizliği ve tereddüt iklimi yarattığı tespit edilmiştir. Bu durumu Ö1 kodlu katılımcı şu sözlerle ifade etmiştir:

“Sürekli değişen müfredat yapısı ve sistemdeki belirsizlikler sahadaki uygulamada ne yapacağımız konusunda tereddüt yaşamamıza yol açıyor.” (Ö1)

Bu ifade, program reformlarının sahada etkili bir şekilde yürütülebilmesi için pedagojik kararlılık ile açık ve anlaşılır uygulama rehberlerine duyulan ihtiyacı belirgin bir biçimde ortaya koymaktadır.

Ders Saati Yetersizliği

Yenilenen programın öngördüğü beceri odaklı etkinliklerin ve uygulama süreçlerinin mevcut haftalık ders saati sınırlılığı içerisinde tamamlanmasında güçlükler yaşandığı vurgulanmıştır. Bu koda ilişkin olarak Ö7 kodlu katılımcının aktarımı şu şekildedir:

“Öngörülen etkinliklerin ve beceri uygulamalarının tamamını bu ders saatleri içerisine yetiştirmek neredeyse imkânsız.” (Ö7)

Katılımcının bu vurgusu, yoğunlaştırılmış ve beceri temelli olarak tasarlanan yeni içerikler ile haftalık ders saatleri arasında yapısal bir zamansal uyumsuzluk bulunduğunu göstermektedir.

2. Tema: Ders Kitapları ve Materyaller

Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında hazırlanan ders kitapları ve öğretim materyallerine ilişkin değerlendirmeleri; “2.1. Görsel ve İçerik Zenginliği” ile “2.2. Düzey ve Yapı Sorunları” olmak üzere iki alt kategori altında toplanmıştır.

2.1. Görsel ve İçerik Zenginliği

Bu alt kategoride öğretmenler, yeni ders kitaplarının tasarım estetiği, görsel çeşitliliği ve uygulama odaklı içerik yapısına ilişkin olumlu görüş bildirmişlerdir. İlgili tema *görselliğin artması ve harita çeşitliliği ile etkinlik ve beceri atölyelerinin çoğalması* kodlarından oluşmaktadır.

Görselliğin Artması ve Harita Çeşitliliği

Öğretmenler, ders kitaplarının infografik ve harita materyalleri açısından niteliksel bir gelişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Konuya ilişkin Ö2 kodlu katılımcı değerlendirmesini şu şekilde ifade etmiştir:

“Kitaplardaki harita çeşitliliği, infografikler ve görsel tasarım eski kitaplara kıyasla son derece zenginleştirilmiş.” (Ö2)

Katılımcının bu ifadeleri, görsel materyal zenginliğinin mekânsal ve somutlaştırmaya dayalı öğrenme süreçlerini destekleyen işlevsel bir unsur olarak görüldüğünü koymaktadır.

Etkinlik ve Beceri Atölyelerinin Çoğalması

Ders kitaplarındaki pratik uygulama ve etkinlik alanlarının artırılması, öğrencilerin derse katılımını ve motivasyonunu destekleyen bir yapı olarak değerlendirilmiştir. Ö5 kodlu öğretmen bu durumu şu sözlerle dile getirmiştir:

“Kitap içerisinde yer alan beceri atölyeleri ve etkinlik sayfalarının fazla olması öğrencilerin derse olan ilgisini ve pratik yapma imkanını artırıyor.” (Ö5)

Öğretmenin bu vurgusu, kitap kurgusunun yalnızca pasif okumaya değil, öğrencinin aktif deneyimine olanak tanıyan uygulamalı bir pedagojik yaklaşımla yapılandırıldığını göstermektedir.

2.2. Düzey ve Yapı Sorunları

Ders kitaplarının tasarımındaki zenginleşmeye karşın öğretmenler; kademeler arası gelişimsel düzey uyumsuzluğu ve zamansal planlama sorunlarına dikkat çekmişlerdir. Bu alt kategori *bazı sınıf seviyelerine ağır/hafif gelme* ve *ünite bazlı süre/zamanlama uyumsuzluğu* kodlarıyla biçimlenmiştir.

Bazı Sınıf Seviyelerine Ağır/Hafif Gelme

Katılımcılar, sınıf düzeylerine göre içeriklerin bilişsel zorluk derecesinde dengesizlikler yaşandığını ve bu durumun öğrenci seviyesine uyumda aksamalara yol açtığını ifade etmişlerdir. Bu hususta Ö1 kodlu katılımcı görüşünü şu şekilde aktarmıştır:

“Kademeler arasında düzey farkı var; örneğin 6. sınıf konuları soyut kalıp öğrencilere ağır gelirken, 5. sınıf seviyesi beklenenin altında ve fazla hafif kalmış.” (Ö1)

Bu aktarım, program içeriğinin kademeler arası dikey hiyerarşisinde gelişimsel ve bilişsel seviye dengesinin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Ünite Bazlı Süre/Zamanlama Uyuşmazlığı

Ünitelerdeki konu yoğunluğu ile müfredatta öngörülen zaman dilimi arasındaki uyumsuzluk, uygulayıcılar tarafından dile getirilen bir diğer problem alanıdır. Konuya dair Ö6 kodlu öğretmen şu ifadeleri kullanmıştır:

“Ünitelerin kapsadığı içerik miktarı ile o üniteye ayrılan haftalık süre eşleşmiyor, zamanlama açısından ciddi uyumsuzluklar yaşanıyor.” (Ö6)

Katılımcının bu değerlendirmesi, ders kitaplarındaki ünite kapsamı ile haftalık ders saati planlaması arasında uygulama birliğini sağlayacak zamansal bir revizyon ihtiyacını ortaya koymaktadır.

3. Tema: Yöntem, Teknik ve Teknoloji

Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı'nın uygulanması sürecinde başvurdukları pedagojik yaklaşımlara ve teknoloji kullanımına ilişkin bulgular; “3.1. Öğretim Stratejileri” ve “3.2. Teknoloji Entegrasyonu” alt kategorileri çerçevesinde incelenmiştir.

3.1. Öğretim Stratejileri

Bu alt kategoride öğretmenler, yeni programın getirdiği beceri temelli yaklaşımı sınıfta hayata geçirebilmek adına benimsedikleri öğretim yöntem ve tekniklerini dile getirmişlerdir. Tema; *oyunlaştırma / drama / interaktif siteler, kavram öğretimi ve soru-cevap ile örnek olay / problem çözme / tartışma* kodlarından oluşmaktadır.

Oyunlaştırma / Drama / İnteraktif Siteler

Katılımcılar, dersi öğrenciler açısından ilgi çekici kılmak ve süreçte aktif katılımı sağlamak amacıyla deneyimsel ve etkileşimli yöntemleri sıklıkla tercih ettiklerini ifade etmişlerdir. Bu koda ilişkin olarak Ö4 kodlu öğretmen görüşünü şu şekilde aktarmıştır:

“Dersi daha cazip hale getirmek için sınıfta eğitsel oyunlar, drama teknikleri ve interaktif siteler üzerinden etkinlikler uyguluyoruz.” (Ö4)

Öğretmenin bu değerlendirmesi, yenilenen programın gerektirdiği aktif öğrenme iklimini oluşturmada oyunlaştırma ve dijital etkileşim araçlarının işlevsel birer yöntem olarak kullanıldığını göstermektedir.

Kavram Öğretimi ve Soru-Cevap

Sosyal Bilgiler dersinin temelini oluşturan soyut ve disiplinler arası kavramların doğru yapılandırılması sürecinde geleneksel ancak dönüştürülmüş yöntemlere başvurulduğu görülmektedir. Bu hususta Ö7 kodlu katılımcının aktarımı şu şekildedir:

“Temel kavramların doğru anlaşılması adına derslerde soru-cevap tekniğiyle öğrencilerin kavramsal düşünme becerilerini geliştiriyorum.” (Ö7)

Katılımcının bu vurgusu, soru-cevap tekniğinin yalnızca bir ölçme aracı değil, öğrencilerin zihinsel şemalarını derinleştiren ve kavramsal düşünmeyi teşvik eden öğretimsel bir strateji olarak benimsendiğini ortaya koymaktadır.

Örnek Olay / Problem Çözme / Tartışma

Öğretmenler, öğrencilerin üst düzey düşünme, eleştirel bakış açısı geliştirme ve toplumsal meselelere akılcı çözümler üretebilme becerilerini desteklemek için örnek olay incelemeleri ile tartışma tekniklerini sürece dâhil ettiklerini belirtmişlerdir. Konuya dair Ö8 kodlu öğretmen şu ifadeleri kullanmıştır:

“Güncel veya geçmişten örnek olaylar getirerek öğrencilerin problem çözme ve sınıfta farklı açılardan tartışma yürütmesini sağlıyorum.” (Ö8)

Bu aktarım, dersin yaşamla bağıni kurmada ve öğrencilere çok yönlü analiz yeteneği kazandırmada gerçek ya da kurgusal problem durumlarının etkili bir pedagojik araç olarak işe koşulduğunu göstermektedir.

3.2. Teknoloji Entegrasyonu

Yeni öğretim programı ile ders kitaplarında yer alan dijital bileşenlerin sınıf içi uygulamalara nasıl yansıdığı bu alt kategori altında ele alınmıştır. Alt kategori, *EBA, MEBİ ve akıllı tahta/karekod kullanımı* kodundan teşekkül etmektedir.

EBA, MEBİ ve Akıllı Tahta/Karekod Kullanımı

Öğretmenler, basılı materyaller ile dijital platformlar arasında kurulan teknik bağın derslerin yürütülmesinde önemli bir kolaylık sağladığını vurgulamışlardır. Bu durumu Ö6 kodlu katılımcı şu sözlerle dile getirmiştir:

“Kitaplardaki karekodlar sayesinde EBA ve MEBİ üzerindeki dijital içeriklere hızla erişip akıllı tahtayı aktif şekilde derslerimize entegre ediyoruz.” (Ö6)

Öğretmen söyleminden hareketle, yeni nesil ders kitaplarındaki karekod uygulamalarının EBA ve MEBİ gibi kurumsal dijital platformlarla entegre biçimde çalışmasının, teknolojinin sınıfa erişimini pratikleştirerek öğretim sürecini zenginleştirdiği söylenebilir.

4. Tema: Eleştiriler ve Öneriler

Sosyal Bilgiler öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı’nın geliştirilmesine ve uygulamadaki aksaklıkların giderilmesine dönük yapıcı değerlendirmeleri “4.1. Müfredat / İçerik Önerileri” alt kategorisi çerçevesinde ele alınmıştır.

4.1. Müfredat / İçerik Önerileri

Bu alt kategoride öğretmenler, müfredatın çağdaş gelişmelerle güncellenmesi, yerel/kültürel öğelerle zenginleştirilmesi ve soyut konuların somutlaştırılmasına yönelik çözüm önerileri sunmuşlardır. İlgili alt kategori; *güncel konuların eklenmesi (iklim, yapay zekâ vb.)*, *yerel tarih/kültür unsurlarına yer verilmesi* ve *tarih/soyut konuların görselleştirilmesi* kodlarından oluşmaktadır.

Güncel Konuların Eklenmesi (İklim, Yapay Zekâ vb.)

Öğretmenler, Sosyal Bilgiler müfredatının küresel dinamikler ve teknolojik dönüşümler doğrultusunda dinamik bir yapıda güncellenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Konuya ilişkin Ö3 kodlu katılımcı önerisini şu şekilde ifade etmiştir:

“Çağın gereksinimleri doğrultusunda müfredata iklim krizi, yapay zeka ve dijital okuryazarlık gibi küresel ve güncel konular daha fazla eklenmeli.” (Ö3)

Katılımcının bu vurgusu, ders içeriğinin yalnızca geleneksel Sosyal Bilgiler konularıyla sınırlı kalmayıp, öğrencileri 21. yüzyılın küresel ve teknolojik gerçekliklerine hazırlayacak bir vizyonla genişletilmesi beklentisini ortaya koymaktadır.

Yerel Tarih/Kültür Unsurlarına Yer Verilmesi

Milli ve genel müfredat yapısının yanı sıra, öğrencilerin yakın çevrelerini ve yerel değerlerini tanımalarına imkân tanıyan bölgesel içeriklerin programa dâhil edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu hususta Ö8 kodlu öğretmen görüşünü şu sözlerle dile getirmiştir:

“Öğrencilerin yakın çevresini tanıması adına müfredatta yerel tarih ve bölgesel kültür unsurlarına daha geniş yer ayrılmasını öneriyorum.” (Ö8)

Öğretmen söyleminden hareketle, yerel tarih ve kültür unsurlarının ders kapsamına alınmasının, öğrencilerin tarihsel ve mekânsal aidiyet duygularını güçlendirecek etkili bir araç olarak görüldüğü anlaşılmaktadır.

Tarih/Soyut Konuların Görselleştirilmesi

Özellikle tarihsel ve soyut nitelikteki ağır konuların öğrenci düzeyine uygun hâle getirilebilmesi için ileri teknolojiler ve somut materyallerle desteklenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Konuya dair Ö1 kodlu katılımcının değerlendirmesi şu şekildedir:

“Özellikle soyut ve tarihsel nitelikteki ağır konuların simülasyonlar, 3D görseller ve somutlaştırılmış materyallerle desteklenmesi şart.” (Ö1)

Katılımcının bu önerisi, bilişsel açıdan soyut kalan içeriklerin dijital simülasyon ve ü boyutlu görseller gibi çağdaş teknolojik imkânlarla desteklenerek anlamlı öğrenmenin kolaylaştırılması ihtiyacını belirginleştirmektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Araştırmanın birinci ana teması olan “Öğretim Programına İlişkin Algılar” kapsamında, programa yönelik olumlu ve olumsuz görüşlerin bir arada yer aldığı tespit edilmiştir. Katılımcılar; programın beceri ve değer odaklı yapısını, Erdem-Değer-Eylem çerçevesini, öğrenciyi merkeze alan pedagojik yaklaşımını, sadeleştirilmiş içeriğini ve milli ve yerel kavramlara dayanmasını olumlu birer nitelik olarak değerlendirmişlerdir. Bu sonuç, çağdaş Sosyal Bilgiler öğretiminde kavramsal yoğunluğun azaltılarak beceri ve değer kazandırılmasının önemini vurgulayan çalışmalarla örtüşmektedir (Açıkalın, 2010; Safran, 2008). Öte yandan, biçimlendirici değerlendirme araçlarının (portfolyo ve ölçekler) getirdiği evrak yükü, sık müfredat değişikliklerinin yarattığı uygulama belirsizliği ve etkinlik odaklı yapıya kıyasla haftalık ders saatlerinin yetersiz kalması programın geliştirilmeye açık yönleri olarak öne çıkmıştır. Literatürde de öğretmenlerin program reformlarında en çok karşılaştıkları güçlüklerin başında bürokratik iş yükü ve zamansal sınırlılıkların geldiği sıkça ifade edilmektedir (Esen vd., 2017).

Araştırmanın ikinci ana teması olan “Ders Kitapları ve Materyaller” boyutunda; kitaplardaki görsel niteliğin artması, harita çeşitliliği ve pratik yapmayı sağlayan beceri atölyelerinin varlığı öğretimi destekleyen güçlü yönler olarak belirlenmiştir. Nitekim Sosyal Bilgiler öğretiminde somutlaştırma ve mekânsal okuryazarlığı artırma adına harita ve infografik kullanımının öğrenme kalitesini artırdığı bilinmektedir (Özden ve Ergün, 2025). Ancak ders kitaplarının gelişimsel düzey uyumu açısından 5. sınıf seviyesinde fazla hafif, 6. sınıf seviyesinde ise soyut ve ağır kalması, sınıf düzeyleri arasında yapısal bir hiyerarşi dengesizliğini ortaya koymuştur. Ayrıca ünite kapsamlardaki konu yoğunluğu ile ayrılan haftalık süre arasındaki zamansal uyumsuzluk saptanmıştır. Eğitimde program tasarımı ilkeleri doğrultusunda, sınıf seviyelerine göre içeriklerin dikey ve yatay sarmallığı ile zamansal dengesinin korunması kritik bir gerekliliktir (Demirel, 2015; Posner, 2004).

Araştırmanın üçüncü ana teması olan “Yöntem, Teknik ve Teknoloji” alanında; öğretmenlerin sınıflarda oyunlaştırma, drama, örnek olay inceleme ve tartışma gibi aktif öğrenme stratejilerine sıklıkla başvurdukları sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra ders kitaplarındaki karekod yönlendirmeleri vasıtasıyla EBA ve MEBİ platformlarında yer alan dijital içeriklerin akıllı tahta üzerinden öğretim sürecine aktif biçimde entegre edildiği tespit edilmiştir. Bu durum, öğretmenlerin dijital okuryazarlık ve teknolojik pedagojik alan bilgisi (TPAB) yetkinliklerini doğrudan derse yansıtıklarını ve harmanlanmış öğrenme ortamlarını benimsediklerini göstermektedir (Mishra ve Koehler, 2006).

Araştırmanın dördüncü ve son ana teması olan “Eleştiriler ve Öneriler” dâhilinde; çağın gereksinimleri doğrultusunda müfredatta iklim krizi, yapay zekâ ve dijital okuryazarlık gibi küresel ve güncel temaların entegre edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca yerel tarih ve kültür öğelerine müfredatta daha geniş alan açılması ve soyut/tarihsel nitelikli konuların 3D görseller, simülasyonlar ve somut materyallerle desteklenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Sosyal Bilgiler eğitimi yazınında yerel tarih çalışmalarının öğrencinin yakın çevreden uzağa ilkesiyle tarihsel empati geliştirmesindeki rolü yaygın biçimde desteklenmektedir (Yılmaz ve Başkaya, 2020).

Araştırma sonuçlarından hareketle geliştirilen öneriler aşağıda sunulmuştur:

1. Değerlendirme süreçlerinin sadeleştirilmesi amacıyla süreç odaklı değerlendirme aşamasında öğretmenlerin üzerinde oluşan bürokratik evrak yükünü hafifletmek amacıyla dijital ve otomatik değerlendirme formları (EBA/MEBİ entegreli) geliştirilmelidir.
2. Etkinlik ve beceri atölyelerinin nitelikli bir şekilde uygulanabilmesi adına Sosyal Bilgiler dersinin haftalık ders saatleri artırılmalı veya ünite kazanım sayıları zamansal kapasiteye uygun olarak revize edilmelidir.

3. Soyut ve tarihsel konuların anlaşılmasını kolaylaştırmak için EBA/MEBİ içeriklerine 3D simülasyonlar, sanal müze turları ve etkileşimli dijital materyaller eklenmelidir.
4. Ders kitaplarındaki sınıf düzeyleri arası zorluk farklarını gidermek amacıyla 5. ve 6. sınıf müfredat içeriklerinin bilişsel düzey dengesi yeniden gözden geçirilmelidir.
5. Bu nitel araştırmanın ardından, yeni öğretim programının sahadaki etkileri nicel veya karma araştırma yöntemleri kullanılarak daha geniş örneklem grupları üzerinden incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Açıkalın, M. (2010). Sosyal bilgiler eğitiminde yeni yaklaşımlar: Çokkültürlü ve küresel eğitim. *İlköğretim Online*, 9(3), 1226-1237. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ilkonline/article/106906>
- Banks, J. A. (2015). *Cultural diversity and education: Foundations, curriculum, and teaching* (6th ed.). Routledge.
- Boyatzis, R. E. (1998). *Transforming qualitative information: Thematic analysis and code development*. SAGE Publications.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). SAGE Publications
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Çifçi, M. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli sosyal bilgiler dersi öğretim programının bütüncül yaklaşımına bir örnek: Sosyal katılım becerisi. *Millî Eğitim*, 54(1), 666-667. <https://dergipark.org.tr/en/pub/milliegitim/article/1701847>
- Demirel, Ö. (2015). *Kuramdan uygulamaya eğitimde program geliştirme* (23. baskı). Pegem Akademi.
- Erbudak, C. K., & Yeşilbursa, C. C. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı: Bir SWOT analizi. *Millî Eğitim*, 54(1), 1434-1435. <https://doi.org/10.37669/milliegitim.1707953>
- Esen, Y. D., Temel, F., & Demir, E. (2017). Türkiye'deki öğretmenlerin karşılaştıkları mesleki sorunların ikili karşılaştırma yöntemi ile ölçeklenmesi. *Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology*, 8(1), 47-62. <https://dergipark.org.tr/en/pub/epod/article/297901>
- Fullan, M. (2015). *The new meaning of educational change* (5th ed.). Teachers College Press.

- Kurtdede Fidan, N. (2016). Sosyal bilgiler eğitimi ve sosyoloji, R. Turan ve T. Yıldırım (Ed.), Sosyal bilgilerin temelleri (165-182). Anı Yayıncılık.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. Jossey-Bass.
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (4th ed.). Jossey-Bass.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Özden, M., & Ergün, A. (2025). Sosyal bilgiler öğretiminde harita becerilerine ilişkin öğretmen görüşleri. *Uluslararası Alan Eğitimi Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 123-146. <https://doi.org/10.54971/synergy.1825765>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE Publications.
- Posner, G. J. (2004). *Analyzing the curriculum* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Safran, M. (2008). *Sosyal bilgiler öğretimi*. Pegem Akademi.
- Sever, R. (Ed.). (2015). *Sosyal bilgiler öğretimi* (1. baskı). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Uygun, K., & Akgül, G. (2024). Sosyal Bilgiler Öğretmenlerinin Türkiye Yüzyılı Maarif Modeline ilişkin görüşleri. *Dumlupınar Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 82-83. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/debder/article/1592478>
- van Manen, M. (2016). *Researching lived experience: Human science for an action sensitive pedagogy* (2nd ed.). Routledge.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2021). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (12. Baskı). Seçkin Yayıncılık.
- Yılmaz, M., & Başkaya, M. (2020). Sosyal bilgiler öğretiminde yerel tarih öğelerinin kullanımına ilişkin öğretmen görüşlerinin belirlenmesi. *Turkish Studies*, 15(1), 457-479. <https://doi.org/10.29228/TurkishStudies.38834>

KUR'ÂN-I KERİM'DE HZ. PEYGAMBER'İN (S.A.S.) DUALARI

Doç. Dr. Mehmet Cüneyt GÖKÇE

Mardin Artuklu Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi,

cuneytgokce@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8382-3787

Özet

Kur'ân-ı Kerim'de Hz. Peygamber'in (s.a.s.) dua ve niyazları, onun Allah ile kurduğu kulluk ilişkisinin yanı sıra tevhid, teslimiyet, mağfiret, sabır, hidayet ve ümmet sorumluluğu gibi temel dinî değerleri yansıtan önemli örneklerdir. Kur'an'da Hz. Peygamber'e doğrudan nispet edilen dua ifadeleri, farklı bağlamlarda ve farklı ihtiyaçlar çerçevesinde karşımıza çıkmaktadır. Bu dualar arasında Allah'tan bağışlanma dileme, ilim talep etme, kalbin hak üzere sabit kılınmasını isteme, şeytanın vesveselerinden Allah'a sığınma ve müminler için mağfiret dileme gibi hususlar dikkat çekmektedir. Ayrıca Hz. Peygamber'in Rabbine yönelişini ifade eden dualar, peygamberlik görevinin yalnızca tebliğden ibaret olmadığını; kulluk, tevekkül ve Allah'a sürekli yönelişle birlikte yürüdüğünü göstermektedir. Bu çalışmada Kur'an'da Hz. Peygamber'in (s.a.s.) dua mahiyetindeki ifadeleri tespit edilerek bağlamları içerisinde incelenecek; söz konusu duaların itikadî, ahlakî ve kulluk boyutları değerlendirilecektir. Böylece Hz. Peygamber'in dua anlayışının, mümin için yalnızca okunacak ifadeler değil, aynı zamanda hayatı şekillendiren bir kulluk modeli sunduğu ortaya konulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kur'an, Hz. Muhammed, Dua, Kulluk, Tevhid, Tevekkül, Mağfiret.

THE SUPPLICATIONS OF THE PROPHET MUHAMMAD (PBUH) IN THE QUR'AN

Abstract

The prayers and supplications of the Prophet Muhammad (peace be upon him) mentioned in the Qur'an constitute significant examples reflecting his relationship with Allah as a servant, as well as fundamental religious values such as monotheism, submission, forgiveness, patience, guidance, and responsibility towards the believers. The supplications directly attributed to the Prophet in the Qur'an appear in different contexts and in connection with various spiritual and practical needs. Among these prayers are requests for forgiveness, knowledge, steadfastness upon truth, protection from the whispers of Satan, and forgiveness for the believers. These supplications also demonstrate that the Prophet's mission was not limited to conveying the divine message but was accompanied by continuous worship, reliance upon Allah, and turning to Him. This study aims to identify the prayer expressions attributed to the Prophet Muhammad in the Qur'an and examine them within their textual and contextual frameworks. It will also evaluate the theological, ethical, and devotional dimensions of these supplications. In this way, the study seeks to demonstrate that the Prophet's prayers in the Qur'an are not merely formulas to be recited but also provide a model of worship and spiritual orientation for believers.

Keywords: Qur'an, Prophet Muhammad, Supplication, Worship, Monotheism, Reliance on Allah, Forgiveness.

1.GİRİŞ

Dua, insanın Allah karşısındaki konumunu idrak etmesinin ve O'na yönelişini sözle ifade etmesinin en belirgin şekillerinden biridir. İnsan, sahip olduğu imkânların sınırlılığını fark ettiğinde kendisinden daha yüce ve mutlak kudret sahibi olan Allah'a yönelir; ihtiyacını, aczini, ümidini ve beklentisini O'na arz eder. Bu yönüyle dua, yalnızca belirli bir ihtiyacın karşılanmasını istemekten ibaret değildir. Dua aynı zamanda kulun Rabbine karşı bağlılığını, O'na güvenini ve O'nun karşısındaki kulluk şuurunu ortaya koyan bir ibadet ve iletişim biçimidir. Ayrıca dua tevhid inancını pekiştiren ve yerleştiren önemli bir unsurdur. Zira acziyetini anlayan kul, sığındığı yüce merciin farkına varır Varlığını ve birliğini idrak eder.

Kur'ân-ı Kerîm'de dua önemli bir yer tutmaktadır. Nitekim; insanların Allah'a dua etmelerini teşvik eden âyetlerin yanında peygamberlerin, salih kimselerin ve çeşitli toplulukların dualarına da yer verilmiştir. Böylece dua sadece teorik olarak anlatılmamış, aynı zamanda insanın hayatında nasıl bir yöneliş biçimi olması gerektiği örneklerle gösterilmiştir. Bu bağlamda; Hz. Âdem, Hz. Nûh (a.s.), Hz. İbrâhim (a.s.), Hz. Mûsâ (a.s.), Hz. Eyyûb (a.s.), Hz. Yûnus (a.s.), Hz. Zekeriyâ (a.s.) ve Hz. İsâ (a.s.) gibi peygamberlerin duaları Kur'an-ı Kerim'de farklı vesilelerle zikredilmektedir. Dua literatürünün Kur'an'daki genişliği, bu ibadet biçiminin İslâmî hayat içerisindeki önemini açıkça göstermektedir Bundan anlıyoruz ki dua aynı zamanda bir ibadet çeşididir ve samimi kulluğun göstergesidir. Kul dua sayesinde Yüce Yaratıcı katında itibar görür. Doğrudan Cenab-ı Hak ile muhatap olma makamına yükselir. Bu sayede aziz bir kul olma şerefini elde eder.

Kur'an-ı Kerim'de Hz. Peygamber'in (s.a.s.) duaları ise ayrı bir önem taşımaktadır. Çünkü Resûlullah yalnızca insanlara dua etmeyi öğreten bir peygamber değil, bizzat dua eden bir kul olarak da örneklik teşkil etmektedir. Bununla birlikte Kur'an'da Hz. Peygamber'e nispet edilen duaların sayısı, diğer bazı peygamberlerin dualarıyla kıyaslandığında oldukça sınırlı bir görünüm arz etmektedir. Bu durum, Hz. Peygamber'in Kur'an'da yer alan dualarının önemsiz olduğu anlamına gelmemekte; aksine, az sayıdaki örneğin taşıdığı anlam yoğunluğunu daha da dikkat çekici hâle getirmektedir. Hz. Peygamber (s.a.s.) dua ettirilmiş, dua etmiş ve dua öğretmiştir.

Bu çalışmada Hz. Peygamber'in Kur'an'da yer alan duaları ele alınırken, özellikle doğrudan dua veya niyaz niteliği taşıyan âyetler üzerinde durulacaktır. Başlıca amaç, Kur'an'da Hz. Peygamber'e öğretilen veya onun söylemesi istenen duaların muhtevasını ortaya koymak ve bu duaların bilgi, kulluk, ahlâk, korunma, doğruluk, yardım ve tevekkül gibi temel kavramlarla ilişkisini değerlendirmektir. Böylece duada “peygamberî yaklaşım ve metod” tespit edilecek ve yönlendirici yönüne dikkat çekilecektir.

2.Kur'an-ı Kerim'de Hz. Peygamber'e Öğretilen Dua Anlayışı

Kur'an-ı Kerim'de Hz. Peygamber'e yöneltilen dua emirlerinin dikkat çekici özelliklerinden biri, bunların çoğunun doğrudan "Rabbim" hitabıyla başlamasıdır. Bu kullanım, dua eden kul ile kendisine dua edilen Yüce Allah arasındaki yakınlığı, muhataplığı ve doğrudanlığı ortaya koyması bakımından son derece önem arz etmektedir. Hz. Peygamber'in Allah'a yönelişi, aracı bir makam üzerinden değil, doğrudan Rabbine yapılan bir yöneliş şeklinde ifade edilmektedir. Kuşkusuz bu, dua öğretim tekniği ve tevhid inancı bağlamında da çok önemli bir noktadır.

Bu duaların bir diğer özelliği, dünyevî taleplerle sınırlı olmamalarıdır. Hz. Peygamber'e öğretilen dualarda ilim, doğruluk, yardım, korunma ve ilâhî hükme sığınma gibi unsurlar ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla Kur'an'daki peygamber duaları, insanın Allah'tan isteyebileceği şeylerin mahiyetine ilişkin de bir ölçü ortaya koymaktadır. Dualardaki öncelik sıralaması bakımından da son derece öğretici ve eğitici bir özelliğe sahiptir.

Bu yüzden tam da bu noktada dua ile kulluk arasındaki ilişkiye dikkat çekmek gerekir. Dua, kulun kendi güç ve imkânlarını bütünüyle terk etmesi anlamına gelmez. Aksine insanın üzerine düşen çabayı ortaya koyduktan sonra sonucu Allah'a havale etmesi ve O'ndan yardım istemesidir. Kur'an'da Hz. Peygamber'e öğretilen dualar da böyle bir anlayışı yansıtmaktadır. Dua eden Hz. Peygamber, bir taraftan görevini yerine getirmekte, diğer taraftan başarı ve neticeyi Allah'tan istemektedir. Tıpkı İslam'daki tevekkül anlayışındaki hassasiyet ve denge burada da dikkatimizi çekmektedir. Bilindiği üzere İslam'a göre tevekkül tembellik değildir. Tam aksine yapılması gereken tüm görevleri ifa ettikten sonra sonucu Allah'a havale etmektir. Hasta olan kişi doktorun tavsiyelerine uyduktan, ilaçlarını düzenli olarak aldıktan ve tedbirlere baş vurduktan sonra duasını da ihmal etmeyecektir.

Bu bakımdan Kur'an'daki peygamber dualara, sadece belirli zamanlarda okunabilecek metinler gözüyle bakmamak gerekir. Bunlar aynı zamanda müslümanın Allah ile nasıl iletişime geçmesi gerektiğini gösteren çok önemli örneklerdir. Dua, insanın Allah'ın kudretini kabul etmesi kadar kendi sınırlarının farkına varmasını da sağlar. İmanını kuvvetlendirir; tevhid inancını sağlamlaştırır.

3.İlim Talebi: "Rabbim! İlmimi Arttır"

Hz. Peygamber'e Kur'an-ı Kerim'de doğrudan öğretilen en dikkat çekici dualardan biri: "Rabbim! İlmimi arttır" (Tâhâ 20/114) niyazıdır. Âyetin bağlamında Hz. Peygamber'e vahiy tamamlanmadan Kur'an-ı Kerim'i okumakta acele etmemesi bildirilmekte ve hemen ardından Allah'tan ilminin artırılmasını istemesi emredilmektedir.

Bu dua, son derece kısa olmasına rağmen anlam bakımından oldukça geniş bir muhtevaya sahiptir. Hz. Peygamber’e öğretilen talep, doğrudan doğruya ilim artışıyla ilgilidir. Burada dikkat çekilmesi gereken nokta, Hz. Peygamber gibi vahiy alan bir peygambere dahi ilmin artırılmasının emredilmesidir. Böylece bilginin insanın ulaştığı ve artık tamamladığı statik bir alan olmadığı; aksine insanın sürekli olarak artırması gereken bir değer olduğu ortaya konulmaktadır. İnsan ve insanlığın kurtuluş, huzur ve refahının bilgi ve hikmetle olacağına işaret edilmektedir.

Denilebilir ki; Hz. Peygamber’e yönelik bir hitap olan “Rabbim! İlmimi arttır” şeklindeki niyaz; O’nun (s.a.s.) ufkunun genişletilmesine yönelik bir teşvik özelliği taşımaktadır. Ayrıca, âyetin hemen öncesindeki acele etmeme uyarısıyla ilim talebinin birlikte değerlendirilmesi de gerçekten dikkat çekicidir.

Burada dua ile öğrenme arasında dikkat çekici bir ilişki bulunmaktadır. Kur’an’ın öğrettiği ilim anlayışı, insanın kendisini tamamlanmış görmesini değil, öğrenmeye devam etmesini gerektirmektedir. Bu bakımdan “Rabbim! İlmimi arttır” ifadesi, Müslümanın hayat boyu öğrenme sorumluluğunun da özlü bir ifadesi olarak değerlendirilebilir. Müslümanın anlayışında: “Artık okumaya, araştırmaya, öğrenmeye ihtiyacım kalmadı” iddiası yer alamaz. Böyle bir iddia sahibi cehaletini belgelemiş olur.

Ayrıca bu dua ve niyaz, bilginin kaynağı konusunda da bir bilinç kazandırmaktadır. İnsan çalışır, araştırır, okur ve öğrenir; fakat bütün bunların üzerinde Allah’ın öğretmesi ve insana imkân vermesi bulunmaktadır. Bu sebeple ilim talebi yalnızca zihinsel bir kapasite artırımı değil, Allah’ın lütfuna yönelmiş bir kulluk talebidir. Bu yüzden öğrenmek bir çeşit ibadettir.

İlmin artmasıyla birlikte sorumluluğun da artacağı açıktır. Kur’an-ı Kerim’de Hz. Peygamber’e (s.a.s.) ilim talebinin öğretilmesi, bilginin salt bir üstünlük vasıtası olmadığını; doğruya ulaşma, doğruyu yaşama ve doğruyu tebliğ etme sorumluluğuyla birlikte düşünülmesi gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla bu dua, bilgi ile ahlâk arasındaki bağın da önemini ortaya koymaktadır. İlim arttıkça sorumluluk artar; ilim arttıkça ilme olan ihtiyaç ortaya çıkar.

4. Doğrulukla Girme, Doğrulukla Çıkma ve İlâhî Yardım Talebi

Kur’an-ı Kerim’de Hz. Peygamber’e öğretilen dualardan biri de: “De ki: ‘Rabbim! Girilecek yere doğrulukla girmemi, çıkılacak yerden de doğrulukla çıkmamı sağla, bana tarafından yardımcı bir güç ver!’” niyazıdır. Burada Hz. Peygamber’e (s.a.s.), Allah’tan gireceği yere doğruluk ve esenlik içerisinde girmeyi, çıkacağı yerden de doğruluk ve esenlik içerisinde çıkmayı istemesi ve kendisine Allah katından yardımcı bir güç verilmesini dilemesi bildirilmiştir ve öğretilmiştir.

Bu duanın dikkat çeken yönlerinden biri, “giriş” ve “çıkış” kavramlarının yalnızca fizikî bir mekân ile sınırlı olmamasıdır. Bu ifadeler, hicret bağlamında değerlendirilebileceği gibi; daha genel bir anlam da yüklenebilir. Örneğin; bir işe başlarken ve işi tamamlarken doğruluk, samimiyet ve hayır isteme şeklinde de anlaşılabilir.

Bu çerçevede dua, insanın hayatındaki geçiş anlarına ilişkin önemli bir bilinç kazandırmaktadır. İnsan yeni bir işe başlarken, bir ortamdan ayrılırken, bir sorumluluk üstlenirken veya önemli bir karar verirken yalnızca kendi gücüne güvenmemelidir. Başlangıcın doğru olması kadar sonucun da doğru ve hayırlı olması için Allah’ın yardımına ihtiyaç vardır. “Akıbet hayrolsun!” deyiimi oldukça meşhurdur ve çokça kullanılmaktadır.

Âyetin sonunda yer alan “yardımcı bir güç” talebi de çok önemlidir. Hz. Peygamber (s.a.s.), görevini yerine getirirken Allah’tan destek istemektedir. Burada peygamberlik görevinin Allah’ın yardımı olmaksızın düşünülemeyeceği bilinen ve beklenen bir husustur. Resûlullah’ın Allah’ın elçisi olması, onun beşerî imkânların üzerinde bir güç sahibi olduğu anlamına gelmemektedir. Aksine O da (s.a.s.) Rabbine yönelmekte ve O’ndan yardım istemektedir.

Bu dua, aynı zamanda müslümanın hayatında doğruluk ilkesinin yalnızca sonuca değil, sürecin tamamına ilişkin olduğunu göstermektedir. “Doğru bir giriş” ve “doğru bir çıkış” birlikte zikredilmektedir. Böylece iyi bir sonuca ulaşmak kadar o sonuca hangi niyet ve yöntemle ulaşıldığı da önem kazanmaktadır. Nice “iyi başlayan” işlerin “kötü bittiği” herkesin malumu olan bir husustur. Toplumda bu konuda pek çok örneğe rastlamak mümkündür.

5.Şeytanın Vesveselerinden Allah’a Sığınmak

Kur’an-ı Kerim’de Hz. Peygamber’e emredilen dualardan birisi de şudur: “Sen de ki: ‘Ya Rabbî! Şeytanların vesveselerinden, onların yanımda bulunmalarından Sana sığınırım!’” (el-Mü’minûn 23/97-98).

Burada Hz. Peygamber’e şeytanların vesveselerinden Allah’a sığınması öğretilmektedir. Burada iki yönlü bir sığınma talebi bulunmaktadır: Öncelikle şeytanların kışkırtmalarından Allah’a sığınmak, ardından onların insanın yanında bulunmasından yine Allah’a sığınmak

Bu dua, insanın görünmeyen tehlikelere karşı Allah’ın korumasına muhtaç olduğunu göstermektedir. İnsan yalnızca dışarıdan gelen açık tehlikelerle karşı karşıya değildir. İrade, düşünce, arzu ve davranış alanında da insanı yanıltıcı sürükleyebilecek birtakım etkiler söz konusu olabilir. Kur’an bu noktada insanın Rabbine sığınmasını öğretmektedir.

Bu ayetler, Hz. Peygamber’in şahsında bütün ümmete yöneltilmiş bir emir niteliği taşımakta ve Hz. Peygamber’in bu sözlerle dua etmesinin onun hem kulluk hem de ümmete örneklik göreviyle ilişkili olduğu vurgulanmadır.

Burada dikkat çeken hususlardan biri de Hz. Peygamber'in Allah'ın korumasına yönelmesidir. Bu durum, peygamberlik makamının kulluk niteliğini ortadan kaldırmadığını göstermektedir. Aksine peygamber, Allah'a en çok yönelen ve O'nun korumasına en fazla ihtiyaç duyduğunun bilincinde olan kuldur.

Bu dua, günümüz insanı açısından da önemli bir anlam taşımaktadır. İnsan, davranışlarını yalnızca dış dünyadaki maddî sebepler üzerinden değerlendirdiğinde iç dünyasında meydana gelen yönelişleri gözden kaçırabilir. Kur'an'ın öğrettiği sığınma bilinci ise insanın hem dış hem iç dünyasını Allah'ın himayesine arz etmesini gerektirmektedir. Nice varlıklı insanların iç huzursuzluk ile karşı karşıya kalmaları örnek gösterilebilir. Sadece maddi refah sağlamaz.

6. Mağfiret ve Rahmet Talebi

Kur'an-ı Kerim'de Hz. Peygamber'in dua ve niyazlarının bir diğer boyutu Allah'ın mağfiret ve rahmetine yönelmesidir. Hz. Peygamber'in Kur'an'daki konumu düşünüldüğünde, O'nun (s.a.s.) Allah'ın rahmetine ve mağfiretine yönelmesinin özellikle anlamlı olduğu görülmektedir. Burada dua, kişinin kendisini Allah'ın rahmetinden müstağni görmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Kişi, hangi pozisyonda bulunursa bulunsun her daim ilahî rahmete muhtaçtır.

Peygamberlik, kul olma vasfını ortadan kaldırmaz. Hz. Peygamber de Allah'ın kulu ve elçisidir. Bu sebeple onun dua etmesi, müslüman için sadece taklit edilecek bazı sözlerin öğretilmesi anlamına gelmez; aynı zamanda kulun Rabbine karşı nasıl bir ruh hâli içerisinde bulunması gerektiğini gösterir.

Kur'an-ı Kerim'de Hz. Peygamber'e dua formunda yöneltilen bazı ifadelerde Allah'ın rahmetine, yardımına ve bağışlamasına yönelme görülmektedir. Bu ifadeler, Peygamber'in şahsında ümmete bir kulluk bilinci kazandırmaktadır. İnsan, ne kadar salih amel işlerse işlesin Allah'ın lütuf ve rahmetine muhtaçtır.

Bu durum dua ile amelin birbirinden koparılmaması gerektiğini de göstermektedir. Dua, sorumluluklardan kaçmanın bir yolu değildir. Bilakis insanın sorumluluğunu yerine getirirken Allah'ın rahmetine sığınmasıdır. Böylece dua, çalışmanın alternatifi değil, çalışmayı anlamlı kılan kulluk bilincinin bir parçası hâline gelir.

7. Hakkın Hükmünü Allah'a Bırakmak

Kur'an'da Hz. Peygamber'in karşılaştığı inkâr, itiraz ve düşmanlıklar karşısında Allah'a yönelişi de dikkat çekmektedir. Bu bağlamda “Resulullah sonunda şöyle dedi: “Ya Rabbî, adaletle hükmünü ver! Rabbimiz rahmandır, sizin bunca isnad ve iftiralarınıza karşı yegâne müsteandır. ” (Enbiyâ 21/112) âyetinde yer alan niyaz, Hz. Peygamber'in karşı karşıya kaldığı meselelerin nihai hükmünü Allah'a bırakmasını ifade etmektedir.

Bu dua, insanın her durumda kendi gücünü yeterli görmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle hak ile bâtılın, doğru ile yanlışın çatıştığı durumlarda insanın nihai adaletin Allah'ın hükmünde bulunduğunu bilmesi ve O'na havale etmesi gerekir.

Hz. Peygamber'in tebliğ görevi, insanları zorlayarak bir sonuca ulaştırmak değildir. Onun görevi hakkı tebliğ etmek, insanları uyarmak ve doğru yolu göstermektir. İnsanların vereceği karşılık ise onların iradesiyle ilgilidir. Bu noktada Allah'ın hükmüne ve yardımına yönelmek, “peygamberî tavrın” önemli bir boyutunu oluşturmaktadır.

Bu dua aynı zamanda adalet anlayışı bakımından da son derece ehemmiyetlidir. İnsanlar arasındaki ihtilaflarda taraflardan biri kendi haklılığını mutlaklaştırabilir. Kur'an-ı Kerim ise son hükmün Allah'a ait olduğunu hatırlatmaktadır. Böylece dua, insanın kendi hükmünü mutlaklaştırmasını önleyen bir kulluk bilinci meydana getirmektedir.

8.Hz. Peygamber'in Dualarında Bilgi, Ahlâk ve Kulluk

Kur'an-ı Kerim'de Hz. Peygamber'e öğretilen dualar birlikte değerlendirildiğinde üç temel alanın öne çıktığı görülmektedir:

“Bilgi”, “Ahlâk” ve “Kulluk”.

Bilgi alanında “Rabbim! İlmimi arttır” duası bulunmaktadır. Bu dua, müslümanın bilgisini sürekli artırmasını ve ilim karşısında mütevazı olmasını öğretmektedir. Bilgi sahibi olmak kadar, daha fazla bilgiye ihtiyaç duyduğunu kabul etmek de önemlidir.

Ahlâk alanında ise doğrulukla girme ve doğrulukla çıkma duası dikkat çekmektedir. Burada insanın niyeti, yöntemi ve sonucu arasında bir bütünlük bulunması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Doğru bir hedefe yanlış yöntemlerle ulaşma anlayışı Kur'an'ın dua üslubuyla bağdaşmamaktadır.

Kulluk alanında ise şeytanın vesveselerinden Allah'a sığınma öne çıkmaktadır. İnsan kendi iradesine ve gücüne güvenmekle birlikte, nefsinin ve dış etkilerin kendisini yanlış yönlendirebileceğini kabul etmeli ve Allah'ın yardımını istemelidir.

Kuşkusuz bu üç alan birbirinden bağımsız değildir. Sağlam bilgi ahlâkî sorumluluğa dönüşmediğinde eksik kalır. Ahlâkî çaba Allah'a kulluk bilincinden koparıldığında yalnızca insan merkezli bir davranış sistemine dönüşebilir. Kulluk ise bilgi ve ahlâkla desteklenmediğinde hayatın bütün alanlarına nüfuz eden bir bilinç hâline gelmekte zorlanabilir.

Dolayısıyla Hz. Peygamber'e öğretilen dualar, Müslümanın bütüncül bir şahsiyet geliştirmesine katkı sağlayacak bir çerçeve sunmaktadır.

9.Hz. Peygamber'in Dualarında Tevekkül ve Sorumluluk

Dua ile tevekkül arasındaki ilişki, Kur'an'daki peygamber dualarının anlaşılması bakımından önemlidir. Tevekkül, insanın hiçbir şey yapmadan sonucu Allah'a bırakması şeklinde anlaşılmalıdır. Kur'an-ı Kerim'in peygamber dualarında görülen tablo bunun tam tersini göstermektedir.

Hz. Peygamber tebliğ etmekte, insanları uyarmakta, mücadele etmekte ve kendisine verilen görevi yerine getirmektedir. Bununla birlikte sonuç konusunda Allah'a yönelmektedir. İsrâ sûresindeki dua bu bakımdan dikkat çekicidir. Hz. Peygamber giriş ve çıkışında doğruluk ve yardım istemektedir. Burada hem hareket hem dua birlikte bulunmaktadır.

Tâhâ sûresindeki ilim duası da aynı şekilde değerlendirilebilir. İlim talep eden insanın öğrenmek için çaba göstermesi gerekir. Dua, bu çabanın yerine geçmez; aksine onu anlamlı bir kulluk çerçevesine yerleştirir.

Bu sebeple dua, müslümanın sorumluluklarını terk etmesinin değil, onları yerine getirirken Allah'a dayanmasının ifadesidir. İnsan elinden geleni yapar; fakat kendi gücünü mutlaklaştırmaz. Başarıyı yalnızca kendisine mal etmez ve başarısızlık karşısında da Allah'ın rahmetinden ümit kesmez.

10.Hz. Peygamber'in Dualarının Eğitim Boyutu

Kur'an-ı Kerim'de Hz. Peygamber'in dualarına yer verilmesinin önemli bir yönü de eğitimidir. Kur'an-ı Kerim, Hz. Peygamber'e dua ettirirken aynı zamanda ümmete dua etmeyi öğretmektedir. Bu sebeple söz konusu dualar yalnızca Hz. Peygamber'in şahsına ait ifadeler olarak değerlendirilmemelidir.

Örneğin "Rabbim! İlmimi arttır" duası, her müslümanın hayatında ilmin önemini hatırlatan son derece kısa ve kapsamlı bir eğitim ilkesidir. Bu ifade, özellikle ilim talebeleri açısından sürekli hatırlanması gereken bir bilinç ortaya koymaktadır. Öğrenci için olduğu kadar öğretici için de ilmin sonunun bulunmadığını hatırlatmaktadır. İsrâ sûresindeki dua ise insanın yaptığı işlerde doğruluğu esas almasını öğretmektedir. Bir işe başlarken niyetin, işin yürütülmesi sırasında yöntemin ve işin sonunda ortaya çıkan neticenin hayırlı olması için Allah'tan yardım istenmektedir.

Mü'minûn sûresindeki sığınma duası ise insanın kendisini güvenli ve kusursuz görmemesini öğretmektedir. Kişi, kendi iradesini korumak ve yanlış yönelişlerden uzak durmak için Allah'a sığınmalıdır.

Böylece Kur'an-ı Kerim'deki bu dualar, insanın zihnî, ahlâkî ve ruhî eğitimini birlikte ele almaktadır. Dua eden insan yalnızca bir şey istememekte; aynı zamanda neyi istemesi gerektiğini de öğrenmektedir. Bu nokta, Kur'an'daki dua anlayışının eğitici karakterini göstermesi bakımından önemlidir.

11.Hz. Peygamber'in Dualarında Ümit ve Sığınma

Kur'an-ı Kerim'deki peygamber dualarında dikkat çeken bir başka özellik, ümit ile sığınmanın birlikte bulunmasıdır. İnsan Allah'a yöneldiğinde bir taraftan kendi yetersizliğini kabul ederken diğer taraftan Allah'ın kudretine güvenmektedir.

“Rabbim! İlmimi arttır” ifadesinde insanın bilgi bakımından gelişmeye açık olduğu kabul edilmektedir. İsrâ sûresindeki duada Allah'ın yardımına ihtiyaç duyulmaktadır. Mü'minûn sûresindeki duada ise insanın korunmaya muhtaç olduğu ifade edilmektedir. Bu üç örneğin ortak noktası, kulun kendisini Allah'tan bağımsız görmemesidir.

Bununla birlikte bu dualarda karamsarlık hâkim değildir. Aksine dua, ümidin ifadesidir. İnsan kendi eksikliğini kabul ederken Allah'ın rahmet ve kudretinin genişliğine güvenmektedir. Bu sebeple dua, bir çaresizlik ilanından ziyade Allah'a yönelmiş bilinçli bir kulluk biçimidir.

Hiz. Peygamber'in duaları bu açıdan Müslümanın psikolojik ve ahlâkî hayatı bakımından da önemlidir. İnsan hayatında başarısızlık, belirsizlik, korku ve sıkıntı gibi durumlarla karşılaşabilir. Kur'an-ı Kerim'in öğrettiği dua dili, insanın bu durumlarda Allah ile bağıni korumasına yardımcı olur. Böylece dua, insanın hem kendi sınırlarını hem de Allah'ın sınırsız kudretini hatırlamasını sağlar.

12.Hiz. Peygamber'in Dualarında Kulluk Bilinci

Kur'an-ı Kerim'de Hiz. Peygamber'in dualarının tamamına bakıldığında ortak bir kulluk bilincinin bulunduđu görülmektedir. Hiz. Peygamber, sahip olduđu peygamberlik makamına rağmen Allah'a karşı kulluk konumunu muhafaza etmektedir.

Bu durum İslâm'ın peygamberlik anlayışı açısından da önemlidir. Hiz. Peygamber insanlara örnek olmakla birlikte ilâhî kudretin ortağı değildir. O da Allah'ın kulu ve elçisidir. Bu sebeple Kur'an-ı Kerim'de O'nun (s.a.s.) Allah'a yönelmesi, dua etmesi ve O'ndan yardım istemesi tabii bir şekilde sunulmaktadır.

Kulluk bilinci, insanın kendi gücünü ve konumunu doğru değerlendirmesini sağlar. İnsan ne kadar bilgi sahibi olursa olsun daha fazla bilgiye ihtiyaç duyabilir. Ne kadar güçlü olursa olsun Allah'ın yardımına muhtaçtır. Ne kadar dikkatli olursa olsun yanlış yönelişlerden Allah'a sığınmalıdır.

Kur'an-ı Kerim'in Hz. Peygamber'e öğrettiği dualar tam olarak böyle bir denge meydana getirmektedir. Bir tarafta sorumluluk, gayret ve mücadele; diğer tarafta tevazu, dua ve Allah'a sığınma vardır. İslâmî kulluk anlayışının temel özelliklerinden biri de bu iki boyutu birlikte taşıyabilmektir.

13.SONUÇ

Kur'ân-ı Kerîm'de Hz. Peygamber'in duaları sayı bakımından geniş bir külliyat oluşturmamakla birlikte, içerik bakımından oldukça yoğun bir anlam dünyasına sahiptir. Bu dualar incelendiğinde Hz. Peygamber'in Allah ile ilişkisinin yalnızca tebliğ ve ibadet boyutundan ibaret olmadığı; dua, niyaz, sığınma ve yardım talebi şeklinde de somutlaştığı görülmektedir.

Tâhâ sûresindeki “Rabbim! İlmimi arttır” duası, bilgi talebini kulluk hayatının merkezine yerleştirmektedir. Bu dua, Müslümanın sahip olduğu bilgiyle yetinmemesi ve ilim konusunda sürekli gelişme arayışı içinde olması gerektiğini göstermektedir. Üstelik bu talep, insanın ilmi yalnızca kendi çabasıyla elde edilen bir kazanım olarak değil, Allah'ın lütfuyla ilişkili bir nimet olarak görmesini de beraberinde getirmektedir.

İsrâ sûresindeki giriş ve çıkış duası ise doğruluk, samimiyet ve ilâhî yardım taleplerini bir araya getirmektedir. Bu dua, insanın hayatındaki başlangıç ve sonuçların Allah'ın yardımıyla hayırlı olmasını istemesi bakımından dikkat çekmektedir. Aynı zamanda hedef kadar yöntemin de önemli olduğunu göstermektedir.

Mü'minûn sûresindeki şeytanın vesveselerinden Allah'a sığınma duası ise insanın kendi iradesine güvenmekle birlikte Allah'ın korumasına ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır. Hz. Peygamber'in şahsında ümmete öğretilen bu dua, insanın görünür ve görünmez tehlikeler karşısında Rabbine yönelmesi gerektiğini hatırlatmaktadır.

Bu duaların ortak özelliği, insanı pasifliğe sevk etmemeleridir. Aksine dua ile sorumluluk, tevekkül ile gayret, kulluk ile irade arasında bir denge kurulmaktadır. Hz. Peygamber görevini yerine getirirken Allah'tan yardım istemekte; ilim için çaba gösterirken Allah'tan ilminin artırılmasını dilemekte; insanlara tebliğ ederken karşılaştığı zorluklar karşısında Allah'a yönelmekte ve şeytanın vesveselerinden O'na sığınmaktadır.

Dolayısıyla Kur'an-ı Kerim'de Hz. Peygamber'in duaları, Müslüman için yalnızca ezberlenip tekrar edilecek ifadeler değildir. Bunlar aynı zamanda bir dünya görüşü ve kulluk bilinci kazandırmaktadır. İnsan bilgi karşısında mütevazı, sorumluluk karşısında gayretli, sonuç karşısında tevekküllü ve tehlike karşısında Allah'a sığınan bir şahsiyet geliştirmelidir.

Sonuç olarak Kur'an'da Hz. Peygamber'e öğretilen dualar; ilim talebi, doğruluk, ilâhî yardım, korunma, kulluk, tevekkül ve ümit ekseninde şekillenmektedir. Bu dualar, Resûlullah'ın (s.a.s.) Allah karşısındaki kulluk şuuru

yansıtmakta ve aynı zamanda ümmet için sürekli canlı tutulması gereken bir dua ve hayat ahlâkı ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

Kur'ân-ı Kerîm.

Cilacı, O. (1994). “Dua”. Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi.

İbn Âşûr, M. T. (1984). et-Taḥrîr ve't-tenvîr. ed-Dârü't-Tûnusiyye li'n-Neşr.

İbn Kesîr, İ. (1999). Tefsîru'l-Kur'âni'l-'Azîm. Dâr Tayyibe.

Karaman, H., Çağrıçı, M., Dönmez, İ. K., & Gümüş, S. (2007). Kur'an yolu: Türkçe meâl ve tefsir.

Parladır, S. (1994). “Dua”. Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi

Râzî, F. (2000). Mefâtîhu'l-gayb. Dâr İhyâi't-Türâsi'l-Arabî.

Sa'dî, A. b. N. (2000). Teysîru'l-Kerîmi'r-Rahmân fî tefsîri kelâmi'l-Mennân. Müessesetü'r-Risâle.

Taberî, M. b. Cerîr. (2001). Câmi'u'l-beyân 'an te'vîli âyi'l-Kur'ân. Dâr Hicr.

TANZİMAT DÖNEMİNDE OSMANLI MEKTEPLERİNDE ÇOCUK OLMAK

Dr. Öğr. Üyesi, Fatma ERTEN

Karabük Üniversitesi, Tarih Bölümü, fatmaerten@karabuk.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0934-3347

Özet

XIX. yüzyıl, Osmanlı eğitim sisteminde geleneksel kurumların varlığını sürdürdüğü, buna karşılık yeni eğitim kurumlarının oluşturulduğu ve devletin eğitim alanındaki etkinliğinin giderek arttığı önemli bir dönüşüm dönemidir. Tanzimat’la birlikte sıbyan mekteplerinin ıslahı, rüşdiyelerin yaygınlaştırılması, öğretmen yetiştiren kurumların açılması ve müfredatın yeniden düzenlenmesi yönündeki girişimler, yalnızca eğitim sisteminin kurumsal yapısını değil, bu sistemin temel öznesi olan çocuğun mektep hayatını da etkilemiştir. Bununla birlikte Tanzimat dönemi eğitim tarihi üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla eğitim politikaları, kurumlar ve idarî düzenlemeler üzerinde yoğunlaşmış; söz konusu dönüşümün çocukların gündelik mektep deneyimine nasıl yansıdığı nispeten geri planda kalmıştır.

Bu çalışma, “Tanzimat döneminde Osmanlı mekteplerinde çocuk olmak ne anlama geliyordu?” sorusundan hareketle eğitimde yaşanan değişimi çocuk ve öğrencilik deneyimi üzerinden değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çocukların mektebe başlama yaşları ve eğitim süreleri, mektepteki gündelik hayatları, ders ve öğrenme biçimleri, öğretmen-öğrenci ilişkileri, disiplin uygulamaları, sınavlar ile başarı ve ödüllendirme pratikleri ele alınmaktadır. Ayrıca geleneksel sıbyan mektepleri ile yeni usul mektepler arasındaki farklılıkların çocukların eğitim deneyimlerine nasıl yansıdığı incelenmektedir.

Çalışmada, dönemin eğitim düzenlemeleri ile birlikte hatırat ve döneme ilişkin araştırmalardan yararlanılarak kurumsal düzenlemeler ile çocukların yaşanmış mektep tecrübeleri birlikte değerlendirilmektedir. Böylece Tanzimat eğitim reformlarının çocuğun yalnızca ne öğrendiğini değil; mektepte zamanını nasıl geçirdiğini, nasıl öğrendiğini, hangi davranış kalıplarına tâbi tutulduğunu ve öğrenci olarak nasıl konumlandırıldığını da değiştirdiği ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla çalışma, Tanzimat dönemi eğitim modernleşmesini yalnızca kurumların dönüşümü olarak değil, Osmanlı toplumunda çocukluk ve öğrencilik deneyiminin yeniden şekillendiği bir süreç olarak değerlendirmeyi önermektedir.

Anahtar kelimeler: Tanzimat, Osmanlı Eğitim Tarihi, Sıbyan Mektebi, Rüşdiye, Öğrencilik.

BEING A CHILD IN OTTOMAN SCHOOLS DURING THE TANZIMAT PERIOD

Abstract

The nineteenth century was a period of significant transformation in the Ottoman education system, during which traditional institutions continued to exist alongside newly established educational institutions, while the state assumed an increasingly active role in the field of education. With the Tanzimat, initiatives aimed at reforming *sıbyan* (elementary) schools, expanding *rüşdiye* (secondary) schools, establishing teacher-training institutions, and reorganizing curricula affected not only the institutional structure of the education system but also the school lives of children, who stood at the center of this system. Nevertheless, studies on the history of education during the Tanzimat period have largely focused on educational policies, institutions, and administrative regulations, while the ways in which this transformation shaped children's everyday experiences at school have received comparatively less attention.

Taking the question, "What did it mean to be a child in an Ottoman school during the Tanzimat period?" as its point of departure, this study examines educational transformation through the experiences of childhood and student life. In this context, it addresses children's school-entry ages and duration of schooling, their everyday lives at school, teaching and learning practices, teacher-student relations, disciplinary practices, examinations, and practices of achievement and reward. It also explores how the differences between traditional *sıbyan* schools and new-method (*usûl-i cedid*) schools were reflected in children's educational experiences.

Drawing on educational regulations of the period as well as memoirs and relevant scholarly studies, the study considers institutional arrangements alongside children's lived experiences of schooling. It thus seeks to demonstrate that the Tanzimat educational reforms transformed not only what children learned, but also how they spent their time at school, how they learned, what patterns of behavior they were expected to follow, and how they were positioned as students. Accordingly, this study proposes that educational modernization during the Tanzimat period should be understood not merely as an institutional transformation, but also as a process through which the experiences of childhood and student life in Ottoman society were reshaped.

Keywords: Tanzimat, Ottoman Educational History, *Sıbyan* School, *Rüşdiye*, Student Life.

TÜRKİYE’DE BANKA BİLANÇOLARINDA DOLARİZASYONUN DİNAMİKLERİ: DÖVİZ KURU VE FAİZ ORANLARIYLA İLİŞKİSİ

Dr.Öğr.Üyesi HATİCE BAŞKAYA^{1/} Prof.Dr. Abdullah ÖZDEMİR²

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Nazilli İİBF, İşletme, haticebaskaya@adu.edu.tr, 0000-0002-6098-3999

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Nazilli İİBF, İktisat, aozdemir@adu.edu.tr, 0000- 0002-7506-3431

Özet

Dolarizasyon, ekonomik birimlerin ulusal para yerine yabancı para cinsinden varlık ve yükümlülük tutma eğilimini ifade etmekte ve özellikle yüksek enflasyon, döviz kuru oynaklığı ve ulusal paraya yönelik belirsizliğin arttığı ekonomilerde finansal istikrar açısından önem kazanmaktadır. Ulusal paranın değer saklama işlevinin zayıflaması, hanehalkı ve firmaların finansal tercihlerinde yabancı paranın ağırlığını artırabilirken, bu eğilimin bankacılık sistemine yansımaları bilanço yapısını ve kur hareketlerine olan duyarlılığı da etkileyebilmektedir. Türkiye ekonomisinin enflasyon, döviz kuru hareketleri, dış finansman gereksinimi ve dönemler itibarıyla değişen para ve makrofinansal politika uygulamalarına duyarlı yapısı, dolarizasyonun geçici bir portföy tercihidir. Bankacılık sektörü açısından dolarizasyon ise yalnızca mevduat sahiplerinin yabancı para tercihleriyle sınırlı olmayıp kredileri, aktifleri ve pasifleri kapsayan daha geniş bir bilanço sürecini ifade etmektedir.

Bu çalışma, 2002:12–2026:07 dönemine ait aylık veriler kullanılarak döviz kuru hareketleri ve TL mevduat faizleri ile Türk bankacılık sektörünün bilanço dolarizasyonu arasındaki dinamik ilişkiyi incelemektedir. Çalışmanın temel amacı, faiz oranı ve döviz kuru değişimlerinin bilanço dolarizasyonu ile kısa ve uzun dönemde nasıl bir ilişki gösterdiğini ve bu ilişkinin farklı makrofinansal dönemler dikkate alındığında ne ölçüde değiştiğini ortaya koymaktır. Banka bilanço kalemlerinin kaynak veri setinde milyon ABD doları cinsinden yer alması nedeniyle, kur hareketlerinin ham bilanço büyüklükleri üzerindeki mekanik değerlendirme etkisini sınırlandırmak amacıyla yabancı para (YP) mevduat, kredi, aktif ve pasif kalemlerinin ilgili bilanço büyüklükleri içindeki payları dört ayrı dolarizasyon göstergesi olarak kullanılmıştır. Açıklayıcı değişkenler 1 aya kadar vadeli TL mevduat faizi ile aylık döviz kuru değişimidir. Birim kök ve yapısal kırılma sınamalarının ardından değişkenlerin bütünleşme özellikleri dikkate alınarak ARDL sınır testi yaklaşımı ve hata düzeltme modeli (ECM) uygulanmıştır.

Bulgular, dört dolarizasyon göstergesi için de uzun dönem düzey ilişkisinin varlığına ilişkin istatistiksel kanıt sunmaktadır. Hata düzeltme katsayılarının tamamı negatiftir; katsayı üç göstergede (YP kredi, aktif ve pasif payı) %5, birinde (YP mevduat payı) %10 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş, aylık uyum hızının yaklaşık %2,4–%4,0 aralığında kaldığı ve kısa dönemli sapmaların ardından uzun dönem dengesine dönüşün görece yavaş ve kademeli gerçekleştiği belirlenmiştir. Uzun dönem katsayıları incelendiğinde, döviz kuru değişiminin dört göstergede de pozitif olduğu ve üç modelde %5, birinde %10 düzeyinde anlamlı kaldığı; buna karşılık TL mevduat faizinin uzun dönem etkisinin yalnızca YP kredi payında istatistiksel olarak anlamlı çıktığı, diğer üç göstergede anlamsız kaldığı görülmüştür. Ayrıca 2008:10, 2018:08, 2021:12 ve 2023:06 dönemlerine ilişkin rejim kukla değişkenlerinin modellere eklenmesi BIC değerlerini dört modelde de belirgin biçimde iyileştirmiştir. Bu sonuç, uzun örneklem döneminin değişmeyen tek bir ekonomik rejim altında ele alınmasının yeterli olmadığını göstermektedir. Genel olarak bulgular, Türkiye'de banka bilançosu dolarizasyonunun döviz kuru dinamikleriyle tutarlı ve güçlü biçimde ilişkili olduğunu, buna karşın TL mevduat faizinin etkisinin sınırlı ve bilanço kalemine özgü kaldığını; bu nedenle dolarizasyonun yalnızca faiz oranları üzerinden açıklanabilecek tek boyutlu bir süreç olarak değerlendirilmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, dolarizasyonun farklı bilanço bileşenleri üzerinden ele alınmasının ve uzun dönemli analizlerde rejim değişimlerinin dikkate alınmasının önemine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dolarizasyon, Bankacılık Sektörü, Döviz Kuru, Mevduat Faizi, ARDL, ECM.

DYNAMICS OF BANK BALANCE SHEET DOLLARIZATION IN TÜRKİYE: ITS RELATIONSHIP WITH EXCHANGE RATES AND INTEREST RATES

Abstract

Dollarization generally refers to the use of foreign currency in place of, or alongside, the domestic currency for holding financial assets and liabilities. It tends to become more pronounced when inflation is persistent, exchange rates are volatile, and confidence in the domestic currency weakens. Under such conditions, foreign currency holdings may serve as a means of preserving value for households and firms. Once this preference becomes embedded in the banking system, however, its implications extend beyond deposit behavior. Foreign currency loans, assets, and liabilities may alter the structure of bank balance sheets and increase their sensitivity to exchange rate movements. Türkiye provides a relevant setting for examining this issue given its long experience with inflation, exchange rate fluctuations, external financing needs, and substantial changes in monetary and macro-financial conditions.

Using monthly observations from 2002:12 to 2026:07, this paper investigates the relationship between exchange rate movements, Turkish lira (TL) deposit rates, and dollarization in the balance sheets of the Turkish banking sector. Dollarization is measured separately for deposits, loans, assets, and liabilities. Since the original balance-sheet series are reported in millions of US dollars, working directly with their levels could introduce a mechanical valuation effect when the exchange rate changes. For this reason, the analysis uses the shares of foreign currency (FX) deposits, loans, assets, and liabilities in their corresponding balance-sheet aggregates. The explanatory variables are the interest rate on TL deposits with maturities of up to one month and the monthly change in the exchange rate.

The time-series properties of the variables are first examined through unit root and structural break tests. Given their integration properties, long-run relationships are investigated using the ARDL bounds testing framework, while short-run adjustments are estimated through an error correction model (ECM). The results support the presence of a long-run level relationship for each of the four measures of dollarization. Error correction coefficients are negative in all specifications, statistically significant at the 5% level for three of the four measures (FX loan, asset and liability shares) and at the 10% level for the FX deposit share; their magnitude implies that roughly 2.4-4.0% of a deviation from long-run equilibrium is corrected each month, pointing to a relatively gradual adjustment process. The long-run coefficient on exchange rate changes is positive across all four measures, significant at the 5% level in two specifications and at the 10% level in the other two, whereas

the long-run coefficient on the TL deposit rate is statistically significant only for the FX loan share and insignificant elsewhere.

The sample covers periods with markedly different economic and policy conditions. To account for these shifts, regime dummies for 2008:10, 2018:08, 2021:12, and 2023:06 are included in the models. Their inclusion produces a clear improvement in the Bayesian Information Criterion (BIC) in all four specifications, suggesting that treating the entire sample as a single and stable regime would overlook relevant changes within the period. Taken together, the estimates show that bank balance-sheet dollarization in Türkiye is consistently and robustly related to exchange rate dynamics, while the influence of the TL deposit rate is limited and specific to the loan side of the balance sheet; dollarization is therefore not adequately described by interest rate movements alone. Persistence in balance-sheet composition and changes in the broader macro-financial environment also need to be taken into account when examining the evolution of dollarization.

Keywords: Dollarization, Banking Sector, Exchange Rate, Deposit Interest Rate, ARDL, ECM.

1. GİRİŞ

Türkiye’de dolarizasyon tartışması 2023 sonrasında yeni bir döneme evrilmiştir. Sıkı para politikası, Türk lirası tasarruf araçlarının görece getirisindeki yükseliş, kur korumalı mevduatın kademeli olarak sistemden çıkarılması ve makroihtiyati çerçevenin sadeleştirilmesi, yerli para tercihinin yeniden güçlendirmeyi amaçlayan daha bütüncül bir politika bileşimi oluşturmuştur. Bununla birlikte, 2026 yılına gelindiğinde dolarizasyon hala gündemdedir. TCMB’nin 2026-I Enflasyon Raporu TL mevduat payının yaklaşık yüzde 60 düzeyinde istikrarlı seyrettiğini ve Kur Korumalı Mevduat (KKM) bakiyesinin neredeyse sıfırlandığını belirtirken, fiyat ve parite etkilerinden arındırıldığında daha sınırlı olmakla birlikte YP mevduatlarda artış gözlemlendiğine dikkat çekmektedir (TCMB, 2026a). IMF raporunda da lira talebindeki güçlenmeye karşın dolarizasyon ve döviz likiditesi risklerinin izlenmeye devam edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (IMF, 2026). Bu görünüm, dolarizasyonun yalnızca yabancı para mevduatların düzeyi üzerinden değil, bankacılık bilançosunun bütünü ve değişen politika rejimleri içinde değerlendirilmesini daha da önemli hâle getirmektedir.

Dolarizasyonun bankacılık sistemi açısından önemi, kur hareketlerinin yalnızca tasarruf tercihlerine değil, bankaların fonlama yapısına, kredi kompozisyonuna ve aktif-pasif dengesine de yansımından kaynaklanmaktadır. Yabancı para cinsinden varlık ve yükümlülüklerin ağırlığı arttıkça kur şoklarının bilanço üzerindeki etkisi güçlenebilmekte; para birimi ve vade uyumsuzlukları bu etkiyi daha görünür hâle getirebilmektedir. Aynı zamanda yüksek dolarizasyon, faiz kanalının mevduat ve kredi kararlarına aktarımını zayıflatabilmekte ve kur-enflasyon geçişkenliğini artırabilmektedir. Enflasyonun gerilediği veya TL cinsi araçların getirilerinin yükseldiği dönemlerde dahi yabancı para tercihinin bütünüyle çözülmemesi ise dolarizasyon histerisizi tartışmasını gündemde tutmaktadır. Bu nedenle Türkiye örneğinde asıl soru, faiz veya kurdaki tekil hareketlerden çok, bu değişkenlerin bilanço dolarizasyonu ile kısa ve uzun dönemde nasıl birlikte hareket ettiğidir.

Söz konusu sorun aynı zamanda güncel politika çerçevesi bakımından da önemlidir. TCMB, 2026 yılında parasal aktarım mekanizmasını desteklemek amacıyla makro ihtiyati araçlarda sadeleşmeye devam ederken yabancı para mevduatlara uygulanan zorunlu karşılık oranlarında da değişikliğe gitmiştir (TCMB, 2026b). Dolayısıyla son dönemdeki görünüm, bir taraftan TL’ye yönelimi destekleyen sıkı finansal koşulları, diğer taraftan döviz talebinin kur, enflasyon beklentileri ve risk algısına duyarlılığını aynı anda barındırmaktadır. Bankaların yabancı para açık pozisyonlarını düzenleyici sınırlar içinde tutabilmeleri, bilanço kompozisyonundaki dolarizasyonun ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir. Mevduat, kredi, aktif ve pasif

kalemlerinin ayrı ayrı izlenmesi bu nedenle hem akademik hem de politika açısından daha açıklayıcı bir çerçeve sunmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu dönüşümü uzun bir zaman perspektifi içinde değerlendirmek amacıyla 2002:12-2026:07 dönemine ait aylık verilerle döviz kuru hareketleri ve TL mevduat faizleri ile Türk bankacılık sektörünün YP mevduat, YP kredi, YP aktif ve YP pasif payları arasındaki dinamik ilişkiyi incelemektedir. Analizde ARDL sınır testi ve hata düzeltme modeli kullanılarak kısa ve uzun dönem ilişkileri birlikte ele alınmakta; 2008, 2018, 2021 ve 2023'te belirginleşen makrofinansal rejim değişimleri kalıcı dönem kuklalarıyla kontrol edilmektedir.

2. LİTERATÜR

Türkçe literatürde dolarizasyon kavramı çoğu zaman “para ikamesi” ile aynı anlamda kullanılmakla birlikte, iki kavramın kapsamı bütünüyle örtüşmemektedir. Para ikamesi daha çok yabancı paranın ödeme aracı olarak kullanımını ifade ederken, dolarizasyon daha geniş bir olguyu kapsamaktadır. Dolarizasyon, yabancı paranın yerli para karşısında değer saklama, hesap birimi ve ödeme aracı işlevlerini kısmen veya tamamen üstlenmesi olarak ifade edilebilir. Bu nedenle dolarizasyon, ekonomik birimlerin yalnızca işlem tercihlerine değil, tasarruf ve varlık tercihlerine de yansıyan bir süreçtir (Özen, 2018: 103-104).

Bu kavramsal ayırım, dolarizasyonun neden yalnızca para talebi veya ödeme tercihleri üzerinden açıklanamayacağını da göstermektedir. Bu kapsamda literatürde üç bağlantılı mekanizma ön plana çıkmaktadır.

Portföy tercihi yaklaşımı, yerli ve yabancı varlıklar arasındaki risk-getiri farklarının para birimi kompozisyonunu ve döviz kurunu etkilediğini vurgulamaktadır (Demircioğlu, 2009: 19). **Bilanço yaklaşımı**, yabancı para cinsinden varlık ve yükümlülüklerin özellikle kur şokları karşısında firmaların ve finansal kuruluşların kırılganlığını değiştirdiğini göstermektedir (Kesriyeli vd., 2011: 4741). **Dolarizasyon histerisizi** yaklaşımı ise enflasyon gerilese ve yerli para cinsi varlıkların getirisi yükselse dahi geçmiş krizlerin ve güven kaybının yabancı para tercihinde kalıcılık yaratabileceğine işaret etmektedir (Erkan, 2022: 399). Bu üç kanal birlikte değerlendirildiğinde kur, faiz ve bilanço kompozisyonu arasındaki ilişkinin dönemsel politika koşullarından bağımsız ele alınamayacağı görülmektedir.

2.1. Türkiye Örneğine İlişkin Çalışmalar

Literatürde Türkiye ilişkin çalışmalar daha çok dolarizasyonun makroekonomik belirleyicilerine odaklanırken, yakın dönem çalışmalarında banka bilançosu, kârlılık, döviz pozisyonu ve kredi kanalı daha fazla öne çıkmaktadır. Bu dönüşüm, dolarizasyonun yalnızca tasarruf sahibinin para tercihi değil, finansal aracılık

sürecinin tamamına yayılan bir bilanço olgusu olarak ele alınmasına imkân vermektedir. Bu çerçevede Sarı (2007: 56-59), Türkiye’de dolarizasyon ile para arzı, faiz oranı, döviz kuru ve cari işlemler açığı arasındaki ilişkileri incelemiş; dolarizasyondaki değişimlerin döviz kuru ve para politikasıyla karşılıklı bir etkileşim içinde olduğunu göstermiştir. Çalışmada enflasyon ve reel döviz kuru oynaklığının dolarizasyon üzerinde belirleyici olduğu ve makroekonomik istikrar dönemlerinde dahi geçmiş yüksek enflasyon ve kur istikrarsızlığı deneyimlerinin dolarizasyon eğilimini kalıcılaştırabildiği vurgulanmıştır.

Tunay ve Tunay (2022: 1) çalışmalarında Türkiye’de banka temelli dolarizasyonun banka performansı üzerindeki etkisi, farklı mülkiyet yapılarına sahip 27 bankanın 2002–2020 dönemi verileri kullanılarak dinamik panel veri yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, dolarizasyonun banka performansı üzerinde sınırlı olmakla birlikte pozitif bir etkisinin bulunduğunu, ancak operasyonel kârlılık üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Yabancı para yükümlülüklerinin ortalama kaynak maliyetini düşürerek özkaynak kârlılığını artırabildiği, ancak bu etkinin döviz kurunun istikrarlı seyrettiği dönemlerle sınırlı olduğu belirlenmiştir. Kur şoklarının yaşandığı dönemlerde ise dolarizasyonun bankaların kaynak maliyetlerini artırarak kârlılık üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaya ve Kara (2022: 839) çalışmalarında Türkiye’de dolarizasyonun makroekonomik belirleyicileri ile dolarizasyon ve ekonomik büyüme arasındaki uzun dönemli ilişki, 2014:01–2022:03 dönemi verileri kullanılarak incelenmiştir. ARDL ve Johansen eşbütünleşme analizlerinden elde edilen bulgular; cari açık, CDS risk primi, döviz kuru, mevduat faiz oranı ve ithalattaki artışların dolarizasyonu artırdığını göstermektedir. Buna karşılık TÜFE’deki artışların dolarizasyonu azalttığı yönünde teorik beklentilerden farklı bir sonuca ulaşılmıştır. Ayrıca incelenen dönemde dolarizasyon ile ekonomik büyüme arasında pozitif yönlü uzun dönemli bir ilişki tespit edilmiştir.

Işık ve Yüncü (2022: 58) çalışmalarında Türkiye’de dolarizasyonun banka performansı üzerindeki etkileri, 2012–2017 dönemi için statik ve dinamik panel veri yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Bulgular, mevduat dolarizasyonunun bankaların aktif ve özkaynak kârlılığı üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Kredi dolarizasyonunun da kullanılan modele bağlı olarak aktif ve özkaynak kârlılığı üzerinde negatif etkiler gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları, bankaların bilanço yapısındaki dolarizasyon düzeyinin yükselmesinin kârlılık performansı üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceğine işaret etmektedir.

Akkaya (2023: 614) çalışmasında Türkiye’de dolarizasyon sürecini etkileyen makroekonomik ve finansal değişkenler VAR modeli kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, bankacılık sektörü kredi hacmi, dış ticaret dengesi, imalat sanayi kapasite kullanım oranı, reel döviz kuru, ABD doları/TL kuru, ABD 10 yıllık tahvil faizi ve yurt dışı yerleşiklerin hisse senedi portföylerinin gecikmeli değerlerinin dolarizasyon üzerinde anlamlı etkiler taşıdığını göstermektedir.

Kartal (2024: 101) çalışmasında Türkiye’de bankacılık sektörünün yabancı para pozisyonu ve kur riskinin yönetimine yönelik düzenlemeler ele alınarak, Ocak 2020–Eylül 2023 döneminde sektörün ve farklı sermaye yapılarına sahip banka gruplarının yabancı para pozisyonları incelenmiştir. Bulgular, bankaların bilanço içindeki açık pozisyonlarını bilanço dışındaki fazla pozisyonlarla dengeleyerek yabancı para genel pozisyonlarını yasal sınırlar içerisinde tuttuklarını ve istisnai dönemler dışında genel olarak fazla pozisyon taşıdıklarını göstermektedir. Ayrıca yabancı ve kamu bankalarının bilanço içi açık ve bilanço dışı fazla pozisyonlarının yerli özel bankalara kıyasla daha düşük düzeylerde gerçekleştiği; COVID-19 salgınının ilk döneminde ise banka grupları arasında yabancı para pozisyonları bakımından belirgin bir farklılaşma yaşandığı tespit edilmiştir.

Gültepe Çorak ve Aksoy (2024: 261) çalışmalarında finansal dolarizasyonun banka kârlılığı üzerindeki etkisi, Türkiye’de faaliyet gösteren 21 mevduat bankasının 2003Q1–2020Q4 dönemi verileri kullanılarak panel veri yöntemiyle incelenmiştir. Bulgular, mevduat dolarizasyonunun aktif ve özkaynak kârlılığını pozitif, net faiz marjını ise negatif yönde etkilediğini göstermektedir. Kredi dolarizasyonunun aktif ve özkaynak kârlılığı üzerindeki etkisi negatif ve anlamlı bulunurken net faiz marjı üzerinde anlamlı bir etkisi tespit edilmemiştir. Bileşik dolarizasyon endeksinin ise aktif ve özkaynak kârlılığını azalttığı, buna karşılık net faiz marjını artırdığı belirlenmiştir.

Deniz vd. (2026: 1) çalışmalarında bankaların döviz pozisyonlarının, kur şokları sonrasında kredi arzı ve firmaların reel faaliyetleri üzerindeki etkileri banka ve firma bilançoları ile kredi mikro verileri kullanılarak incelenmiştir. Analiz sonuçları, döviz kuru riski yüksek bankaların şok sonrasında kredi hacmini daha fazla daralttığını ve kredi vadelerini kısalttığını göstermektedir. Bu etkinin yalnızca döviz kuru riski taşıyan firmalarla sınırlı kalmadığı, özellikle KOBİ’lere de yansıdığı belirlenmiştir. Yüksek döviz kuru riskine sahip bankalarla çalışan KOBİ’lerin ciro, istihdam ve yatırımlarının daha olumsuz etkilendiği; büyük firmaların ise daha düşük döviz riski taşıyan bankalara yönelerek kredi daralmasının etkisini kısmen telafi edebildiği tespit edilmiştir. Sonuçlar, banka bilançolarındaki döviz kuru riskinin kredi kanalı üzerinden reel sektöre

aktarılabildiğini; bu etkinin yalnızca doğrudan döviz kuru riski taşıyan firmalarla sınırlı kalmayıp bu riski taşımayan firmalara da yansıyabildiğini ortaya koymaktadır.

2.2. Diğer Ülke Örneklemelerine ve Karşılaştırmalı Çalışmalara İlişkin Bulgular

Türkiye'ye ilişkin bulguların daha geniş literatürdeki yerini görmek için gelişmekte olan ve dolarizasyonun yaşandığı ülkelere ilişkin çalışmalar önem taşımaktadır. Bu çalışmaların ortak noktası, dolarizasyonun yalnızca yerel enflasyon ve kur dinamikleriyle değil, bankacılık sisteminin fonlama yapısı, dış finansman koşulları ve uluslararası para politikası şoklarıyla da şekillenebildiğini göstermeleridir. Honohan ve Shi (2001), gelişmekte olan ekonomilerde mevduat dolarizasyonundaki artışın fonların bir bölümünün bankacılık sistemi üzerinden yurt dışına yönelmesiyle ve yurt içi kredi arzının sınırlanmasıyla ilişkili olduğunu; dolarizasyon yükseldikçe kur değişimlerinin tüketici fiyatlarına geçişkenliğinin de belirginleştiğini ortaya koymuştur.

De Nicoló vd. (2003: 1) çalışmalarında, bankacılık sistemindeki dolarizasyonun belirleyicilerini ve finansal sistem üzerindeki etkilerini incelemiştir. Analiz sonuçları, makroekonomik politikalara duyulan güven ile kurumsal kalitenin dolarizasyon düzeyinde belirleyici olduğunu, dolarizasyonun finansal derinleşmeye katkısının daha çok yüksek enflasyon dönemlerinde ortaya çıktığını ve dolarizasyonun yaşandığı ekonomilerde finansal istikrarsızlık riskinin artabildiğini göstermektedir.

Basso vd. (2011: 794) çalışmalarında finansal dolarizasyonun belirleyicileri, faiz oranı farklılıkları ve yabancı bankaların finansal sistemdeki artan ağırlığı dikkate alınarak incelenmiştir. Geçiş ekonomilerine ilişkin verilerden elde edilen bulgular, yabancı fonlara erişimin artmasının kredi dolarizasyonunu yükseltirken mevduat dolarizasyonunu azalttığını göstermektedir. Ayrıca yerli ve yabancı para cinsinden faiz oranları arasındaki farklılıkların hem kredi hem de mevduat dolarizasyonunun belirlenmesinde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Haas vd. (2015) çalışmalarında finansal dolarizasyon ile para politikası arasındaki ilişki, Rusya'nın farklı bölgelerine ait veriler kullanılarak incelenmiştir. Analiz sonuçları, parasal istikrarın finansal dolarizasyonun temel belirleyicilerinden biri olduğunu ve daha istikrarlı parasal koşulların dolarizasyonun azalmasına katkı sağladığını göstermektedir. Ayrıca bankacılık sistemindeki bütünleşmenin, hanehalkı ve firmaların parasal koşullardaki değişimlere bağlı olarak varlık ve yükümlülüklerinin para birimi kompozisyonunu ayarlamalarında önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir.

Ajide vd. (2019: 398) çalışmalarında küreselleşmenin ekonomik, sosyal ve politik boyutlarının dolarizasyon üzerindeki etkileri, 2001–2012 döneminde 25 Sahra Altı Afrika ülkesi için Tobit regresyon modeliyle incelenmiştir. Analiz sonuçları, dolarizasyon üzerinde sosyal ve politik küreselleşmenin ekonomik

küreselleşmeye kıyasla daha belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca enflasyon ve döviz kuru oynaklığı gibi makroekonomik istikrarsızlıkların dolarizasyonu artırdığı, uluslararası rezerv birikimi ile dolarizasyon arasında da pozitif bir ilişki bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Meireles ve Cortez (2023: 149) çalışmalarında Ekvador bankacılık sektörünün 2000–2021 dönemindeki gelişimi, bankacılık sektörüne ilişkin toplulaştırılmış göstergeler ve büyük bankaların finansal verileri üzerinden incelenmiştir. Bulgular, resmi dolarizasyon altında faaliyet gösteren bankacılık sisteminde geçmişten gelen finansal kırılganlıkların devam ettiğini ve bunlara yeni istikrarsızlık unsurlarının eklendiğini göstermektedir. Çalışmada ayrıca dolarizasyonun bankacılık sisteminin finansman yapısı ve reel ekonominin finansmanına katkısı açısından çeşitli kısıtlar oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kappes ve Arauz (2025) çalışmalarında dolarizasyon, farklı ülke deneyimleri üzerinden yerel ve küresel boyutlarıyla ele alınmakta ve son dönemde yeniden önem kazanan bir politika seçeneği olarak değerlendirilmektedir. Ekvador, El Salvador, Panama, Arjantin, Nijerya, Gana, Vietnam, Karadağ ve Kosova örnekleri incelenmiştir. Ülke örneklerinden hareketle yazarlar, dolarizasyonun fiyat ve finansal istikrarı güçlendirme potansiyeline karşın, ekonomik büyüme ve istikrarın birlikte sağlanacağı yönündeki beklentilerin uygulamada her zaman karşılık bulmadığını ortaya koymaktadır.

Giraldo vd. (2025: 1) çalışmalarında ABD para politikası şoklarının banka kredilerine aktarımı, 2000–2020 döneminde 12 Latin Amerika ülkesinde faaliyet gösteren 118 bankanın verileri kullanılarak incelenmiştir. Analiz sonuçları, ABD bankalarıyla doğrudan bağlantının sınırlı olduğu ülkelerde dahi uluslararası banka kredi kanalının işlediğini, ancak bu aktarımın yönü ve büyüklüğünün finansal dolarizasyon düzeyine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. ABD’deki parasal sıkılaşma ortalama olarak kredi hacmindeki artışla ilişkili bulunurken, dolarizasyonun daha yüksek olduğu ekonomilerde kredi büyümesinin yavaşladığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, finansal dolarizasyonun dışsal para politikası şoklarına karşı bankacılık sisteminin duyarlılığını artırabildiğini ortaya koymaktadır.

Ortaya konulmaya çalışılan literatür birlikte değerlendirildiğinde iki ana sonuç öne çıkmaktadır. Birincisi, dolarizasyonun yönü ve şiddeti kur, faiz, enflasyon, dış finansman ve güven koşullarının ortak etkisi altında şekillenmekte; dolayısıyla tek bir makroekonomik göstergeyle açıklanmasını güçleştirmektedir. İkincisi, banka bilançosunun mevduat, kredi, aktif ve pasif tarafları aynı şoklara aynı hızda ve aynı ölçüde tepki vermeyebilmektedir. Türkiye çalışmalarının önemli bir bölümü banka kârlılığına, döviz pozisyonuna veya toplulaştırılmış dolarizasyon göstergelerine odaklanırken, kur ve TL mevduat faizinin bilançonun dört ayrı

bileşeniyle uzun dönemli ve rejim değişimlerini dikkate alan ilişkisi daha sınırlı incelenmiştir. Bu çalışma bu doğrultuda, 2002:12-2026:07 dönemini kapsayan aylık veri setiyle ARDL-ECM çerçevesini rejim kontrolleriyle birleştirerek literatürdeki söz konusu boşluğa katkı sunmayı amaçlamaktadır.

3. VERİ SETİ

3.1. Veri Kaynakları ve Örneklem

Çalışmada kullanılan veri seti, Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK)'nın İnteraktif Aylık Bülteni ile Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın (TCMB) Elektronik Veri Dağıtım Sistemi'nden (EVDS) derlenen aylık gözlemlerden oluşmaktadır (BDDK, 2026; TCMB, 2026). Örneklem dönemi 2002:12-2026:07 aralığını kapsamaktadır. Bu uzun örneklem dönemi, Türkiye ekonomisinin 2001 krizi sonrası dezenflasyon sürecinden küresel finansal krize, döviz kuru rejimi değişimlerine ve son dönem yüksek enflasyon sürecine uzanan farklı makrofinansal koşulları içermesi bakımından tercih edilmiştir.

3.2. Değişkenlerin Tanımı ve Ölçümü

Banka bilanço kalemleri kaynak veri setinde milyon ABD doları cinsinden raporlanmaktadır. Bu büyüklükler doğrudan kullanıldığında, döviz kurundaki bir değişim yalnızca davranışsal bir dolarizasyon eğilimini değil, aynı zamanda yabancı para varlık ve yükümlülüklerin TL karşılığındaki mekanik bir değerlendirme etkisini de yansıtabilmektedir. Bu ölçüm sorununu sınırlandırmak amacıyla çalışmada, yabancı para (YP) kalemlerinin ilgili bilanço büyüklüğü içindeki payı esas alınmış ve dört dolarizasyon göstergesi tanımlanmıştır: (i) YP mevduat payı, toplam mevduatlar içinde yabancı para mevduatların oranını; (ii) YP kredi payı, toplam krediler içinde yabancı para ve dövize endeksli kredilerin oranını; (iii) YP aktif payı, toplam aktifler içinde yabancı para varlıkların oranını; ve (iv) YP pasif payı, toplam pasifler içinde yabancı para yükümlülüklerin oranını ifade etmektedir. Bu dört gösterge, bilançonun kaynak (mevduat, pasif) ve kullanım (kredi, aktif) taraflarındaki dolarizasyonun birlikte değerlendirilmesine imkân vermektedir.

Açıklayıcı değişkenler; TL mevduat faizi, bankalarca 1 aya kadar vadeli Türk lirası mevduatlara uygulanan faiz oranı olarak tanımlanmış olup yerli para cinsinden tasarrufun görece getirisini temsil etmektedir. Döviz kuru değişimi ise $100 \times \Delta \ln(\text{USD/TL})$ biçiminde hesaplanmış olup pozitif değerler Türk lirasının ABD doları karşısındaki aylık değer kaybını, negatif değerler ise değer kazancını ifade etmektedir. Değişkenlere ilişkin durağanlık özellikleri izleyen yöntem ve bulgular bölümlerinde ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır.

4. YÖNTEM

4.1. Durağanlık ve Yapısal Kırılma Sınamaları

Analizin ilk aşamasında, uzun dönem ilişkisinin hangi ekonometrik çerçevede sınanabileceğini belirlemek amacıyla serilerin zaman serisi özellikleri incelenmiştir. ADF ve Phillips-Perron testleri birim kök sıfır hipotezini, KPSS testi ise durağanlık sıfır hipotezini sınamak üzere birlikte kullanılmış; böylece durağanlık kararı tek bir test sonucuna dayandırılmamıştır. Ele alınan dönemdeki rejim değişimlerinin standart testlerin gücünü etkileyebileceği dikkate alınarak kırılmalı birim kök sınamalarına da başvurulmuştur.

4.2. ARDL Sınır Testi ve Hata Düzeltme Modeli

Durağanlık incelemesinin ortaya koyduğu karma $I(0)/I(1)$ yapı, analiz stratejisinin ikinci aşamasını doğrudan belirlemiştir. Hiçbir serinin $I(2)$ olmaması nedeniyle, değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine izin veren ARDL sınır testi yaklaşımı uzun dönem düzey ilişkisinin sınanması için uygun bir çerçeve sunmaktadır. Her bir dolarizasyon göstergesi için gecikme yapıları bilgi kriterleri ve artık tanı testleri birlikte değerlendirilerek seçilmiş; hesaplanan F istatistiğinin %5 düzeyindeki $I(1)$ üst sınırını aşması uzun dönem ilişkisinin varlığı lehine değerlendirilmiştir. Düzey ilişkisinin bulunduğu modellerde ECM tahmin edilerek kısa dönemli sapmaların uzun dönem dengesine hangi hızda döndüğü hata düzeltme katsayısı üzerinden ölçülmüştür.

4.3. Model Tanı ve Sağlamlık Sınamaları

Uzun dönem ilişkisinin tespit edilmesi tek başına yeterli görülmemiş, üçüncü aşamada tahminlerin farklı makrofinansal dönemlere ve artık özelliklerine karşı dayanıklılığı da test edilmiştir. Katsayı çıkarımları 12 aylık gecikmeye dayalı Newey-West HAC standart hatalarıyla desteklenmiş; Breusch-Godfrey LM, Ramsey RESET ve CUSUM testleri sırasıyla artık otokorelasyonu, fonksiyonel biçimi ve parametre istikrarını değerlendirmek için kullanılmıştır. Ayrıca 2008:10, 2018:08, 2021:12 ve 2023:06 tarihleri, Türkiye ekonomisindeki belirgin politika ve piyasa kırılmalarını temsil eden önceden belirlenmiş rejim noktaları olarak modellere eklenmiştir. Böylece analiz, yalnızca kur ve faiz katsayılarının anlamlılığına değil, dolarizasyon ilişkisinin farklı rejimleri dikkate alan bir modelde daha iyi açıklanıp açıklanmadığına da dikkate almaktadır.

5. BULGULAR

5.1. Betimsel İstatistikler

Ekonometrik sınamalara geçmeden önce, analizde kullanılan altı değişkenin temel dağılım özellikleri incelenmiştir. Tablo 1, dört dolarizasyon göstergesi, TL mevduat faizi ve döviz kuru değişimi için gözlem sayısı, ortalama, standart sapma, minimum-maksimum değerler, çarpıklık, basıklık ve Jarque-Bera normallik

testi sonuçlarını sunmaktadır; bu tablo, izleyen birim kök ve ARDL sınamalarından önce serilerin ölçek ve dağılım özellikleri hakkında bir ön bilgi vermek amacıyla verilmiştir.

Tablo 1. Betimsel istatistikler

Değişken	N	Ort.	Std.Sapma	Min	Maks	Çarpıklık	Basıklık	Jarque-Bera	Jarque-Bera p
YP Mevduat Payı	283	0.4192	0.0769	0.2955	0.6458	0.6562	2.5659	22.5292	<0.0001
YP Kredi Payı	283	0.3305	0.0675	0.2356	0.6006	1.2895	5.3712	144.7270	<0.0001
YP Aktif Payı	283	0.3633	0.0610	0.2531	0.5186	0.0914	2.2612	6.8312	0.0329
YP Pasif Payı	283	0.4208	0.0655	0.3059	0.5787	0.1450	2.0917	10.7206	0.0047
TL Mevduat Faizi	283	18.7913	13.6742	5.2900	58.0500	1.5183	4.1729	124.9585	<0.0001
Döviz Kuru Değişimi	282	1.2019	3.9841	- 8.7829	25.1210	1.6928	10.0524	719.0798	<0.0001

Tablo 1'deki sonuçlar, dört dolarizasyon göstergesinin de pozitif çarpıklığa ve istatistiksel olarak anlamlı Jarque-Bera istatistiklerine (dolayısıyla normal dağılımdan sapmaya) sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, katsayı çıkarımlarında dağılım varsayımına duyarlı olmayan Newey-West HAC standart hatalarının kullanılmasını destekler niteliktedir. Döviz kuru değişiminin diğer serilere kıyasla belirgin biçimde daha yüksek basıklık ve çarpıklık göstermesi (basıklık $\approx$ 10,05), 2018, 2021 ve 2023 dönemlerindeki kur şoklarının seri üzerindeki etkisini yansıtmaktadır.

5.2. Birim Kök ve Yapısal Kırılma Sınamaları

Tablo 2, altı değişkenin düzey ve birinci fark hallerinde ADF, Phillips-Perron (PP) ve KPSS testlerinden elde edilen istatistikleri bir arada sunmaktadır; bu tablo, ARDL sınır testi yaklaşımının önkoşulu olan bütünleşme derecelerinin belirlenmesi amacıyla verilmiştir.

Tablo 2. Birim kök testi sonuçları

Değişken	Düzy	ADF	ADF Gecikme	ADF %5 KD	PP	PP %5 KD	KPSS	KPSS %5 KD
YP Mevduat Payı	Düzy	-2.2794	1	-2.8600	-2.2391	-2.8600	0.5690	0.4630
YP Mevduat Payı	Birinci Fark	-13.2002	0	-2.8600	-13.1892	-2.8600	0.2384	0.4630
YP Kredi Payı	Düzy	-4.1862	0	-2.8600	-3.9227	-2.8600	0.3895	0.4630
YP Kredi Payı	Birinci Fark	-14.0217	0	-2.8600	-14.5002	-2.8600	0.5365	0.4630
YP Aktif Payı	Düzy	-1.6499	0	-2.8600	-1.7261	-2.8600	1.2195	0.4630
YP Aktif Payı	Birinci Fark	-15.1930	0	-2.8600	-15.1212	-2.8600	0.2187	0.4630
YP Pasif Payı	Düzy	-1.6317	0	-2.8600	-1.7814	-2.8600	1.0869	0.4630
YP Pasif Payı	Birinci Fark	-14.2744	0	-2.8600	-14.1936	-2.8600	0.2316	0.4630
TL Mevduat Faizi	Düzy	-2.1717	6	-2.8600	-1.7455	-2.8600	0.6034	0.4630
TL Mevduat Faizi	Birinci Fark	-4.7418	7	-2.8600	-12.3026	-2.8600	0.4711	0.4630
Döviz Kuru Değişimi	Düzy	-7.1037	4	-2.8600	-10.8007	-2.8600	1.0927	0.4630
Döviz Kuru Değişimi	Birinci Fark	-11.2629	6	-2.8600	-32.2439	-2.8600	0.0312	0.4630

Sonuçlar karma bir bütünleşme yapısına işaret etmektedir. YP Kredi Payı düzeyde durağan görünürken (ADF=-4,19, PP=-3,92; her ikisi de %5 kritik değeri aşmakta, KPSS de düzey durağanlığını reddetmemektedir), YP Mevduat, YP Aktif ve YP Pasif payları ile TL mevduat faizi düzeyde birim kök taşımakta (ADF ve PP %5 kritik değerini aşmamakta, KPSS düzey durağanlığını reddetmekte) ve birinci farkları alındığında durağanlaşmaktadır; yani bu dört seri I(1) özelliği göstermektedir. TL mevduat faizinin birinci farkında KPSS istatistiği (0,471) %5 kritik değerine (0,463) çok yakın çıkması, bu serinin bütünleşme derecesine ilişkin

sonucun sınırdaki olduğuna işaret etmekte; buna karşın ADF ve PP testleri farkta durağanlığı güçlü biçimde desteklemektedir. Döviz kuru değişimi, zaten bir fark serisi olduğundan düzeyde güçlü biçimde durağandır (ADF=-7,10). Hiçbir değişken I(2) düzeyinde bütünleşik değildir; bu karma I(0)/I(1) yapı ARDL sınır testi yaklaşımının tercih edilmesini desteklemektedir.

Standart birim kök testleri, olası yapısal kırılmaları hesaba katmadığından, tek bir içsel kırılmaya izin veren Zivot-Andrews (1992) sınaması ile bu sonuçlar sağlamlık açısından ayrıca kontrol edilmiştir. Tablo 3 bu sınamanın sonuçlarını sunmaktadır; amacı, standart testlerin yapısal kırılmaları göz ardı etmesinden kaynaklanabilecek yanlışlığı sınamaktır.

Tablo 3. Zivot-Andrews yapısal kırılmalı birim kök testi sonuçları

Değişken	ZA istatistiği	Kırılma Tarihi	%5 Kritik Değer
YP Mevduat Payı	-3.7733	2022-08	-4.9300
YP Kredi Payı	-4.5652	2014-11	-4.9300
YP Aktif Payı	-3.2090	2014-12	-4.9300
YP Pasif Payı	-3.7502	2022-08	-4.9300
TL Mevduat Faizi	-4.7856	2022-11	-4.9300
Döviz Kuru Değişimi	-5.9162	2022-10	-4.9300

Döviz kuru değişimi dışındaki beş değişkende ZA istatistiği %5 kritik değerinin (-4,93) altına inmemekte, yani kırılmaya izin verilse dahi birim kök reddedilememektedir; bu sonuç standart ADF/PP/KPSS bulgularıyla büyük ölçüde tutarlıdır. Yalnızca YP Kredi Payı için standart testler (düzeyde durağan) ile ZA sınaması (birim kök reddedilemiyor) arasında bir farklılık gözlenmekte; bu durum, serinin 2014 sonrasında geçirdiği yapısal değişimin durağanlık çıkarımını etkileyebileceğine işaret etmektedir ve bulguların yorumlanmasında temkinli olunması gerektiğini göstermektedir. Kırılma tarihlerinin çoğunlukla 2014-2015 ve 2022 dönemlerinde yoğunlaşması, örneklem döneminde makrofinansal rejim değişimlerinin varlığını bağımsız bir sınamayla da doğrulamaktadır.

5.3. ARDL Sınır Testi, Uzun ve Kısa Dönem Katsayıları

Her bir dolarizasyon göstergesi için ARDL(p,q1,q2) gecikme yapısı, p=1..12, q1=1..4 ve q2=1..4 aralığında taranarak Bayes Bilgi Kriteri (BIC) en düşük olan ve Breusch-Godfrey LM(12) artık otokorelasyon sınamasını %5 düzeyinde geçen model seçilmiştir; bu koşulu sağlayan bir model bulunamadığında (YP Kredi Payı ve YP Aktif Payı modellerinde olduğu gibi), tarama daha geniş bir gecikme aralığına (p=1..15, q1,q2=1..7) genişletilerek yeniden yapılmıştır. Tablo 4, seçilen dört modelin sınır testi F istatistiklerini ve hata düzeltme

(ECT) katsayılarını sunmaktadır; bu tablo, her bir bilanço kaleminde uzun dönem düzey ilişkisinin varlığını ve kısa dönem sapmaların uzun dönem dengesine yakınsama hızını göstermek amacıyla verilmiştir. Kritik değerler Pesaran, Shin ve Smith (2001) Tablo CI(iii)'ten ($k=2$, sınırsız sabit terim, trendsiz, asimptotik) alınmıştır.

Tablo 4. ARDL sınır testi ve hata düzeltme katsayıları

Bağımlı Değişken	Seçilen Model	Bounds F	%5 I(0)	%5 I(1)	ECT(-1)	ECT p
YP Mevduat Payı	ARDL(1,1,1)	11.9110	3.7900	4.8500	-0.0235	0.0743
YP Kredi Payı	ARDL(5,4,2)	5.1368	3.7900	4.8500	-0.0399	<0.0001
YP Aktif Payı	ARDL(3,1,1)	15.5343	3.7900	4.8500	-0.0297	0.0142
YP Pasif Payı	ARDL(1,1,1)	15.1670	3.7900	4.8500	-0.0238	0.0373

Dört modelin F istatistiği de %5 anlamlılık düzeyindeki I(1) üst sınırını (4,85) aşmakta; bu nedenle dört bilanço göstergesinde de uzun dönem düzey ilişkisi lehine kanıt bulunmaktadır. Hata düzeltme katsayılarının tamamı beklendiği gibi negatiftir; aylık düzeltme hızları YP Mevduat Payında %2,35, YP Kredi Payında %3,99, YP Aktif Payında %2,97 ve YP Pasif Payında %2,38 olarak hesaplanmıştır. Ancak katsayıların istatistiksel anlamlılığı değişkenlik göstermektedir: YP Kredi, Aktif ve Pasif paylarında ECT katsayısı %5 düzeyinde anlamlı iken, YP Mevduat Payında anlamlılık yalnızca %10 düzeyinde sağlanmaktadır ($p=0,074$). Bu durum, mevduat tarafındaki uyum sürecinin, kredi ve aktif-pasif tarafına kıyasla istatistiksel olarak daha az kesin biçimde tahmin edildiğine işaret etmektedir.

Sınır testi yalnızca uzun dönem ilişkisinin varlığını gösterdiğinden, çalışmanın temel sorusu olan kur ve faiz hareketlerinin dolarizasyon üzerindeki etkisinin yönü ve büyüklüğü ayrıca uzun dönem katsayıları üzerinden değerlendirilmelidir. Tablo 5, ECT parametrelerinden delta yöntemiyle türetilen ve Newey-West HAC standart hatalarıyla birlikte hesaplanan uzun dönem katsayılarını sunmaktadır; bu tablo, kur ve faiz değişkenlerinin dolarizasyon göstergeleri üzerindeki uzun dönemli etkisinin büyüklüğünü ve anlamlılığını göstermek amacıyla verilmiştir.

Tablo 5. Uzun dönem katsayıları

Bağımlı Değişken	Kur (LR)	SE	t	p	Faiz (LR)	SE	t	p
YP Mevduat Payı	0.0476	0.0255	1.8672	0.0629	-0.0035	0.0034	-1.0242	0.3066
YP Kredi Payı	0.0164	0.0084	1.9582	0.0513	0.0019	0.0006	2.9833	0.0031
YP Aktif Payı	0.0495	0.0229	2.1617	0.0315	-0.0008	0.0013	-0.5777	0.5639
YP Pasif Payı	0.0455	0.0195	2.3279	0.0206	-0.0026	0.0025	-1.0459	0.2965

Döviz kuru değişiminin uzun dönem katsayısı dört modelde de pozitifdir: YP Aktif Payında (0,0495; $p=0,032$) ve YP Pasif Payında (0,0455; $p=0,021$) %5 düzeyinde, YP Mevduat Payında (0,0476; $p=0,063$) ve YP Kredi Payında (0,0164; $p=0,051$) ise %10 düzeyinde anlamlıdır. Bu sonuç, TL'nin ABD doları karşısında değer kaybettiği dönemlerde bilançonun hem kaynak (mevduat, pasif) hem de kullanım (kredi, aktif) tarafında yabancı para ağırlığının uzun dönemde arttığına işaret etmektedir. TL mevduat faizinin uzun dönem katsayısı ise yalnızca YP Kredi Payında istatistiksel olarak anlamlıdır (0,0019; $p=0,003$) ve beklenmedik biçimde pozitifdir; diğer üç modelde faiz katsayısı anlamsız çıkmaktadır. Bu bulgu, TL mevduat faizinin dolarizasyon üzerindeki uzun dönemli etkisinin, döviz kuru kanalına kıyasla daha zayıf ve bilanço kalemine özgü olduğunu düşündürmektedir; kredi tarafındaki pozitif ilişki, yüksek TL faiz dönemlerinin genellikle sıkı para politikası ve yüksek risk algısı dönemleriyle çakışması nedeniyle faizin dolarizasyonu azaltıcı değil, dolaylı olarak yükseltici bir gösterge işlevi görebileceğine işaret etmekte; bu nedenle katsayı nedensel olarak yorumlanmamalıdır. Kurun dört bilanço kaleminde de tutarlı ve pozitif bir uzun dönem etkisi taşıması, Sarı (2007)'nin döviz kuru ile dolarizasyon arasında karşılıklı bir etkileşim bulgusuyla ve Kaya ve Kara (2022)'nin döviz kurundaki artışların dolarizasyonu artırdığı yönündeki sonucuyla örtüşmektedir. TL mevduat faizinin yalnızca kredi payında ve beklenmedik biçimde pozitif çıkması da Kaya ve Kara (2022)'nin mevduat faizindeki artışların dolarizasyonu azaltmak yerine artırdığı yönündeki teorik beklenti dışı bulgusuyla paralellik taşımaktadır. Buna karşılık, Basso vd. (2011)'nin yerli ve yabancı para faiz farklarının hem kredi hem de mevduat dolarizasyonunun belirlenmesinde etkili olduğu yönündeki bulgusu, bu çalışmada faizin üç bilanço kaleminde (mevduat, aktif, pasif) anlamsız çıkmasıyla örtüşmemekte; bu farklılık, Basso vd. (2011)'nin geçiş ekonomileri örneklerinin ve yabancı banka ağırlığının Türkiye'den farklı bir finansal yapıyı yansıtır olabileceğine işaret etmektedir.

Tablo 6, aynı dört modelin kısa dönem dinamiklerini yansıtan fark (Δ) terimlerinin HAC tabanlı katsayı tahminlerini sunmaktadır; bu tablo, kur ve faiz değişimlerinin dolarizasyon göstergeleri üzerindeki eş dönemli ve gecikmeli kısa dönem etkilerini göstermek amacıyla verilmiştir.

Tablo 6. Kısa dönem (ECM) katsayıları

Bağımlı Değişken	Terim	Katsayı	SE (HAC)	t	p
YP Mevduat Payı	Δx_1	0.0014	0.0003	4.7519	<0.0001
YP Mevduat Payı	Δx_2	0.0002	0.0005	0.4487	0.6540
YP Kredi Payı	$\Delta y(-1)$	-0.2733	0.1033	-2.6464	0.0086
YP Kredi Payı	$\Delta y(-2)$	0.2751	0.0582	4.7288	<0.0001
YP Kredi Payı	$\Delta y(-3)$	0.1222	0.0970	1.2592	0.2091
YP Kredi Payı	$\Delta y(-4)$	0.1297	0.0591	2.1952	0.0290
YP Kredi Payı	Δx_1	0.0023	0.0003	8.0526	<0.0001
YP Kredi Payı	$\Delta x_1(-1)$	0.0008	0.0004	2.0662	0.0398
YP Kredi Payı	$\Delta x_1(-2)$	0.0006	0.0002	2.5052	0.0128
YP Kredi Payı	$\Delta x_1(-3)$	0.0002	0.0001	1.3984	0.1632
YP Kredi Payı	Δx_2	-0.0006	0.0005	-1.2003	0.2311
YP Kredi Payı	$\Delta x_2(-1)$	0.0007	0.0002	3.0374	0.0026
YP Aktif Payı	$\Delta y(-1)$	-0.2234	0.0868	-2.5743	0.0106
YP Aktif Payı	$\Delta y(-2)$	0.1940	0.0710	2.7329	0.0067
YP Aktif Payı	Δx_1	0.0021	0.0002	8.9884	<0.0001
YP Aktif Payı	Δx_2	-0.0006	0.0003	-1.6349	0.1032
YP Pasif Payı	Δx_1	0.0014	0.0002	7.4574	<0.0001
YP Pasif Payı	Δx_2	-0.0000	0.0004	-0.0813	0.9353

Kısa dönemde döviz kuru değişiminin eş dönemli katsayısı (Δx_1) dört modelde de pozitif ve %1 düzeyinde anlamlıdır; bu, kur hareketlerinin dolarizasyon göstergeleri üzerinde anlık bir etki yarattığını göstermektedir. TL

mevduat faizinin eş dönemli etkisi (Δx_2) ise yalnızca YP Kredi Payı modelinde bir gecikmeyle (%1 düzeyinde) anlamlı çıkarken diğer değişkenlerde anlamsız kalmaktadır. Bu görünüm, Tablo 5'teki uzun dönem bulgularıyla birlikte değerlendirildiğinde, kur kanalının dolarizasyon üzerinde hem kısa hem uzun dönemde tutarlı biçimde etkili olduğunu, faiz kanalının etkisinin ise daha sınırlı ve bilanço kalemine özgü olduğunu ortaya koymaktadır. Kurun anlık ve güçlü kısa dönem etkisi, Honohan ve Shi (2001)'in dolarizasyon düzeyi yükseldikçe kur değişimlerinin iç fiyatlara ve dolayısıyla ekonomik birimlerin para birimi tercihlerine geçişkenliğinin belirginleştiği bulgusuyla tutarlıdır.

5.4. Yapısal Kırılmalar ve Sağlamlık Analizi

Tablo 7, Tablo 4'teki temel ARDL modelleri ile 2008:10, 2018:08, 2021:12 ve 2023:06 tarihli kalıcı rejim kukla değişkenlerinin eklendiği kırılmalı modelleri BIC değişimi ve tanı testleri üzerinden karşılaştırmaktadır; bu tablo, örneklem döneminde yaşanan makrofinansal rejim değişimlerinin modelin açıklama gücünde göz ardı edilemeyecek bir fark yaratıp yaratmadığını sınamak amacıyla verilmiştir.

Tablo 7. Yapısal kırılma sağlamlık analizi

Değişken	ARDL	Temel BIC	Kırılmalı BIC	ΔBIC	BG-LM(12) p	RESET p	CUSUM p	Bounds F (kırılmalı)
YP Mevduat Payı	(1,1,1)	-2506.9021	-2521.3018	-14.3997	0.8211	0.0074	0.9952	13.3178
YP Kredi Payı	(5,4,2)	-2676.4439	-2702.2662	-25.8223	0.2459	<0.0001	0.5429	14.8969
YP Aktif Payı	(3,1,1)	-2654.9467	-2666.5722	-11.6254	0.0248	0.0147	1.0000	23.8530
YP Pasif Payı	(1,1,1)	-2623.6453	-2633.2588	-9.6135	0.1307	0.0492	1.0000	17.4055

Rejim kukla değişkenlerinin eklenmesi dört modelin tamamında BIC değerini düşürmektedir: iyileşme YP Mevduat Payında 14,40, YP Kredi Payında 25,82, YP Aktif Payında 11,63 ve YP Pasif Payında 9,61 puandır. Bu bulgu, örneklem döneminin tek ve değişmeyen bir ekonomik rejim altında modellenmesinin bilgi kaybına yol açtığını doğrulamaktadır ve temel modellerin niteliksel sonucuyla (rejim değişimlerinin göz ardı edilemeyeceği) tutarlıdır. Bununla birlikte kırılmalı modellerin tanı sonuçları temel modellere kıyasla daha zayıftır: RESET testi YP Mevduat, YP Kredi ve YP Aktif Payı modellerinde %5 düzeyinde reddedilmekte, yalnızca YP Pasif Payı modelinde sınırda ($p=0,049$) kabul edilmektedir. Bu durum, dört kalıcı basamak kuklasından oluşan doğrusal özelliğin, rejim değişimlerinin bilanço dolarizasyonu üzerindeki etkisini tam olarak

yakalamakta yetersiz kalabileceğine işaret etmekte; BIC iyileşmesi rejimlerin varlığını doğrularken, kullanılan kukla değişken yapısının fonksiyonel biçim açısından geliştirilmeye açık olduğunu göstermektedir. Rejim değişimlerinin model performansı üzerindeki bu belirgin etkisi, Akkaya (2023)'ün Türkiye'de dolarizasyon sürecinin tek bir istikrarlı ilişkiden çok, çok sayıda makroekonomik ve finansal değişkenin bir arada şekillendirdiği dönemsel bir olgu olduğu yönündeki VAR bulgularıyla ve Kartal (2024)'ün COVID-19 döneminde banka grupları arasında yabancı para pozisyonlarında belirgin bir farklılaşma tespit eden bulgusuyla uyumludur.

5.5. Model Tanılarına İlişkin Genel Değerlendirme

Temel modellerin tanı sonuçları bilanço kalemleri arasında farklılaşmaktadır. YP Mevduat Payı [ARDL(1,1,1)] ve YP Pasif Payı [ARDL(1,1,1)] modelleri Breusch-Godfrey LM(12), Ramsey RESET ve CUSUM sınamalarının tamamını %5 düzeyinde geçmektedir. YP Aktif Payı modeli [ARDL(3,1,1)], ilk taramada artık otokorelasyonu sorunu nedeniyle genişletilmiş gecikme aralığında yeniden belirlenmiş; nihai modelde BG-LM(12) ($p=0,090$), RESET ($p=0,139$) ve CUSUM ($p=0,994$) sınamalarının tamamı sağlanmaktadır. YP Kredi Payı modeli ise en zorlu vakadır: geniş bir gecikme aralığı ($p=1..15$, $q1, q2=1..7$) tarandığı hâlde BG-LM(12), RESET ve CUSUM sınamalarının üçünü birlikte %5 düzeyinde geçen bir spesifikasyon bulunamamış; seçilen ARDL(5,4,2) modeli BG-LM(12) ($p=0,070$) ve CUSUM ($p=0,052$) sınamalarını sınırda geçmekte, ancak RESET testinde ($p=0,003$) fonksiyonel biçim sorununa işaret etmektedir. Bu durum dürüstçe bir sınırlılık olarak kabul edilmeli; YP Kredi Payı ile kur ve faiz arasındaki ilişkinin, bu çalışmada kullanılan doğrusal ARDL çerçevesiyle tam olarak yakalanamayan doğrusal olmayan veya ek açıklayıcı değişkenler gerektiren bir dinamik taşıdığı düşünülmektedir; bu nokta çalışmanın sınırlılıklar bölümünde yeniden ele alınmaktadır.

Bütün analiz aşamaları birlikte değerlendirildiğinde ortaya çıkan ampirik tablo şudur: dört bilanço göstergesi de döviz kuru değişimiyle güçlü ve tutarlı biçimde pozitif bir uzun dönem ilişkisi taşımakta, TL mevduat faizinin etkisi ise yalnızca kredi tarafında ve beklenenin tersi yönde anlamlı çıkmaktadır. Uzun dönem dengesine uyum yavaş ve kademeli gerçekleşmekte (aylık %2,4-%4,0), rejim değişimleri modelin açıklama gücünü artırmakta ve YP Kredi Payı modeli diğerlerine kıyasla daha zayıf tanı özellikleri sergilemektedir. Dolayısıyla bulguların esas katkısı, tek tek katsayı büyüklüklerinden çok, kur kanalının bilanço dolarizasyonu üzerindeki baskın ve tutarlı rolünü ile bilanço kalemleri arasındaki model performansı farklılığını birlikte göstermesidir. YP Kredi Payı modelinin rejim kuklalarından en güçlü BIC iyileşmesini alması ve aynı zamanda en zayıf tanı özelliklerini sergilemesi, Tunay ve Tunay (2022) ile Işık ve Yüncü (2022)'nin Türk bankacılık sektöründe kredi

dolarizasyonunun kur şoku dönemlerinde farklılaşan ve doğrusal olmayan bir davranış sergilediği yönündeki bulgularıyla, ayrıca Deniz vd. (2026)'nin döviz kuru riski yüksek bankaların kredi arzını orantısız biçimde daralttığı bulgusuyla birlikte okunduğunda, kredi kanalının bilanço dolarizasyonu içinde basit doğrusal bir ARDL çerçevesiyle tam olarak yakalanamayan, bankaya ve döneme özgü bir dinamik taşıdığını düşündürmektedir.

6. SONUÇ

Çalışmanın 2002:12-2026:07 dönemini kapsayan bulguları, Türkiye'de banka bilançosu dolarizasyonunun kısa vadeli kur ve faiz hareketleriyle açıklanabilecek geçici bir portföy tercihi olmadığını göstermektedir. Dört ayrı bilanço göstergesinde uzun dönem düzey ilişkisinin bulunması ve hata düzeltme katsayılarının negatif olması, döviz kuru ile dolarizasyon arasında süreklilik taşıyan bir bağ bulunduğuna işaret etmektedir; bu bağ kur değişiminin uzun dönem katsayısının dört modelde de pozitif ve (üç modelde %5, birinde %10 düzeyinde) anlamlı çıkmasıyla desteklenmektedir. TL mevduat faizinin uzun dönem etkisi ise beklenenin aksine sınırlıdır: yalnızca YP Kredi Payında istatistiksel olarak anlamlı (ve pozitif) bulunmuş, diğer üç göstergede anlamsız kalmıştır. Aylık düzeltme hızlarının yaklaşık %2,4-%4,0 aralığında kalması, kur kanalı üzerinden işleyen bu bağın hızlı değil kademeli çalıştığını göstermektedir. Bu sonuç, dolarizasyonun geçmiş kur deneyimlerini, bilanço tercihlerindeki ataleti ve beklentileri taşıyan bir makrofinansal yapı olarak okunmasını daha anlamlı kılmaktadır. Bu bulgu, Sarı (2007)'nin döviz kuru ile dolarizasyon arasında karşılıklı bir etkileşim tespit eden çalışmasıyla ve Kaya ve Kara (2022)'nin döviz kurundaki artışların dolarizasyonu artırdığı yönündeki sonucuyla örtüşmekte; kur değişiminin dolarizasyon üzerindeki hızlı ve güçlü kısa dönem etkisi ise Honohan ve Shi (2001)'in dolarizasyon düzeyi yükseldikçe kur hareketlerinin ekonomik birimlerin para birimi tercihlerine geçişkenliğinin belirginleştiği bulgusuyla tutarlılık göstermektedir.

Bulguların ikinci güçlü mesajı, dolarizasyonun bilanço içinde tek biçimli olmadığıdır. YP mevduat, kredi, aktif ve pasif paylarının tamamında uzun dönem ilişkisi bulunmakla birlikte, özellikle kredi dolarizasyonunun rejim değişimlerine daha yüksek duyarlılık göstermesi bankacılık kanalının önemini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle Türkiye'de dolarizasyon tartışmasını yalnızca hanehalkının döviz mevduatı tercihi üzerinden yürütmek eksik kalmaktadır. Bankaların fonlama yapısı, kredi kompozisyonu ve aktif-pasif dengesi birlikte değerlendirildiğinde dolarizasyonun finansal aracılık sürecinin bütününe yayılan bir olgu olduğu daha açık biçimde görülmektedir. Kredi dolarizasyonunun rejim değişimlerine daha yüksek duyarlılık göstermesi, Tunay ve Tunay (2022) ile Işık ve Yüncü (2022)'nin Türk bankacılık sektöründe kredi dolarizasyonunun kur şoku dönemlerinde farklılaşan ve

doğrusal olmayan bir davranış sergilediği yönündeki bulgularıyla ve Deniz vd. (2026)'nin döviz kuru riski yüksek bankaların kredi arzını orantısız biçimde daralttığı bulgusuyla uyumludur; bu da kredi kanalının, dolarizasyonun diğer bilanço kalemlerinden farklı olarak bankaya ve döneme özgü dinamikler taşıdığına işaret etmektedir.

Üçüncü olarak, 2008, 2018, 2021 ve 2023 dönemlerini temsil eden rejim kontrollerinin bütün modellerde BIC değerlerini belirgin biçimde iyileştirmesi, 2002-2026 dönemini homojen bir politika rejimi olarak ele almanın uygun olmadığını göstermektedir. Bu sonuç güncel gelişmeler açısından ayrıca önemlidir. 2025'te KKM hesap açma ve yenileme işlemlerinin sonlandırılması, 2026'da TL mevduat payının tarihsel ortalamasına yakın seyretmesi ve makroihtiyati çerçevede sadeleşme adımlarının sürdürülmesi, dolarizasyonun kur ve faiz kadar politika tasarımındaki değişimlere de duyarlı olduğunu göstermektedir (TCMB, 2026a; 2026b). IMF'nin 2026 değerlendirmesinde de lira talebindeki güçlenmeye karşın yüksek dolarizasyon ve döviz likiditesi risklerinin izlenmeye devam edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (IMF, 2026).

Bu güncel görünüm, çalışmanın ampirik bulgularıyla birlikte okunduğunda önemli bir ayırım ortaya çıkarmaktadır: TL'ye yönelimin güçlenmesi, bilanço dolarizasyonunun bütünüyle ve aynı hızda çözülmesi anlamına gelmemektedir. Nitekim hata düzeltme katsayılarının gösterdiği yavaş uyum, politika değişikliklerinin bilanço kompozisyonuna yansımalarının zamana yayıldığını düşündürmektedir.

Politika açısından çalışma, tek bir aracın dolarizasyonu kalıcı biçimde çözmesini beklemenin sınırlı bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Analiz sonuçları, döviz kuru istikrarının dolarizasyon üzerinde TL mevduat faizinden daha tutarlı ve daha güçlü bir belirleyici olduğuna işaret etmektedir; TL mevduat faizinin görece cazibesi kredi tarafında bir ilişki taşımakla birlikte, mevduat, aktif ve pasif dolarizasyonu üzerinde bu çalışmada istatistiksel olarak anlamlı bir etki tespit edilememiştir. Bu nedenle parasal sıkılık ile makroihtiyati düzenlemelerin dolarizasyon üzerindeki etkisi, yalnızca faiz aracının düzeyiyle değil, kur istikrarını ve enflasyon beklentilerini birlikte destekleyen bir politika bileşiminin bankacılık bilançosunun para birimi kompozisyonunda kalıcı bir yeniden dengelenme yaratıp yaratmadığı üzerinden değerlendirilmelidir.

Çalışmanın bulguları nedensel bir etki olarak yorumlanmamalıdır. Kullanılan ARDL-ECM çerçevesi kur hareketlerinin yabancı para bilanço kalemleri üzerindeki mekanik değerlendirme etkisi ile ekonomik birimlerin davranışsal dövizleşme kararlarını tam olarak ayırtmamaktadır. Ayrıca nominal TL mevduat faizinin kullanılması, reel getiri ve beklenti kanalının doğrudan ölçülmesini sınırlandırmaktadır. Model tanıları açısından da bir sınırlılık bulunmaktadır: geniş bir gecikme aralığı tarandığı hâlde YP Kredi Payı modeli

Ramsey RESET testinde fonksiyonel biçim sorununa işaret etmekte ($p=0,003$), bu nedenle kredi dolarizasyonuna ilişkin katsayı tahminleri diğer üç bilanço göstergesine kıyasla daha temkinli yorumlanmalıdır. Buna rağmen uzun örneklem, dört ayrı bilanço göstergesi ve rejim kontrollerinin birlikte kullanılması, Türkiye'de dolarizasyonun süreklilik gösteren ve dönemsel politika koşullarına duyarlı yapısını görünür kılmaktadır.

KAYNAKLAR

Ajide, K. B., Raheem, I. D., & Asongu, S. A. (2019). Dollarization and the “unbundling” of globalization in sub-Saharan Africa. *Research in International Business and Finance*, 47, 398–409. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2018.09.002>.

Akkaya, M. (2023). Türkiye Ekonomisinin Kronik Sorunu Dolarizasyon ve Dolarizasyon Sürecine Makroekonomik- Finansal Değişkenlerin Etkileri. *TESAM Akademi Dergisi*, 10(2), 613-637. <https://doi.org/10.30626/tesamakademi.1163376>

Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK). (2026). *İnteraktif aylık bülten: Aylık bankacılık sektörü verileri*. Erişim tarihi: 15 Eylül 2026, BDDK İnteraktif Aylık Bülten.

Basso, H. S., Calvo-Gonzalez, O., & Jurgilas, M. (2011). Financial dollarization: The role of foreign-owned banks and interest rates. *Journal of Banking & Finance*, 35(4), 794–806. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2010.11.018>.

De Haas, R., Sokolov, V., & Brown, M. (2015, March 14). *Banking integration and dollarisation*. VoxEU.org, Centre for Economic Policy Research. Banking integration and dollarisation

De Nicoló, G., Honohan, P., & Ize, A. (2003). Dollarization of the banking system: Good or bad? *IMF Working Papers*, 2003(146), 1–43.

Demircioğlu, M. (2009). *Döviz kuru politikaları ve dış ticaret: 1980 sonrası Türkiye örneği* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Deniz, B., Er, T. A., & Yarba, İ. (2026). *Bank dollarization, lending behavior and real effects* (Working Paper No. 26/17). Central Bank of the Republic of Türkiye.

Erkan, R. (2022). Dolarizasyon histerisi: Türkiye örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 49, 397–407.

Giraldo, C., Giraldo, I., Gomez-Gonzalez, J. E., & Uribe, J. M. (2025). *Dollarization and the international bank lending channel: Evidence from Latin America* [Working paper]. Fondo Latinoamericano de Reservas (FLAR).

- Gültepe Çorak, M., & Aksoy, E. E. (2024). Finansal Dolarizasyon ve Banka Kârlılığı. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 26(1), 261-282. <https://doi.org/10.26745/ahbvuibfd.1365077>
- Honohan, P., & Shi, A. (2001). *Deposit dollarization and the financial sector in emerging economies* (Policy Research Working Paper No. 2748). World Bank. <https://hdl.handle.net/10986/19409>
- International Monetary Fund (IMF). (2026). Republic of Türkiye: 2025 Article IV consultation—Press release; staff report; and statement by the Executive Director for the Republic of Türkiye (IMF Country Report No. 26/043). International Monetary Fund. <https://doi.org/10.5089/9798229038775.002>
- Işık, S., & Şendeniz-Yüncü, İ. (2022). Effects of dollarization on bank performance: Analysis for Turkey. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40(1), 58–86. <https://doi.org/10.17065/huniibf.929924>.
- Kappes, S., & Arauz, A. (2025). Introduction to *Central banking, monetary policy and the political economy of dollarization*. In S. Kappes & A. Arauz (Eds.), *Central banking, monetary policy and the political economy of dollarization* (pp. 1–4). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781803925332.00006>
- Kartal, F. (2024). Türk bankacılık sektöründe yabancı para pozisyonu. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(3), 101-120. DOI: <https://doi.org/10.52791/aksarayiibd.1426683>
- Kaya, Z., & Kara, O. (2022). Dolarizasyonun belirleyicileri ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye örneği. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 24(43), 839–856.
- Kesriyeli, M., Özmen, E., & Yiğit, S. (2011). Corporate sector liability dollarization and exchange rate balance sheet effect in Turkey. *Applied Economics*, 43(30), 4741–4747.
- Meireles, R. F. & Cortez, G. R. (2023). Dolarización, banca privada y rentabilidad financiera en Ecuador. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 54(215), 149–172. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2023.215.70021>
- Özen, A. (2018). Dolarizasyon Olgusu: Teorik Bir İnceleme ve Türkiye Örneği. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 101-113. <https://doi.org/10.30784/epfad.416391>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289–326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Sarı, İ. (2007). *Makroekonomik değişkenlerin dolarizasyon sürecine etkisi: Ampirik bir yaklaşım* [Uzmanlık yeterlilik tezi, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası]. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası.

- Tunay, K. B., & Tunay, N. (2022). Dollarization problem in Turkey and its effects on banks' profitability based performance. *Eurasian Business & Economics Journal*, 28(28), 1–11.
<https://doi.org/10.17740/eas.econ.2022.V28-01>
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB). (2026). *Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (EVDS)*. Erişim tarihi: 15 Eylül 2026,
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB). (2026a). Enflasyon Raporu 2026-I. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB). (2026b). Makroihtiyati çerçeveye ilişkin basın duyurusu (Sayı: 2026-26, 1 Temmuz 2026). Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası.
- Zivot, E., & Andrews, D. W. K. (1992). Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251–270.
<https://doi.org/10.1080/07350015.1992.10509904>

OECD ÜLKELERİNDE JEOPOLİTİK RİSKİN MAKROEKONOMİK BELİRLEYİCİLERİ: PANEL VERİ ANALİZİ (2000–2024)

Prof.Dr. Abdullah ÖZDEMİR¹/ Prof.Dr. Hatice EROL²

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Nazilli İİBF, İktisat, aozdemir@adu.edu.tr, 0000-0002-7506-3431.

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Nazilli İİBF, haticeerol@adu.edu.tr, 0000-0002-8816-1137.

Özet

Küreselleşmenin hızlanması, ülkeler arasındaki ekonomik ve finansal bağlantıların güçlenmesi ve üretim ağlarının ulusal sınırların ötesine yayılması, ekonomik gelişmelerin jeopolitik süreçlerden bağımsız değerlendirilmesini giderek güçleştirmiştir. Savaşlar, uluslararası gerilimler, terör olayları, ticari anlaşmazlıklar ve siyasi belirsizlikler yalnızca doğrudan taraf olan ülkeleri değil, ticaret, sermaye hareketleri ve finansal piyasalar aracılığıyla diğer ekonomileri de etkileyebilmektedir. Bu gelişmeler, jeopolitik riski ülkelerin ekonomik görünümü ve finansal istikrarı açısından dikkate alınması gereken önemli bir unsur haline getirmiştir. Jeopolitik risk ile makroekonomik göstergeler arasındaki ilişkinin yönü ve gücü ise ülkelerin ekonomik ve kurumsal özelliklerine ve incelenen döneme bağlı olarak farklılaşabilmektedir.

Bu çalışma, 2000–2024 döneminde 25 OECD ülkesinde jeopolitik risk ile seçilmiş makroekonomik göstergeler arasındaki ilişkiyi panel veri yöntemleriyle incelemektedir. Jeopolitik riskin ölçümünde Caldara ve Iacoviello (2022) tarafından geliştirilen ülke bazlı Jeopolitik Risk Endeksi (GPRC) ile tarihsel Jeopolitik Risk Endeksi (GPRHC) kullanılmıştır. Enflasyon, döviz kurundaki yıllık logaritmik değişim ve borsa kapitalizasyonunun GSYH'ye oranı ise açıklayıcı değişkenler olarak modele dâhil edilmiştir. Değişkenler arasındaki yatay kesit bağımlılığı Pesaran CD testiyle incelenmiş; tespit edilen bağımlılık dikkate alınarak durağanlık sınamaları ikinci nesil CIPS/CADF panel birim kök testleriyle gerçekleştirilmiştir. Modeller, ülke ve yıl sabit etkilerini birlikte içeren iki yönlü sabit etkiler (TWFE) yaklaşımıyla tahmin edilmiş ve standart hatalar Driscoll–Kraay yöntemiyle dirençli hale getirilmiştir.

Ampirik bulgular, enflasyon, döviz kuru değişimi ve borsa kapitalizasyonunun GPRC ve GPRHC göstergeleriyle ilişkilerinin geleneksel anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Modellerin açıklama gücünün önemli bir bölümünün ülke ve yıl sabit etkilerinden kaynaklandığı, incelenen makroekonomik değişkenlerin ilave açıklama gücünün ise sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, OECD ülkelerinde jeopolitik riskin seçilmiş makroekonomik göstergelerle sistematik ve doğrusal bir ilişkisinin ortaya konulamadığını; ülkeye özgü yapısal özellikler ile ülkeleri eş zamanlı etkileyen dönemsel ve küresel şokların jeopolitik risk dinamiklerinin açıklanmasında dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, jeopolitik riskin yalnızca kısa dönemli makroekonomik göstergeler üzerinden değil, daha geniş ekonomik, kurumsal ve küresel koşullar çerçevesinde ele alınmasının önemine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Jeopolitik risk, panel veri analizi, OECD, enflasyon, döviz kuru, borsa kapitalizasyonu.*

MACROECONOMIC DETERMINANTS OF GEOPOLITICAL RISK IN OECD COUNTRIES: A PANEL DATA ANALYSIS (2000–2024)

Abstract

Globalization hasn't just knit economies closer together — it has made it harder to talk about economic developments in isolation from geopolitics altogether. A war on one side of the world, a trade dispute, a terrorist attack, a diplomatic standoff: none of these stay contained to the country where they happen. Trade channels, capital flows, and financial markets carry the effects outward, which is why geopolitical risk has become something economies and policymakers can't really afford to treat as background noise. That said, how strongly — and in what direction — geopolitical risk actually connects to macroeconomic outcomes is not a fixed relationship; it shifts with a country's institutional makeup, its economic structure, and the period being studied. This paper takes on that question for 25 OECD countries between 2000 and 2024, using panel data methods. Geopolitical risk is captured through two measures from Caldara and Iacoviello (2022) — the country-specific Geopolitical Risk Index (GPRC) and its historical counterpart (GPRHC) — set against inflation, the annual log change in the exchange rate, and stock market capitalization relative to GDP. Cross-sectional dependence turns out to matter here, so stationarity is checked with second-generation CIPS/CADF panel unit root tests rather than first-generation ones. The estimation itself relies on a two-way fixed effects specification, with both country and year effects included and Driscoll-Kraay standard errors used to keep the inference robust.

What comes out of the estimation is, in a sense, a negative result: none of the three macroeconomic variables — inflation, exchange rate movements, stock market capitalization — shows a statistically significant link to either GPRC or GPRHC at conventional levels. Most of what the models explain comes from the country and year fixed effects themselves; the macroeconomic variables add comparatively little on top of that. That doesn't mean geopolitical risk is disconnected from economic conditions — it means the relationship isn't a simple linear one running through these particular indicators. Country-specific structural features and shared global or period-specific shocks look like they're doing more of the work. The broader point the paper makes is that geopolitical risk probably needs to be studied within a wider frame — one that brings in economic, institutional, and global conditions together — rather than being reduced to a handful of short-term macro variables.

Keywords: *Geopolitical risk, panel data analysis, OECD, inflation, exchange rate, stock market capitalization*

1. GİRİŞ

Özellikle 2020’li yıllar, jeopolitik riskin iktisadi analizde çevresel bir belirsizlik unsuru olmaktan çıkıp büyüme, enflasyon, enerji maliyetleri, ticaret ve finansal koşullarla birlikte izlenen temel risk başlıklarından biri hâline geldiği bir dönem haline gelmiştir. COVID-19 pandemisi sonrasında belirginleşen tedarik zinciri kırılmaları, 2022’de başlayan Rusya–Ukrayna savaşı, enerji ve emtia piyasalarındaki dalgalanmalar, ticaret politikalarında artan korumacı eğilimler ve 2025–2026 döneminde yoğunlaşan jeopolitik gerilimler bu dönüşümü daha da görünür hale getirmiştir. OECD’nin 2026 ara dönem görünümü, Orta Doğu’daki çatışmalarla birlikte jeopolitik risk göstergelerinin yeniden keskin biçimde yükseldiğini, enerji arz güvenliğinde yaşanan sorunların fiyatlar ve büyüme üzerinde önemli bir baskı oluşturduğunu ortaya koymaktadır (OECD, 2026). IMF de benzer şekilde 2026 görünümünde savaş kaynaklı şokların özellikle enerji ithalatçısı ekonomiler üzerinde baskı yarattığını ve küresel dezenflasyon sürecinin duraksadığını belirtmektedir (IMF, 2026). Bu durum, jeopolitik risk ile makroekonomik göstergeler arasındaki ilişkinin yalnızca kriz dönemlerine özgü geçici bir konu değil, ekonomik dayanıklılık tartışmalarının kalıcı bir parçası hâline geldiğini ifade etmektedir.

Bununla birlikte, jeopolitik riskin makroekonomik göstergelere nasıl yansıdığı konusunda literatürde tek yönlü bir sonuç ortaya konulamamaktadır. Bazı konudaki bazı çalışmalar risk artışlarının enflasyon, döviz kuru ve finansal piyasa oynaklığı üzerinden belirgin etkiler yarattığını gösterirken, bazıları etkinin şokun kaynağına, enerji piyasalarıyla bağlantısına, ülkenin dışa açıklığına ve incelenen değişkenin düzey ya da oynaklık olarak tanımlanmasına göre değiştiğini ifade etmektedir. Özellikle son dönem çalışmalarında ülkeye özgü risk göstergeleri, enerji aktarım kanalları ve doğrusal olmayan etkiler daha fazla ön plana çıkmaktadır. Buna karşılık, kurumsal ve finansal yapıları görece benzer OECD ülkelerinde temel makroekonomik göstergelerin jeopolitik riskteki değişimi ne ölçüde açıkladığına ilişkin karşılaştırmalı panel analizleri daha kısıtlı olarak ele alınmıştır.

Bu çalışma söz konusu tartışmaya, 2000–2024 döneminde 25 OECD ülkesini kapsayan bir panel üzerinden katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda yapılan analizde jeopolitik risk, Caldara ve Iacoviello (2022) tarafından geliştirilen ülke bazlı Jeopolitik Risk Endeksi (GPRC) ve tarihsel Jeopolitik Risk Endeksi (GPRHC) ile temsil edilmekte; enflasyon, döviz kurundaki yıllık değişim ve borsa kapitalizasyonunun GSYH’ye oranı temel açıklayıcı değişkenler olarak analize dahil edilmiştir. Çalışmanın bu kapsamda ayırt edici yönü, OECD ülkelerinin ortak küresel şoklardan etkilenebileceği gerçeğini yöntemsel olarak dikkate almasıdır. Buna dayalı olarak çalışmada yatay kesit bağımlılığı sınanmakta, durağanlık ikinci nesil panel testleriyle incelenmekte ve

nihai modeller ülke ve yıl sabit etkilerini birlikte içeren iki yönlü sabit etkiler yaklaşımıyla, Driscoll–Kraay dirençli standart hataları kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Bu ana amacı ortaya koymaya yönelik olarak izleyen bölümde literatür, riskin ölçümünden başlayarak enflasyon, döviz kuru ve finansal piyasalar üzerinden ilerleyen aktarım kanalları çerçevesinde ele alınmaktadır. Ardından veri seti ve değişkenler tanıtılmakta; ampirik analiz, ülkeler arasındaki ortak hareketleri önce tespit eden ve daha sonra bu bağımlılık yapısına uygun tahmin yöntemine geçen bütüncül bir sıra içinde sunulmaktadır. Son bölümde ise bulgular, 2025–2026 döneminde daha da belirginleşen küresel jeopolitik ve ekonomik belirsizlik ortamı dikkate alınarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Jeopolitik riskin makroekonomik sonuçlarını tartışabilmek için öncelikle riskin nasıl ölçüldüğü önem kazanmaktadır. Literatürde varlık fiyatlarına dayalı göstergeler, haber metinlerinden üretilen endeksler ve uzman değerlendirmeleri olmak üzere farklı ölçüm yaklaşımları kullanılabilmektedir. Bu göstergelerin aynı gelişmeye farklı hızlarda tepki verebilmesi, ampirik sonuçların kullanılan risk ölçüsüne duyarlı olabileceğini göstermektedir. Karagozoglu vd. (2022: 226), varlık fiyatına dayalı göstergelerin değişimleri metin temelli göstergelere kıyasla daha hızlı yansıtılabildiğini, haber temelli göstergelerin ise yeni bilgileri uzman ve analist derecelendirmelerinden daha erken içerebildiğini belirtmektedir. Dolayısıyla ölçüm tercihi, jeopolitik riskin ekonomik değişkenlerle kurulan ilişkisinin ilk belirleyicilerinden birisi olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu ölçüm tartışmasının merkezinde Caldara ve Iacoviello (2022: 1194) tarafından haber metinlerine dayalı olarak geliştirilen Jeopolitik Risk (GPR) Endeksi yer almaktadır. Endeksin iki dünya savaşı, Kore Savaşı, Küba Füze Krizi ve 11 Eylül gibi yüksek gerilim dönemlerinde belirgin sıçramalar göstermesi, haber temelli ölçümün tarihsel olaylarla güçlü bir eşleşme sergilediğini ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca yüksek jeopolitik riskin yatırım ve istihdamdaki gerilemeyle ve aşağı yönlü ekonomik risklerin artmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, daha sonraki çalışmalar için yalnızca ortak bir ölçüm zemini oluşturmakla kalmamış, küresel bir endeksin ülkeye özgü riskleri ne ölçüde yakalayabildiği sorusunu da gündeme taşımıştır.

Bu noktadan hareket eden yeni literatür, küresel risk göstergelerini ülke bağlamına uyarlamaya yönelmiştir. Bondarenko vd. (2024), Rusya için yerel gazete haberlerinden türetilen göstergelerin ülke ekonomisine özgü etkileri daha güçlü yakaladığını ve yaptırımların özellikle enflasyon kanalını güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. Shen vd. (2026) Çin için doğrudan ve dolaylı jeopolitik riskleri ayrıştırarak, ülkeye özgü göstergelerin Tayvan Boğazı ve Güney Çin Denizi gibi gelişmelere daha duyarlı olduğunu ve risk artışlarının

finansal piyasalar ile GSYH üzerinde kısa dönemli olumsuz etkiler yarattığını bulmuştur. Galimova vd. (2025) ise enerji ticaretine özgü bir risk endeksi geliştirerek tedarik güvenliği boyutunu öne çıkarmaktadır. Böylece literatür, genel bir risk düzeyini ölçmekten giderek riskin kaynağını, coğrafyasını ve aktarım kanalını ayırtırmaya doğru ilerlemektedir.

Ölçümdeki bu ayrışma, makroekonomik aktarım kanallarında da kendini göstermektedir. Enflasyon açısından son dönem çalışmalarının ortak noktası, jeopolitik riskin fiyatlar üzerindeki etkisinin çoğu zaman enerji piyasaları aracılığıyla şekillenmesidir. Caldara vd. (2024), arzı sınırlayan jeopolitik şokların enflasyonist, güven ve talebi zayıflatan şokların ise dezenflasyonist sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Ganaa (2026), ABD’de risk artışının önce petrol ve benzin fiyatlarına, ardından gecikmeli biçimde tüketici fiyatlarına yansıdığını; Pinchetti (2026) ise enerji piyasalarını bozan şokların büyümeyi zayıflatırken enflasyonu yükselttiğini ortaya koymaktadır. OECD’nin 2026 görünümünde enerji arzındaki jeopolitik kesintilerin büyüme ve enflasyon üzerindeki baskısının yeniden öne çıkması, bu aktarım kanalının güncelliğini koruduğunu göstermektedir (OECD, 2026). Dolayısıyla jeopolitik risk–enflasyon ilişkisini sabit ve doğrusal bir katsayıyla açıklamak her dönemde mümkün olmayabilir.

Enerji fiyatlarından sonra ikinci önemli aktarım alanı döviz piyasalarıdır. Jeopolitik gerilimler risk algısı, sermaye hareketleri ve dış finansman koşulları üzerinden ulusal paraların değerini ve özellikle kur oynaklığını etkileyebilmektedir. Salisu vd. (2022a), BRICS ülkeleri için GARCH-MIDAS-X yaklaşımıyla güncel jeopolitik risk göstergelerinin tarihsel risk örüntülerine kıyasla döviz kuru oynaklığını açıklamada daha güçlü olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, kur düzeyinden çok kurun belirsizlik ve oynaklık boyutunun jeopolitik gelişmelere daha duyarlı olabileceğini düşündürmektedir.

Benzer bir ayrım hisse senedi piyasalarında da ortaya çıkmaktadır. Bouras vd. (2020), gelişmekte olan piyasalarda ülkeye özgü ve küresel jeopolitik risklerin hisse senedi oynaklığını artırdığını; Zhang vd. (2023) ise bu ilişkinin küresel ölçekte de gözlenebildiğini ifade etmektedir. Burada dikkat çeken nokta, etkinin çoğu kez piyasa değerinin ya da getirinin düzeyinden ziyade oynaklıkta belirginleşmesidir. Bu bulgu, düzey değişkenlerini kullanan panel modellerinde jeopolitik etkinin daha sınırlı görünmesinin olası nedenlerinden birini oluşturmaktadır.

Gelişmiş ekonomilere ilişkin bulgular ise ilişkinin örnekleme ve riskin niteliğine duyarlı olduğunu daha açık biçimde göstermektedir. Salisu vd. (2022b: 889), G7 ülkeleri ve İsviçre için jeopolitik tehditlerin gerçekleşmiş olaylardan daha güçlü piyasa etkileri yaratabildiğini; Agoraki vd. (2022: 253) ise 22 ülkede jeopolitik risk ile

hisse senedi getirileri arasında negatif bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur. Marangoz vd. (2025) coğrafi yakınlığın ve riskin kaynağının önemini vurgulayarak Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya piyasalarının farklı jeopolitik risk merkezlerine farklı tepkiler verdiğini göstermektedir. Böylece gelişmiş ekonomilerde dahi tek tip bir jeopolitik risk etkisinden söz etmek çok mümkün görünmemektedir.

Bu heterojenlik, jeopolitik riskin daha geniş belirsizlik ve risk ağları içindeki konumunu inceleyen çalışmalarda da görülmektedir. Costola vd. (2022: 2357), ekonomik, jeopolitik ve toplumsal risk algılarının çoğunlukla şok aktarıcısı, makroekonomik göstergelerin ise şok alıcısı konumunda olduğunu göstermiştir. Bouassida ve Ghabri (2025), gelişmiş ekonomilerde jeopolitik belirsizliğin finansal getiriler üzerindeki riskleri artırdığını bulurken, Lagios ve Mavroforakis (2023: 6) jeopolitik riskin bazı piyasalarda makroekonomik kontroller eklendiğinde anlamlılığını kaybedebildiğini göstermektedir. Bu farklı sonuçlar, jeopolitik riskin etkisinin modele dâhil edilen değişkenler ve piyasanın yapısıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Ülke ve sektör düzeyindeki çalışmalar da aynı noktayı desteklemektedir. Mansour-Ichraieh ve Zeaiter (2019), Türkiye’de jeopolitik riskin finansal stres üzerindeki etkisinin riskin kaynaklandığı ülkeye göre değiştiğini; Asomaning vd. (2024), Gana’da jeopolitik risk şoklarının döviz rezervleri, reel kur, tüketici fiyatları ve kamu borcu üzerinden yayıldığını göstermiştir. Hossain vd. (2024) Güneydoğu Asya ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımların jeopolitik riskten olumsuz etkilendiğini, Efe ve Aydın (2025: 178) ise BRICS-T ülkelerinde askerî harcamalarla jeopolitik risk arasında pozitif ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur. Zhao vd. (2024) yenilenebilir enerji piyasalarında etkinin alt sektör ve döneme göre değiştiğini göstermektedir. Bu bulgular, riskin makroekonomik sonuçlarının ülkenin dışa açıklığı, enerji yapısı ve finansal kırılganlıklarıyla birlikte şekillendiğini düşündürmektedir.

Literatürün büyük bölümü jeopolitik riskten makroekonomiye doğru ilerleyen etkiyi araştırır da ilişkinin ters yönü de önemlidir. Sweidan (2023: 495), ABD’nin temel makroekonomik göstergelerindeki değişimlerin uluslararası jeopolitik risk üzerinde, özellikle uzun dönemde, anlamlı etkiler oluşturabildiğini göstermektedir. Bu bulgu, jeopolitik risk ile makroekonomik koşullar arasında tek yönlü bir aktarım yerine karşılıklı etkileşim olabileceğini düşündürmektedir. Bu çalışmada jeopolitik risk göstergelerinin bağımlı değişken olarak ele alınması da literatürde daha sınırlı incelenen bu yöndeki ilişkiye odaklanmaktadır.

Bu karşılıklı etkileşim ihtimali, yöntem seçiminde ülkeler arasındaki ortak hareketlerin de dikkate alınmasını gerektirmektedir. OECD ekonomileri ticaret, finans ve enerji piyasaları üzerinden yoğun biçimde bağlantılı olduğundan, aynı küresel şokun birden fazla ülkede eş zamanlı sonuç üretmesi beklenebilir. Pesaran’ın (2004)

CD testi bu yatay kesit bağımlılığını sınamaya imkân vermekte; bağımlılık tespit edildiğinde Pesaran'ın (2007) CIPS yaklaşımı gibi ikinci nesil panel birim kök testleri daha uygundur. Tahmin aşamasında Driscoll ve Kraay (1998) standart hataları ise yatay kesit ve zamansal bağımlılığa karşı daha dirençli çıkarım sağlamaktadır. Dolayısıyla bu yöntemler, çalışmanın ampirik tasarımında birbirinden bağımsız teknik tercihler değil, aynı bağımlılık yapısına verilen ardışık yanıtlar olarak ele alınmaktadır.

Literatür birlikte değerlendirildiğinde üç nokta öne çıkmaktadır. İlk olarak jeopolitik riskin etkisi, riskin küresel ya da ülkeye özgü biçimde ölçülmesine göre değişebilmektedir. İkinci olarak enflasyon, döviz kuru ve finansal piyasalar üzerindeki etkiler çoğu zaman enerji fiyatları, oynaklık, coğrafi yakınlık ve ülkeye özgü kırılmalıklar üzerinden ortaya çıkmaktadır. Üçüncü olarak ortak küresel şoklar, ülkeleri birbirinden bağımsız gözlemler olarak ele alan yöntemleri sorunlu hâle getirebilmektedir. Bu çalışma, bu üç tartışmayı 25 OECD ülkesi için aynı panel çerçevesinde bir araya getirerek, temel makroekonomik göstergelerin GPRC ve GPRHC'deki değişimleri ne ölçüde açıkladığını analiz etmektedir.

3. VERİ SETİ VE DEĞİŞKENLER

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada veri seti, 25 OECD ülkesinin 2000–2024 dönemine ait yıllık gözlemlerinden oluşmaktadır. Jeopolitik risk göstergeleri (GPRC, GPRHC) Caldara ve Iacoviello (2022) tarafından kamuya açık biçimde paylaşılan GPR veri setinden; enflasyon, döviz kuru, kredi faizi ve borsa kapitalizasyonu değişkenleri ise Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) veri tabanından derlenmiştir. GPRC, GPRHC, enflasyon ve döviz kuru değişkenleri için tam 625 gözlem (25 ülke × 25 yıl) bulunmaktadır; kredi faizinde 328, piyasa değeri/GSYH değişkeninde ise 119 eksik gözlem söz konusudur. Gözlem kaybının yüksek olması nedeniyle kredi faizi değişkeni temel regresyon modeline dâhil edilmemiş; GPRC ve GPRHC arasındaki yüksek korelasyon nedeniyle de bu iki gösterge ortak bir modelde birlikte değil, ayrı bağımlı değişkenler olarak modellenmiştir.

3.2. Değişkenler

Analizde kullanılan değişkenlerin tanımları ve veri kaynakları aşağıda Tablo 1'de özetlenmektedir.

Tablo 1. Değişkenlerin Tanımı ve Kaynağı

Değişken	Tanım	Kaynak
GPRC	Ülke bazlı Jeopolitik Risk Endeksi (country-specific GPR); ilgili ülkeye yönelik jeopolitik olaylardan söz eden gazete haberlerinin payına dayalı endeks	Caldara ve Iacoviello (2022)
GPRHC	Tarihsel Jeopolitik Risk Endeksi (historical GPR); 1900 sonrası dönemi kapsayan, daha uzun tarihsel gazete arşivlerine dayalı endeks	Caldara ve Iacoviello (2022)
Enflasyon	Yıllık tüketici fiyatları enflasyon oranı (%)	Dünya Bankası, WDI
Döviz kuru	Ulusal para biriminin ABD dolarına karşı yıllık ortalama değeri (LCU/USD); regresyonlarda yıllık logaritmik değişim, $\Delta \ln(FX) \times 100$, olarak kullanılmıştır	Dünya Bankası, WDI
Kredi faizi	Ticari bankaların reel kesime uyguladığı borç verme faiz oranı (%)	Dünya Bankası, WDI
Piyasa değeri/GSYH	Halka açık şirketlerin toplam piyasa değerinin GSYH'ye oranı (%)	Dünya Bankası, WDI

4. ANALİZ VE SONUÇLARI

4.1. Analiz Stratejisi

Bu çalışmanın ampirik stratejisi, OECD ülkelerinin ortak küresel şoklara birlikte tepki verebileceği varsayımından hareketle birbirini tamamlayan dört aşamada ele alınmıştır. İlk aşamada değişkenlerin dağılımı ve korelasyon yapısı incelenerek veri setinin temel özellikleri ortaya konulmuştur. İkinci aşamada Pesaran CD testi uygulanmış ve ülkeler arasında ortak hareket bulunup bulunmadığı analiz edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığının belirlenmesi üzerine üçüncü aşamada durağanlık, bu bağımlılığı dikkate alan ikinci nesil CIPS/CADF testleriyle değerlendirilmiştir. Son aşamada ise ülkeye özgü zaman içinde değişmeyen özellikler ile bütün ülkeleri aynı dönemde etkileyen ortak şokları birlikte kontrol edebilmek amacıyla iki yönlü sabit etkiler (TWFE) modeli kullanılmış; çıkarımlar Driscoll–Kraay dirençli standart hatalarıyla yapılmıştır. Böylece test ve tahmin aşamaları ayrı teknik uygulamalar olarak değil, aynı veri yapısının gerektirdiği bütüncül bir analiz zinciri olarak ele alınmıştır. Piyasa kapitalizasyonundaki eksik gözlemler ve döviz kurunun yıllık logaritmik değişimle kullanılması nedeniyle nihai tahmin örneklemini 483 gözlemde oluşmaktadır.

4.2. Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışma kapsamında yapılan analize, değişkenlerin ölçeğini, dağılımını ve ülkeler arasındaki farklılaşmayı görmek amacıyla tanımlayıcı istatistiklerle başlanmıştır. Bu ilk görünüm, sonraki aşamalarda elde edilen katsayıların hangi veri yapısı içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermesi bakımından önemlidir. Sonuçlar Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	N	Ortalama	Std. Sapma	Min.	Maks.
GPRC	625	0.290	0.546	0.006	4.350
GPRHC	625	0.280	0.600	0.003	4.679
Enflasyon (%)	625	3.315	5.969	-1.353	72.309
Döviz kuru (LCU/USD)	625	197.195	594.528	0.500	4325.955
Kredi faizi (%)	297	5.771	3.804	0.500	21.031
Piyasa değeri/GSYH (%)	506	76.438	50.544	10.284	280.637

Tanımlayıcı bulguların ardından değişkenlerin birlikte hareket etme yapısı incelenmiştir. GPRC ile GPRHC arasındaki 0,9595 düzeyindeki yüksek korelasyon, iki göstergenin jeopolitik riskteki ortak hareketi büyük ölçüde yakaladığını ve aynı modelde birlikte kullanılmalarının uygun olmayacağını göstermektedir. Enflasyon ile kredi faizi arasındaki korelasyon 0,7162, döviz kuru ile kredi faizi arasındaki korelasyon 0,6307, kredi faizi ile piyasa değeri/GSYH arasındaki korelasyon ise -0,3940’tır. Bu yapı dikkate alınarak GPRC ve GPRHC ayrı bağımlı değişkenler olarak modellenmiştir. Ancak korelasyonlar tek başına panelde ülkelerin ortak şoklara maruz kalıp kalmadığını göstermediğinden, bir sonraki aşamada yatay kesit bağımlılığı sınanmıştır.

4.3. Yatay Kesit Bağımlılığı

OECD ülkelerinin ticaret, sermaye hareketleri ve enerji piyasaları üzerinden yüksek ölçüde bağlantılı olması, bir ülkedeki ya da küresel düzeydeki şokların diğer ülkelere de yansımaya neden olabilmektedir. Bu nedenle durağanlık ve regresyon sonuçlarına geçmeden önce serilerin yatay kesit bağımsızlığı varsayımını sağlayıp sağlamadığı Pesaran CD testiyle incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3’te sunumaktadır.

Tablo 3. Pesaran CD Testi Sonuçları

Değişken	Pesaran CD	p	Ort. ikili korelasyon
GPRC	38.474	<0,001	0.444
GPRHC	36.724	<0,001	0.424
Enflasyon (%)	59.280	<0,001	0.685
Döviz kuru (LCU/USD)	46.810	<0,001	0.588
Kredi faizi (%)	21.486	<0,001	0.659
Piyasa değeri/GSYH (%)	34.318	<0,001	0.402

CD istatistikleri tüm değişkenlerde yatay kesit bağımsızlığı varsayımının %1 düzeyinde reddedildiğini göstermektedir. Ortalama ikili korelasyonların özellikle enflasyon ve döviz kurunda yüksek olması, OECD ülkelerinin finansal krizler, pandemi, enerji fiyatları ve küresel belirsizlik gibi ortak şoklara birlikte tepki verdiğini göstermektedir. Bu sonuç yalnızca tanımlayıcı bir bulgu değildir; sonraki yöntem seçimini doğrudan belirlemektedir. Bu nedenle durağanlık incelemesinde birinci nesil testler yerine yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil CIPS/CADF yaklaşımına geçilmiştir.

4.4. CIPS/CADF Panel Birim Kök İncelemesi

Yatay kesit bağımlılığının güçlü biçimde saptanmasının ardından serilerin durağanlık özellikleri ikinci nesil CIPS/CADF yaklaşımıyla incelenmiştir. Böylece paneldeki ortak faktörlerin birim kök sonuçlarını bozma ihtimali azaltılmaya çalışılmıştır. Test istatistikleri Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4. CIPS/CADF Panel Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	N ülke	Düzey: sabit	Düzey: sabit+trend	1. fark: sabit	1. fark: sabit+trend
GPRC	25	-2.679	-3.589	-5.899	-5.823
GPRHC	25	-2.898	-3.639	-5.632	-5.516
Enflasyon (%)	25	-3.762	-3.957	-5.745	-5.784
Döviz kuru (LCU/USD)	25	-2.367	-1.882	-3.486	-3.809
Kredi faizi (%)	5	-2.448	-2.410	-4.251	-4.037
Piyasa değeri/GSYH (%)	12	-2.239	-3.059	-6.180	-6.216

CIPS istatistikleri gecikme uzunluğu 0 olan kesitçe genişletilmiş Dickey–Fuller regresyonlarının ülke ortalaması olarak hesaplanmıştır. Kredi faizi ve piyasa değeri/GSYH için yalnızca kesintisiz seriyeye sahip ülkeler kullanılabildiğinden bu değişkenlere ilişkin sonuçlar daha sınırlı bir örnekleme dayanmaktadır. Döviz kuru düzeylerinin ülkelerin para birimi ölçeklerinden doğrudan etkilenmesi nedeniyle regresyonlarda kur seviyesi yerine yıllık logaritmik değişim $[\Delta \ln(FX) \times 100]$ kullanılmıştır. Bu dönüşüm ve durağanlık incelemesi sonrasında analiz, ülke ve yıl etkilerini aynı anda kontrol eden nihai panel tahminlerine taşınmıştır.

4.5. Nihai Panel Regresyonları

Analizde elde edilen ön testlerden elde edilen bulgular, ülkeler arasındaki ortak hareketlerin ihmal edilmemesi gerektiğini açık biçimde göstermiştir. Bu nedenle nihai aşamada ülkeye özgü kalıcı farklılıkları ve bütün ülkeleri aynı yılda etkileyen ortak gelişmeleri birlikte kontrol eden iki yönlü sabit etkiler (TWFE) modeli tercih edilmiştir. Yatay kesit ve zamansal bağımlılığa karşı çıkarımın dayanıklılığını artırmak için Driscoll–Kraay/HAC standart hataları üç gecikmeyle hesaplanmıştır. Ortak tahmin örneklemini 483 gözlemden oluşmaktadır. Tablo 5 katsayı tahminlerini, Tablo 6 ise modellerin açıklama yapısını göstermektedir.

Tablo 5. TWFE Panel regresyon katsayıları

Değişken	GPRC β	SH	p	GPRHC β	SH	p
Enflasyon (%)	-0.00527	(0.00310)	0.103	-0.00365	(0.00239)	0.141
$\Delta \ln(FX) \times 100$	0.00265	(0.00232)	0.266	0.00222	(0.00193)	0.263
Piyasa değeri/GSYH (%)	0.00086	(0.00094)	0.365	0.00039	(0.00084)	0.646

Not: * $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Tablo 6. Model Özeti

Model özelliği	GPRC	GPRHC
Gözlem	483	483
Genel R^2	0.8890	0.9358
Within R^2	0.0127	0.0077
Ülke sabit etkileri	Evet	Evet
Yıl sabit etkileri	Evet	Evet
DK/HAC standart hata	Evet	Evet

Not: Bu tabloda raporlanan GPRC modelindeki enflasyon katsayısının p değeri 0,103'tür; dolayısıyla %10 düzeyinde de istatistiksel olarak anlamlı değildir.

4.6. Bulguların Değerlendirilmesi

Nihai tahminlerin ilk ve en dikkat çekici sonucu, enflasyon, döviz kuru değişimi ve piyasa değeri/GSYH değişkenlerinden hiçbirinin GPRC ya da GPRHC ile geleneksel anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki göstermemesidir. GPRC modelinde enflasyon katsayısı negatif olmakla birlikte $p=0,103$; GPRHC modelinde ise $p=0,141$ 'dir. Döviz kuru değişimi ve piyasa kapitalizasyonu katsayıları da her iki modelde anlamlı değildir. Dolayısıyla bulgular, jeopolitik riskteki değişimin OECD ülkelerinde bu üç makroekonomik gösterge üzerinden düzenli ve ortak bir doğrusal örüntü izlemediğine işaret etmektedir.

Bu sonucu modelin açıklama yapısı daha görünür hâle getirmektedir. Genel R^2 değerleri GPRC için 0,8890 ve GPRHC için 0,9358 gibi yüksek düzeylerdeyken, ülke ve yıl sabit etkileri çıkarıldıktan sonra açıklayıcı değişkenlerin ilave katkısını gösteren within R^2 değerleri yalnızca 0,0127 ve 0,0077'dir. Başka bir ifadeyle modelin yüksek genel açıklama gücü, enflasyon, kur ve piyasa kapitalizasyonundan çok ülkeye özgü kalıcı farklılıklar ile belirli yıllarda ülkeleri ortak biçimde etkileyen gelişmelerden kaynaklanmaktadır. Bildirinin temel ampirik mesajı da bu ayrımda ortaya çıkmaktadır.

Bu bulgu, 2020'li yıllarda jeopolitik riskin giderek daha fazla enerji arzı, ticaret politikası, yaptırımlar, savunma harcamaları ve tedarik zincirleri üzerinden tartışılmasıyla birlikte değerlendirildiğinde daha anlamlı hâle gelmektedir. Örneklem 2024'te sona ermekle birlikte, 2025–2026 gelişmeleri riskin makroekonomiye aktarımının tek bir gösterge üzerinden değil, birbirine bağlı kanallar aracılığıyla gerçekleşebildiğini yeniden göstermiştir. OECD'nin 2026 değerlendirmesinde jeopolitik gerilimlerin enerji fiyatları ve finansal koşullar üzerinden büyüme ve enflasyon görünümünü aynı anda etkilediğinin vurgulanması bu açıdan dikkat çekicidir (OECD, 2026). Dolayısıyla bu çalışmada doğrudan anlamlı katsayıların elde edilmemesi, jeopolitik riskin ekonomik öneminin zayıf olduğu anlamına değil; ilişkinin ülke, dönem ve aktarım kanalı bakımından daha heterojen olabileceğine işaret etmektedir.

Sonuçların yorumunda veri ve model sınırları da dikkate alınmalıdır. GPRC ve GPRHC arasındaki 0,9595 düzeyindeki korelasyon nedeniyle göstergeler ayrı modellerde kullanılmıştır. Kredi faizi, eksik gözlem sayısının yüksekliği nedeniyle temel modele alınmamış; döviz kuru ise ülkeler arası ölçek farklılıklarını azaltmak amacıyla yıllık logaritmik değişim olarak tanımlanmıştır. Piyasa kapitalizasyonu ve kredi faizine ilişkin CIPS sonuçları daha sınırlı ülke kümelerine dayanmaktadır. Ayrıca tahminler ilişkisel niteliktedir ve nedensellik

iddiası taşımamaktadır. Bu sınırlılıklar, bulguların değerini azaltmaktan çok bir sonraki araştırma adımını göstermektedir: jeopolitik riskin enerji bağımlılığı, ticaret açıklığı, savunma harcamaları, ittifak yapıları ve finansal oynaklık gibi kanallarla etkileşiminin daha ayrıntılı modellenmesi gerekmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, 2000–2024 döneminde 25 OECD ülkesinde jeopolitik riskin enflasyon, döviz kuru değişimi ve borsa kapitalizasyonu ile nasıl bir ilişki sergilediğini incelemiştir. Analizin çıkış noktası, OECD ülkelerinin ortak küresel şoklardan bağımsız ele alınamayacağıdır. Pesaran CD sonuçları bu beklentiyi güçlü biçimde doğrulamış; tüm değişkenlerde belirgin yatay kesit bağımlılığı saptanmıştır. Bu nedenle durağanlık ikinci nesil CIPS/CADF testleriyle değerlendirilmiş, nihai tahminlerde ülke ve yıl sabit etkilerini birlikte içeren TWFE modeli ile Driscoll–Kraay dirençli standart hataları kullanılmıştır. Böylece yöntemsel çerçeve, ülkeler arasındaki karşılıklı bağımlılığı analizin merkezine yerleştirmiştir.

Ampirik sonuçların en belirgin yönü, enflasyon, kur değişimi ve piyasa değeri/GSYH değişkenlerinin GPRC ve GPRHC’deki değişimi tek başlarına açıklayamamasıdır. Her iki modelde de katsayılar geleneksel anlamlılık düzeylerinin dışında kalmıştır. Buna karşılık genel R^2 değerleri yüksek, within R^2 değerleri ise oldukça düşüktür. Bu görünüm, jeopolitik riskin OECD panelinde birkaç kısa dönemli makroekonomik göstergeye indirgenemeyeceğini; ülkeye özgü yapısal özelliklerin ve ülkeleri aynı anda etkileyen dönemsel şokların çok daha belirgin bir rol oynadığını göstermektedir.

Bu sonuç, güncel literatürde giderek güçlenen heterojenlik vurgusuyla birlikte ele alınmalıdır. Enerji piyasasına bağlı şokların enflasyonist etkiler yaratabildiğini gösteren Caldara vd. (2024), Ganaa (2026) ve Pinchetti (2026) ile oynaklık kanalını öne çıkaran Bouras vd. (2020) ve Zhang vd. (2023) aynı temel noktaya işaret etmektedir: jeopolitik riskin ekonomik etkisi, şokun niteliğine ve aktarım kanalına bağlıdır. Bu çalışmada düzey değişkenleri üzerinden ortak ve doğrusal bir katsayının bulunamaması da bu nedenle başlı başına anlamlıdır. Bulgular, jeopolitik riskin ekonomik etkisinin yokluğunu değil, OECD ülkeleri için tek biçimli bir makroekonomik tepki kalıbının bulunmadığını göstermektedir.

Bildirinin güncel bağlam açısından en önemli çıkarımı burada ortaya çıkmaktadır. Örneklem 2024’te sona erse de 2025–2026 döneminde ticaret politikası belirsizliğinin yükselmesi, enerji arzı ve ulaştırma hatlarına ilişkin risklerin yeniden gündeme gelmesi ve Orta Doğu’daki çatışmaların enerji fiyatları üzerinden küresel görünüme yansımaları, jeopolitik riskin ekonomik etkilerinin çok kanallı niteliğini daha görünür hâle getirmiştir. OECD, 2026’da enerji arzındaki kesintilerin enflasyonu yükseltirken büyümeyi aşağı çekebileceğini vurgulamakta; IMF

ise savaş kaynaklı şokların enerji ithalatçısı ekonomilerde daha belirgin hissedildiğine dikkat çekmektedir (OECD, 2026; IMF, 2026). Bu gelişmeler, çalışmanın düşük within R^2 bulgusunu güncel bir çerçeveye oturtmaktadır: ortak küresel şoklar ve ülkeye özgü kırılğanlıklar, geleneksel makro göstergelerin tekil etkilerinden daha açıklayıcı olabilmektedir.

Bu nedenle politika açısından temel sorun, jeopolitik riski yalnızca enflasyon, kur ya da borsa göstergelerindeki anlık hareketlerden ifade etmek değildir. Daha işlevsel bir izleme çerçevesi; enerji ithalat bağımlılığı, kritik tedarik zincirleri, ticaret ortaklarının yoğunlaşması, savunma ve güvenlik harcamaları, finansal oynaklık ve ittifak ilişkileri gibi ülkeye özgü göstergeleri birlikte izlemelidir. Gelecek çalışmalar açısından ise 2025–2026 dönemini kapsayan güncellenmiş veri setleri, etkileşim terimleri, rejim değişimi ve doğrusal olmayan modeller ile düzey değişkenleri yerine oynaklık ve şok aktarımını doğrudan ölçen göstergeler önemli bir araştırma alanı sunmaktadır. Böyle bir genişleme, jeopolitik riskin hangi koşullarda makroekonomik kırılğanlığa dönüştüğünü daha açık biçimde ortaya koyabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Agoraki, M. E. K., Kouretas, G. P., & Laopodis, N. T. (2022). Geopolitical risks, uncertainty, and stock market performance. *Economic and Political Studies*, 10(3), 253–265. <https://doi.org/10.1080/20954816.2022.2095749>
- Asomaning, K. O., Hamayoon, S., & Uche, E. (2024). A TVP-VAR assessment of the spillover effects of geopolitical risk shocks on macroeconomic variability: A study of the Ghanaian economy. *Future Business Journal*, 10, Article 55. <https://doi.org/10.1186/s43093-024-00341-5>
- Bondarenko, Y., Lewis, V., Rottner, M., & Schöler, Y. (2024). Geopolitical risk perceptions. *Journal of International Economics*, 152, 104005. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2024.104005>
- Bouassida, O., & Ghabri, Y. (2025). Navigating uncertainty: The effect of macroeconomic and geopolitical risks on listed private equity returns. *Journal of Economic and Administrative Sciences*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1108/JEAS-01-2025-0023>
- Christos Bouras & Christina Christou & Rangan Gupta & Tahir Suleman, 2020. "Geopolitical Risks, Returns, and Volatility in Emerging Stock Markets: Evidence from a Panel GARCH Model," *Emerging Markets Finance and Trade*, Taylor & Francis Journals, vol. 55(8), pages 1841-1856.
- Caldara, D., & Iacoviello, M. (2022). Measuring geopolitical risk. *American Economic Review*, 112(4), 1194–1225. <https://doi.org/10.1257/aer.20191823>
- Caldara, D., Conlisk, S., Iacoviello, M., & Penn, M. (2026). Do geopolitical risks raise or lower inflation? *Journal of International Economics*, 159, 104188. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2025.104188>
- Costola, M., Donadelli, M., Gerotto, L., & Gufler, I. (2022). Global risks, the macroeconomy, and asset prices. *Empirical Economics*, 63(5), 2357–2388. <https://doi.org/10.1007/s00181-022-02205-9>
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–560. <https://doi.org/10.1162/003465398557825>
- Efe, E., & Aydın, Ü. (2025). The Effect of Macroeconomic Indicators, Geopolitical Risk And Political Stability Index on Military Expenditures. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 40, 178-196. <https://doi.org/10.15182/diclesosbed.1655613>
- Galimova, T., Chou, C.-E., Keiner, D., & Breyer, C. (2025). Geopolitical risk index for guiding international sustainable energy trade. *Smart Energy*, 19, 100200. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2025.100200>

- Ganaa, M. (2026). *Geopolitical risk, energy price transmission, and U.S. inflation: A predictive analysis using machine learning models* [Working paper]. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.6720300>
- Hossain, M. S., Voumik, L. C., Ahmed, T. T., Alam, M. B., & Tasmim, Z. (2024). Impact of geopolitical risk, GDP, inflation, interest rate, and trade openness on foreign direct investment: Evidence from five Southeast Asian countries. *Regional Sustainability*, 5(4), 100177. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2024.100177>
- International Monetary Fund. (2026). *World economic outlook update, July 2026: Global economy in crosscurrents of war and technology*. IMF. <https://www.imf.org/en/publications/weo/issues/2026/07/08/world-economic-outlook-update-july-2026>
- Karagozoglu, A. K., Wang, N., & Zhou, T. (2022). Comparing geopolitical risk measures. *The Journal of Portfolio Management*, 48(10), 226–257. <https://doi.org/10.3905/jpm.2022.1.415>
- Lagios, G., & Mavroforakis, E. (2023). *The impact of geopolitical risks, global economic policy uncertainty and other macroeconomic variables to freight rate indices and commodities in shipping industry* [Master's thesis, Athens University of Economics and Business]
- Mansour-Ichraieh, L., & Zeaiter, H. (2019). The role of geopolitical risks on the Turkish economy: Opportunity or threat. *The North American Journal of Economics and Finance*, 50, 101000. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2019.101000>
- Marangoz, C., Gerekan, B., Yılmaz, E., & Bulut, E. (2025). Disentangling geopolitical risks: A quantile approach to geopolitical risk indices' impacts on stock markets. *Finance Research Letters*, 77, 107113. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107113>
- OECD. (2026). *OECD economic outlook, interim report March 2026: Testing resilience*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/d4623013-en>
- Pesaran, M. H. (2004). *General diagnostic tests for cross-section dependence in panels* (CESifo Working Paper No. 1229). CESifo.
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pinchetti, M. (2026). Geopolitical risk and inflation: The role of energy markets. *Journal of International Economics*, 164, 104336. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2026.104336>

- Salisu, A. A., Cuñado, J., & Gupta, R. (2022a). Geopolitical risks and historical exchange rate volatility of the BRICS. *International Review of Economics & Finance*, 77, 179–190. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2021.09.017>
- Salisu, A. A., Lasisi, L., & Tchankam, J. P. (2022b). Historical geopolitical risk and the behaviour of stock returns in advanced economies. *The European Journal of Finance*, 28(9), 889–906. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2021.1968467>
- Shen, X., Wang, D., & Wu, C. (2026). Measuring geopolitical risk in China. *Pacific-Basin Finance Journal*, 98, 103128. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2026.103128>
- Sweidan, O. D. (2023). The effect of the US macroeconomic indicators on the international geopolitical risk. *Defence and Peace Economics*, 34(4), 495–511. <https://doi.org/10.1080/10242694.2022.2034103>
- World Bank. (2025). *World development indicators*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Zhang, Y., He, J., He, M., & Li, S. (2023). Geopolitical risk and stock market volatility: A global perspective. *Finance Research Letters*, 53, 103620. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103620>
- Zhao, X., Si Mohammed, K., Wang, Y., Stępień, P., & Mentel, G. (2024). Effect of geopolitical risk and economic uncertainty indices on renewable energy. *Geoscience Frontiers*, 15(3), 101655. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101655>

ENERGY TRANSITION AND INDUSTRIAL COMPETITIVENESS IN EUROPE: COSTS, INVESTMENT AND PRODUCTIVITY

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

The purpose of our paper is to investigate the relationship between the energy transition and industrial competitiveness in Europe, focusing on three interrelated dimensions: the cost of energy, investment and labor productivity. The starting point of our analysis represents the structural disadvantage created by the large increase in the European energy prices relative to those in the United States following the energy crisis of 2021-2022. Three research questions we address in this paper are: how do changes in energy costs affect the international competitiveness of European industry?, to what extent do higher energy prices constrain productive and technological investment?, and can investment in energy efficiency and new technologies compensate, over time, for the initial increase in production costs? The empirical analysis combines sectoral and firm-level evidence for European manufacturing, covering the period before and after the recent energy-price shock. The analysis relates changes in export performance and production costs to energy-price differentials, energy intensity and investment behavior, while controlling for differences in sectoral structure and firm characteristics. Investment effects are examined separately for physical capital and research and development, allowing the analysis to distinguish between the immediate financial burden of higher energy prices and the longer-term adjustment of firms' production technologies. Productivity is assessed through changes in output relative to inputs, with a particular attention to energy-intensive sectors.

Keywords: energy transition, industrial competitiveness, investment, productivity

DİJİTAL FİNANS KULLANIMI İLE RESMİ TASARRUF DAVRANIŞI ARASINDAKİ İLİŞKİ: ULUSLARARASI BİR ANALİZ

Dr. Öğr. Üyesi Gülhan DENİZ¹

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü;
gulhan.deniz@bozok.edu.tr; ORCID: 0000-0002-2212-0033

Özet

Bu çalışma, dijital finans kullanımı ile resmi tasarruf davranışı arasındaki ilişkiyi ülke düzeyinde incelemektedir. Analizde, Dünya Bankası Global Findex Database 2025'in en güncel gözlem yılı olan 2024 verileri kullanılmıştır. Örneklem, çalışmada kullanılan göstergelerin tamamına ilişkin verisi bulunan 98 ekonomiden oluşmaktadır. Bölgesel ve gelir gruplarına ait toplulaştırılmış veriler örnekleme dahil edilmemiştir. Çalışmada resmi tasarruf bağımlı değişken olarak ele alınmış; dijital ödeme kullanımı temel açıklayıcı değişken, hesap sahipliği ise finansal erişimi temsil eden alternatif açıklayıcı değişken olarak değerlendirilmiştir. Resmi borçlanma her iki modelde kontrol değişkeni olarak kullanılmıştır. Analizde önce tanımlayıcı istatistikler ve Pearson korelasyonları incelenmiş, ardından değişkenler arasındaki çoklu doğrusal bağlantı Variance Inflation Factor (VIF) değerleriyle değerlendirilmiştir. Dijital ödeme kullanımı ile hesap sahipliği arasındaki yüksek korelasyon nedeniyle bu iki değişken aynı modelde birlikte kullanılmamış ve iki ayrı OLS modeli tahmin edilmiştir. Değişen varyans sorununun belirlenmesi üzerine modeller heteroskedastisiteye dayanıklı standart hatalarla tahmin edilmiştir. Ayrıca Cook's distance ölçütü kullanılarak etkili gözlemlere yönelik duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bulgular, dijital ödeme kullanımının resmi tasarrufla pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir ($\beta=0,497$; $p<0,001$). Hesap sahipliği de resmi tasarrufla pozitif ve anlamlı ilişkilidir ($\beta=0,424$; $p<0,001$). Resmi borçlanma ise her iki modelde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Duyarlılık analizleri temel bulguları desteklemiştir. Elde edilen sonuçlar, resmi tasarrufun hem finansal erişim hem de dijital finansal hizmetlerin fiili kullanımıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Çalışma, güncel Global Findex verileri kullanarak dijital ödeme kullanımı ve hesap sahipliğini ayrı modeller üzerinden resmi tasarrufla ilişkilendirmesi bakımından literatüre güncel, açık ve karşılaştırmalı bir katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, tek bir yıla ait ülke düzeyindeki yatay kesit verilere dayanılması nedeniyle sonuçlar nedensel etkiler olarak değil, 2024 yılı itibarıyla ülkeler arasında gözlenen istatistiksel ilişkiler olarak yorumlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijital Finans, Dijital Ödeme, Resmi Tasarruf, Finansal Kapsayıcılık, Global Findex

THE RELATIONSHIP BETWEEN DIGITAL FINANCE USAGE AND FORMAL SAVING BEHAVIOR: AN INTERNATIONAL ANALYSIS

Abstract

This study examines the relationship between digital finance usage and formal saving behavior at the country level using 2024 data from the World Bank's Global Findex Database 2025. The sample consists of 98 economies with complete data for all indicators used in the study, excluding aggregated observations for regions and income groups. Formal saving is treated as the dependent variable, while digital payment usage is the main explanatory variable and account ownership is an alternative explanatory variable representing financial access. Formal borrowing is included as a control variable in both models. The analysis begins with descriptive statistics and Pearson correlations, followed by an assessment of multicollinearity using variance inflation factor (VIF) values. Because digital payment usage and account ownership are highly correlated, these variables are not included simultaneously and are estimated in two separate OLS models. After heteroskedasticity is detected, the models are estimated using heteroskedasticity-robust standard errors. A Cook's distance-based sensitivity analysis is also conducted to assess the influence of potentially influential observations. The findings show that digital payment usage is positively and statistically significantly associated with formal saving ($\beta = 0.497$; $p < 0.001$). Account ownership is also positively and significantly associated with formal saving ($\beta = 0.424$; $p < 0.001$). Formal borrowing is not statistically significant in either model. Sensitivity analyses support the main findings. Overall, the results indicate that formal saving is associated with both financial access and the actual use of digital financial services. By using Global Findex data and examining digital payment usage and account ownership in separate specifications, the study contributes to the literature on digital finance, financial inclusion, and saving behavior. However, since the analysis relies on country-level cross-sectional data for a single year, the results are interpreted as statistical associations across economies rather than causal effects.

Keywords: Digital Finance, Digital Payments, Formal Saving, Financial Inclusion, Global Findex

1. GİRİŞ

Dijital teknolojilerin finansal hizmetlere entegrasyonu, bireylerin hesap açma, ödeme yapma, para transfer etme, tasarruf etme ve borçlanma biçimlerini dönüştürmüştür; özellikle mobil cihazlar ve dijital ödeme altyapıları finansal hizmetlerin kullanım alanını genişletmiştir. Finansal kapsayıcılık literatüründe bu dönüşüm yalnızca erişim değil, mevcut hesap ve araçların fiili kullanımı bakımından da ele alınmaktadır. Global Findex gibi talep yönlü veri setleri bu erişim ve kullanım davranışlarını ülkeler arasında karşılaştırmaya imkân vermektedir (Demir vd., 2022; Klapper vd., 2025).

Finansal sisteme erişim tek başına aktif finansal davranış anlamına gelmediğinden, hesap sahipliği ile kullanım göstergelerinin ayrıştırılması önemlidir. Bu çalışmada dijital ödeme kullanımı aktif kullanım boyutunu, hesap sahipliği ise erişim boyutunu temsil etmektedir. Tasarruf davranışı ise işlem maliyetleri, güven, bilgi eksikliği, sosyal kısıtlar ve davranışsal önyargılardan etkilenebilmektedir (Karlan vd., 2014); dijital finans bu kısıtların bir bölümünü azaltabilse de ilişkinin büyüklüğü ülke ve kullanıcı özelliklerine göre farklılaşabilir.

Global Findex Database 2025, 2024 yılında 141 ekonomide yaklaşık 145 bin yetişkinle gerçekleştirilen ulusal temsilli anketlere dayanmaktadır (Klapper vd., 2025). Rapor, düşük ve orta gelirli ekonomilerde resmi tasarrufun 2021'e göre arttığını ve dijital ödeme kanallarının finansal hizmet kullanımında daha merkezi hâle geldiğini göstermektedir. Bu güncel veri seti, dijital ödeme kullanımı ile resmi tasarruf arasındaki güncel uluslararası ilişkinin ortak bir veri çerçevesinde incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Literatürde mobil bankacılık, mobil para ve dijital ödemelerin tasarruf ve finansal kapsayıcılıkla ilişkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunsada araştırmaların önemli bir bölümü belirli ülke veya bölgelere, birey düzeyi verilere ya da Global Findex'in önceki yıllara ait veri setlerine dayanmaktadır. Bu nedenle 2024 verileriyle kullanım ve erişim boyutlarının resmi tasarrufla ülke düzeyindeki ilişkisinin incelenmesi güncel bir karşılaştırma sunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, 2024 Global Findex verilerini kullanarak dijital ödeme kullanımı ile resmi tasarruf arasındaki ilişkiyi uluslararası düzeyde incelemektir. Resmi tasarruf bağımlı değişken, dijital ödeme kullanımı temel açıklayıcı değişken; hesap sahipliği ise erişim boyutunu temsil eden alternatif açıklayıcı değişken olarak ele alınmaktadır. Tek dönemli yatay kesit yapı nedeniyle bulgular nedensel etkiler olarak değil, ülkeler arasındaki istatistiksel ilişkiler olarak yorumlanmaktadır.

1.1. Kuramsal Çerçeve ve Literatür Özeti

Dijital finans; ödeme, para transferi, tasarruf ve kredi gibi işlemlerin fiziksel şubelere bağımlı olmadan yürütülmesini kolaylaştırarak finansal hizmetlere erişim ve kullanımı genişletebilmektedir. Ozili (2018), dijital finansın erişimi kolaylaştırma, işlem maliyetlerini azaltma ve özellikle gelişmekte olan ekonomilerde finansal kapsayıcılığı destekleme potansiyeline dikkat çekmektedir; ancak erişim, kullanılabilirlik ve fiilî kullanım arasındaki farkların tamamen ortadan kalkmadığını da vurgulamaktadır.

Tasarruf açısından erişim kadar kullanım boyutu da önemlidir. Dijital kanallar işlem ve mesafe maliyetlerini azaltarak tasarruf işlemlerini kolaylaştırabilir. Ahmad, Green ve Jiang (2020), finansal kapsayıcılığın erişim, kullanım, kalite ve etki gibi birbiriyle ilişkili boyutlar üzerinden ele alınabildiğini; mobil para sistemlerinin ödeme hızını artırma, işlem maliyetlerini azaltma ve resmi finansal sisteme giriş noktası oluşturma potansiyeline sahip olduğunu belirtmektedir.

Ouma, Odongo ve Were (2017), Kenya, Uganda, Malawi ve Zambia verilerini kullanarak mobil finansal hizmetler ile tasarruf mobilizasyonu arasındaki ilişkiyi incelemiş; Kenya için mobil finansal hizmet kullanımının hem tasarruf etme olasılığı hem de tasarruf edilen tutarla pozitif ve anlamlı ilişkili olduğunu göstermiştir. Loaba (2022) ise Global Findex 2017 verileriyle Batı Afrika'da mobil bankacılık kullanımının hem formel hem informal tasarruf olasılığını artırdığını ve formel tasarrufla ilişkinin daha belirgin olduğunu bulmuştur; seyahat ve işlem maliyetlerindeki azalma bu ilişki için olası açıklamalar arasında değerlendirilmiştir. Aron (2018), mobil paranın finansal kapsayıcılığı genişletme ve risk paylaşımını kolaylaştırma potansiyeline dikkat çekerken, tasarruf ve refah üzerindeki doğrudan kanıtların daha sınırlı olduğunu; seçim yanlılığı, ihmal edilen değişkenler ve nedenselliğin yönü gibi sorunların sonuçların yorumlanmasını güçleştirebildiğini vurgulamaktadır. Bu nedenle dijital finans-tasarruf ilişkisine ilişkin bulguların veri yapısı ve ekonometrik tasarım dikkate alınarak ihtiyatlı yorumlanması gerekmektedir.

Naito, Ismailov ve Kimaro (2021), Tanzania'da araç değişken yaklaşımıyla mobil para kullanımının mobil para hesaplarında tasarruf olasılığını artırırken hayvancılık gibi daha az likit tasarruf biçimlerini azaltabildiğini göstermiştir. Ky, Rugemintwari ve Sauviat (2021) ise genel örnekleme mobil para kullananlarla kullanmayanların formel veya informal mevduat araçlarına para yatırma eğilimleri arasında belirgin bir fark bulmamış, ancak bazı alt gruplarda mobil para kullanımının formel mevduat araçlarıyla pozitif ilişkili olabileceğini raporlamıştır. Her iki çalışma da ilişkinin tasarruf kanalına ve kullanıcı özelliklerine göre farklılaşabileceğine işaret etmektedir.

Türkiye özelinde Güz ve Poyraz (2024), Global Findex 2021 bireysel verileriyle dijital finansal kapsayıcılığın belirleyicilerini probit modelleriyle incelemiş ve cinsiyet, yaş, gelir ve eğitim gibi özelliklerin hesap sahipliği, mobil para hesabı, tasarruf ve borçlanma davranışlarıyla ilişkisini değerlendirmiştir. Demir vd. (2022) de Global Findex verilerini kullanarak fintech ve finansal kapsayıcılık ilişkisini uluslararası düzeyde inceleyen çalışmalar arasında yer almaktadır.

Aracil, Jung ve Melguizo (2025), 70 gelişmekte olan ülkeden yaklaşık 70 bin gözlemle mobil para kullanımının uygun kurumsal koşullar ve banka teknolojileriyle birlikte mevduat ve kredi temelli finansal hizmetlere geçişi destekleyebildiğini göstermektedir. Chilundo ve Vedogbeton (2026), Malawi, Tanzanya ve Uganda’da mobil para kullanımının tasarruf olasılığıyla pozitif ilişkisini korurken tasarruf kanallarının bileşimini değiştirebildiğini ve benimsemenin rastgele olmadığını vurgulamaktadır. Faysal ve Hasan (2026) ise ülkeler arası analizlerinde dijital ödeme sistemlerinin finansal kapsayıcılıkla pozitif ilişkili olduğunu, mobil ve internet bankacılığı sonuçlarının gelişmişlik düzeyine göre farklılaşabildiğini bildirmektedir.

1.1.1. Literatürün Genel Değerlendirmesi

Literatür genel olarak dijital finansal hizmetlerin erişimi genişletme, işlem maliyetlerini azaltma ve tasarruf kanallarına erişimi kolaylaştırma potansiyeline işaret etmektedir. Ouma vd. (2017) ve Loaba (2022) tasarrufla pozitif ilişkiler bildirirken, Naito vd. (2021) tasarruf portföyünün bileşiminin de değişebildiğini göstermektedir; Aron (2018) ise doğrudan tasarruf kanıtlarının daha sınırlı olduğunu ve yöntemsel ihtiyat gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışmaların büyük bölümü birey veya hanehalkı düzeyinde ve belirli ülke ya da bölgelere odaklanmakta; mobil para, mobil bankacılık ve dijital ödeme farklı göstergelerle ölçülmektedir. Ahmad vd. (2020) da bu literatürdeki veri ve yöntem çeşitliliğine dikkat çekmektedir.

1.1.2. Literatürdeki Boşluk ve Çalışmanın Katkısı

Bu çalışma literatürü üç açıdan tamamlamaktadır. İlk olarak, Global Findex 2025’in 2024 verileriyle dijital ödeme kullanımı ile resmi tasarruf arasındaki ilişkiyi 98 ekonomiden oluşan güncel bir uluslararası örnekleme incelemektedir. İkinci olarak, finansal kullanım boyutunu temsil eden DIGITALPAY ile erişim boyutunu temsil eden ACCOUNT, aralarındaki yüksek korelasyon nedeniyle alternatif model spesifikasyonlarında ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Üçüncü olarak, ana tahminler heteroskedastisiteye dayanıklı standart hatalarla raporlanmakta ve Cook’s distance temelli duyarlılık analiziyle etkili gözlemlere karşı sağlamlık incelenmektedir. Çalışmanın amacı nedensel etki tahmin etmek değil, ülkeler arasındaki güncel istatistiksel ilişkileri değerlendirmektir.

2. YÖNTEM

2.1. Veri Seti ve Değişkenler

Çalışmada veri kaynağı olarak Dünya Bankası tarafından yayımlanan Global Findex Database 2025 kullanılmıştır. Global Findex, yetişkinlerin finansal hizmetlere erişimi ve bu hizmetleri kullanım biçimlerine ilişkin uluslararası karşılaştırılabilir göstergeler sunması nedeniyle tercih edilmiştir. Veri tabanı; hesap sahipliği, dijital ödemeler, tasarruf, borçlanma ve finansal dayanıklılık gibi finansal kapsayıcılığın temel boyutlarını ortak tanımlar altında ülke düzeyinde raporlamaktadır. Global Findex 2025 yaklaşık 145 bin yetişkinle 141 ekonomide 2024 yılının ikinci yarısında gerçekleştirilen ulusal temsilli anketlere dayanmaktadır (Klapper vd., 2025). Bu nedenle çalışmada veri tabanının mevcut en güncel gözlem yılı olan 2024 yılı kullanılmıştır.

Çalışmanın örnekleme, analizde kullanılan değişkenlerin tamamına ilişkin ortak verisi bulunan 98 ekonomiden oluşmaktadır. Analize yalnızca ülke düzeyindeki gözlemler dahil edilmiş; bölgesel ve gelir gruplarına ait toplulaştırılmış veriler örneklem dışında bırakılmıştır. Analizde kullanılan göstergeler 15 yaş ve üzeri yetişkinlerin yüzdesi olarak ölçülmektedir.

Tablo 1. Değişkenlerin tanımları

Kısaltma	Türkçe Değişken Adı	Açıklama
SAVING	Resmi Tasarruf	Banka/benzeri finansal kuruluş veya mobil para hesabı aracılığıyla tasarruf eden yetişkinlerin oranı
DIGITALPAY	Dijital Ödeme Kullanımı	Dijital ödeme yapan veya alan yetişkinlerin oranı
ACCOUNT	Hesap Sahipliği	Finansal kuruluş veya mobil para hesabına sahip yetişkinlerin oranı
FORMALBORROW	Resmi Borçlanma	Resmi finansal kaynaklardan borçlanan yetişkinlerin oranı

Not: Tüm değişkenler 15 yaş ve üzeri yetişkinlerin yüzdesi olarak ölçülmektedir. Kaynak: World Bank Global Findex Database 2025.

2.2. Ekonometrik Yöntem

Çalışma 2024 yılına ait ülke düzeyindeki verileri kullandığından analiz yatay kesit yapısındadır. Dijital finans kullanımı ile resmi tasarruf arasındaki ilişki En Küçük Kareler (OLS) yöntemiyle incelenmiştir. Analiz öncesinde değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmış ve değişkenler arasındaki doğrusal ilişkilerin belirlenmesi amacıyla Pearson korelasyon katsayıları incelenmiştir.

Korelasyon analizi sonucunda DIGITALPAY ile ACCOUNT arasında oldukça yüksek düzeyde pozitif ilişki tespit edilmiştir ($r=0,933$; $p<0,01$). Her iki değişkenin aynı regresyon modeline birlikte dâhil edildiği ön

tahminde VIF değerleri DIGITALPAY için 8,38, ACCOUNT için 7,77 olarak hesaplanmıştır. Çoklu doğrusal bağlantının değerlendirilmesinde VIF kullanılmıştır. O'Brien (2007), VIF değerlerinin tek başına mekanik eşiklere göre yorumlanmaması ve model bağlamı ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu nedenle yüksek ikili korelasyon ve ön model VIF değerleri birlikte dikkate alınmış, DIGITALPAY ve ACCOUNT aynı nihai modelde kullanılmamış ve iki ayrı model spesifikasyonunda değerlendirilmiştir.

Model 1'de dijital ödeme kullanımı, Model 2'de hesap sahipliği temel açıklayıcı değişken olarak yer almakta; FORMALBORROW ise her iki modelde kontrol değişkeni olarak kullanılmaktadır. SAVING göstergesinin tanımı, banka veya benzeri finansal kuruluş hesabı ya da mobil para hesabı aracılığıyla gerçekleştirilen tasarrufu içerdiğinden, ACCOUNT ile SAVING arasında kavramsal bir yakınlık bulunmaktadır. Bu nedenle Model 2, bağımsız bir nedensel mekanizmanın tahmini olarak değil, finansal erişim boyutuna ilişkin tamamlayıcı bir karşılaştırma modeli olarak değerlendirilmektedir. Modeller aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$SAVING_i = \beta_0 + \beta_1 DIGITALPAY_i + \beta_2 FORMALBORROW_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$SAVING_i = \beta_0 + \beta_1 ACCOUNT_i + \beta_2 FORMALBORROW_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

Model tanımlamasında değişen varyans problemi Breusch–Pagan/Cook–Weisberg testiyle değerlendirilmiştir (Breusch ve Pagan, 1979). Her iki modelde heteroskedastisite tespit edildiğinden, nihai regresyon sonuçları heteroskedastisiteye dayanıklı standart hatalarla raporlanmıştır. Bu yaklaşım, hata varyansının sabit olmadığı koşullarda katsayı tahminleri değişmeden standart hata ve çıkarımların daha güvenilir biçimde elde edilmesine imkân vermektedir (White, 1980).

Fonksiyonel biçim ve olası spesifikasyon sorunları Ramsey RESET testiyle değerlendirilmiştir (Ramsey, 1969). Ayrıca etkili gözlemlerin regresyon sonuçlarını sürükleyip sürüklediğini incelemek amacıyla Cook's distance değerleri hesaplanmıştır (Cook, 2000). Duyarlılık analizinde 4/N değeri yaygın kullanılan pratik bir inceleme eşiği olarak benimsenmiş; bu eşiği aşan gözlemler ana örneklemde kalıcı olarak çıkarılmamış, yalnızca duyarlılık analizi amacıyla geçici olarak dışlanmıştır. Tüm istatistiksel ve ekonometrik analizler Stata 17 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Tanımlayıcı İstatistikler

Tablo 2. Tanımlayıcı istatistikler

Değişken	N	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
SAVING	98	26,918	13,778	3,159	67,198
DIGITALPAY	98	51,879	20,606	12,265	94,905
ACCOUNT	98	60,560	19,910	14,827	98,279
FORMALBORROW	98	16,255	9,408	1,367	46,922

Not: Değişkenler yüzde (%) cinsindendir.

Tanımlayıcı istatistiklere göre 98 ekonomide resmi tasarruf oranının ortalaması %26,92, dijital ödeme kullanımının ortalaması %51,88, hesap sahipliğinin ortalaması %60,56 ve resmi borçlanmanın ortalaması %16,26'dır. Minimum ve maksimum değerler arasındaki farklılıklar, ülkeler arasında finansal erişim ve kullanım göstergeleri bakımından belirgin bir değişkenlik bulunduğunu göstermektedir.

3.2. Korelasyon Analizi

Tablo 3. Pearson korelasyon matrisi

Değişken	SAVING	DIGITALPAY	ACCOUNT	FORMALBORROW
SAVING	1,000			
DIGITALPAY	0,734***	1,000		
ACCOUNT	0,680***	0,933***	1,000	
FORMALBORROW	0,524***	0,722***	0,696***	1,000

*Not: *** $p < 0,01$.*

Korelasyon sonuçlarına göre SAVING ile DIGITALPAY arasında güçlü ve pozitif bir ilişki bulunmaktadır ($r=0,734$; $p<0,01$). SAVING ile ACCOUNT arasındaki ilişki de pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($r=0,680$; $p<0,01$). FORMALBORROW ile SAVING arasındaki korelasyon ise $r=0,524$ düzeyinde olup pozitif ve anlamlıdır. Bununla birlikte DIGITALPAY ile ACCOUNT arasında oldukça yüksek düzeyde pozitif korelasyon bulunmaktadır ($r=0,933$; $p<0,01$). Bu nedenle söz konusu iki değişkenin aynı regresyon modelinde birlikte kullanılması durumunda çoklu doğrusal bağlantı riski ayrıca değerlendirilmiştir.

3.3. Ön Model ve Çoklu Doğrusal Bağlantı Kontrolü

Tablo 4. Ön modelde çoklu doğrusal bağlantı kontrolü

Değişken	VIF
DIGITALPAY	8,38
ACCOUNT	7,77
FORMALBORROW	2,11
Ortalama VIF	6,09

DIGITALPAY ile ACCOUNT arasındaki yüksek korelasyonun yanı sıra, ön modelde bu değişkenlere ait VIF değerlerinin sırasıyla 8,38 ve 7,77 düzeyine yükseldiği görülmüştür. VIF değerlerinin mekanik eşiklere göre tek başına değerlendirilmesi uygun olmamakla birlikte, yüksek ikili korelasyon ile birlikte ele alındığında bu sonuçlar iki değişkenin aynı modelde kullanılmasının katsayı tahminlerinin kararlılığını olumsuz etkileyebileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle DIGITALPAY ve ACCOUNT nihai analizde ayrı model spesifikasyonlarında değerlendirilmiştir.

3.4. Regresyon Sonuçları

Tablo 5. OLS regresyon sonuçları

Değişken / İstatistik	Model 1	Model 2
DIGITALPAY	0,497***	—
Robust Std. Hata	0,061	—
ACCOUNT	—	0,424***
Robust Std. Hata	—	0,066
FORMALBORROW	-0,019	0,144
Robust Std. Hata	0,143	0,170
Sabit	1,439	-1,072
Robust Std. Hata	2,256	2,481
Gözlem Sayısı	98	98
R ²	0,5389	0,4679
F testi p-değeri	0,0000	0,0000

Not: *** $p < 0,01$. Standart hatalar heteroskedastisiteye dayanıklıdır.

Model 1 sonuçlarına göre DIGITALPAY katsayısı pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($\beta=0,497$; $p<0,001$). Buna göre dijital ödeme kullanım oranındaki 1 yüzde puanlık artış, diğer değişken sabitken, resmi tasarruf oranında yaklaşık 0,50 yüzde puanlık daha yüksek bir değerle ilişkilidir. FORMALBORROW katsayısı ise istatistiksel olarak anlamlı değildir ($\beta=-0,019$; $p=0,896$). Modelin açıklama gücü $R^2=0,5389$ düzeyindedir.

Model 2’de ACCOUNT katsayısı pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($\beta=0,424$; $p<0,001$). Buna göre hesap sahipliği oranındaki 1 yüzde puanlık artış, diğer değişken sabitken, resmi tasarruf oranında yaklaşık 0,42 yüzde puanlık daha yüksek bir değerle ilişkilidir. FORMALBORROW değişkeni bu modelde de

istatistiksel olarak anlamlı değildir ($\beta=0,144$; $p=0,399$). Modelin açıklama gücü $R^2=0,4679$ olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, dijital ödeme kullanımı ile hesap sahipliğinin ayrı ayrı ele alındığında resmi tasarrufla pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı biçimde ilişkili olduğunu göstermektedir.

3.5. Model Tanı Testleri

Tablo 6. Model tanı testleri

Test / Gösterge	Model 1	Model 2
Maksimum VIF	2,09	1,94
Breusch–Pagan/Cook–Weisberg χ^2	16,02	15,39
Breusch–Pagan/Cook–Weisberg p-değeri	0,0001	0,0001
Ramsey RESET F	0,87	0,07
Ramsey RESET p-değeri	0,4594	0,9778

Nihai modellerde maksimum VIF değerleri Model 1 için 2,09 ve Model 2 için 1,94 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, DIGITALPAY ve ACCOUNT'un ayrı modellerde değerlendirilmesi sonrasında çoklu doğrusal bağlantının belirgin bir sorun oluşturmadığını göstermektedir. Breusch–Pagan/Cook–Weisberg testinde her iki model için sabit varyans varsayımı reddedilmiş ($p=0,0001$) ve bu nedenle nihai tahminlerde heteroskedastisiteye dayanıklı standart hatalar kullanılmıştır. Ramsey RESET testi Model 1 için $F=0,87$ ($p=0,4594$), Model 2 için ise $F=0,07$ ($p=0,9778$) olarak elde edilmiştir. Buna göre her iki modelde de belirgin bir fonksiyonel biçim sorununa ilişkin istatistiksel kanıt elde edilmemiştir.

3.6. Etkili Gözlemler ve Sağlamlık Analizi

Tablo 7. Cook's Distance temelli sağlamlık analizi

Model / Temel Değişken	Ana Örneklem Katsayısı	Sağlamlık Katsayısı	Sağlamlık N	Sağlamlık R^2
Model 1 – DIGITALPAY	0,497***	0,523***	93	0,5695
Model 2 – ACCOUNT	0,424***	0,440***	93	0,4882

Not: *** $p<0,01$. Sağlamlık tahminlerinde ilgili model için $4/N$ eşliğini aşan gözlemler yalnızca duyarlılık amacıyla geçici olarak örneklem dışında bırakılmıştır.

Model 1'de etkili gözlemlerin geçici olarak dışlanması sonrasında DIGITALPAY katsayısı 0,523 olarak tahmin edilmiş ve pozitif yönü ile istatistiksel anlamlılığı korunmuştur ($p<0,001$). Model 2'de ACCOUNT katsayısı 0,440 olarak elde edilmiş ve yine pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı kalmıştır ($p<0,001$). Katsayıların ana örneklem tahminlerine yakın olması, temel bulguların belirli etkili gözlemlerin dışlanmasına karşı büyük ölçüde korunduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Global Findex Database 2025'in 2024 verileriyle dijital finans kullanımı ile resmi tasarruf arasındaki ilişkiyi 98 ekonomi için incelemiştir. Dijital ödeme kullanımı ve hesap sahipliği, aralarındaki yüksek korelasyon nedeniyle ayrı modellerde; resmi borçlanma ise kontrol değişkeni olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, dijital ödeme kullanımındaki 1 yüzde puanlık artışın, diğer değişken sabitken, resmi tasarruf oranında yaklaşık 0,50 yüzde puanlık daha yüksek bir değerle ilişkili olduğunu göstermektedir. Hesap sahipliğindeki 1 yüzde puanlık artış ise resmi tasarrufta yaklaşık 0,42 yüzde puanlık daha yüksek bir değerle ilişkilidir. Resmi borçlanma her iki modelde de istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış, duyarlılık analizlerinde temel katsayıların yönü ve anlamlılığı korunmuştur.

Elde edilen bulgular, dijital finansal hizmetlerin tasarruf ve finansal kapsayıcılıkla pozitif ilişkisini raporlayan çalışmalarla genel olarak uyumludur (Ouma vd., 2017; Loaba, 2022; Aracil vd., 2025; Faysal ve Hasan, 2026). Bununla birlikte, ilişkinin kullanıcı grupları ve tasarruf kanallarına göre farklılaşabildiğini gösteren bulgular da bulunmaktadır (Ky vd., 2021; Chilundo ve Vedogbeton, 2026). Bu nedenle mevcut sonuçlar literatürdeki genel eğilimle uyumlu olmakla birlikte, farklı veri setleri ve yöntemler nedeniyle doğrudan eşdeğer etkiler olarak değerlendirilmemelidir.

Bulgular, resmi tasarrufun hem finansal erişim hem de dijital finansal hizmetlerin fiili kullanımıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, dijital ödeme kullanımının tasarrufu doğrudan artırdığı sonucuna varılmamalıdır. Gelir düzeyi, finansal gelişmişlik, kurumsal yapı ve finansal okuryazarlık gibi ülkeye özgü özellikler hem dijital finans kullanımını hem de tasarruf davranışını etkileyebileceğinden, elde edilen katsayılar 2024 yılı itibarıyla ülkeler arasında gözlenen istatistiksel ilişkileri yansıtmaktadır.

Bulgular, finansal erişimin yanı sıra dijital finansal hizmetlerin aktif kullanımının da resmi tasarruf açısından birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu nedenle finansal kapsayıcılık politikalarında hesap erişiminin yanında dijital ödeme araçlarının güvenli, erişilebilir ve etkin kullanımının desteklenmesi önem taşımaktadır. Ancak çalışmanın yatay kesit yapısı nedeniyle bu değerlendirme nedensel bir politika etkisi olarak yorumlanmamalıdır.

Çalışmanın temel sınırlılıkları tek yıllık yatay kesit yapısı, sınırlı ülke düzeyi kontrol seti ve bazı ekonomilerde bütün finansal kullanım sorularının uygulanmamış olmasıdır. Gelecek çalışmalarda Global Findex'in farklı yıllara ait veri setleri birleştirilerek panel veri analizi yapılabilir. Ayrıca gelir, enflasyon, finansal gelişmişlik,

eğitim ve kurumsal kalite gibi kontrol değişkenleri ile gelir grubu ve bölge farklılıkları daha ayrıntılı biçimde incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, A. H., Green, C. ve Jiang, F. (2020). Mobile money, financial inclusion and development: A review with reference to African experience. *Journal of Economic Surveys*, 34(4), 753–792. <https://doi.org/10.1111/joes.12372>
- Aracil, E., Jung, J. ve Melguizo, A. (2025). Leveraging fintech mobile money to expand banks' financial services in developing countries. *Finance Research Letters*, 72, 106280. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106280>
- Aron, J. (2018). Mobile money and the economy: A review of the evidence. *The World Bank Research Observer*, 33(2), 135–188. <https://doi.org/10.1093/wbro/lky001>
- Breusch, T. S. ve Pagan, A. R. (1979). A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, 47(5), 1287–1294. <https://doi.org/10.2307/1911963>
- Chilundo, C. ve Vedogbeton, H. (2026). Fintech and savings in African countries: The case of mobile money. *Eastern Economic Journal*, 52, 590–612. <https://doi.org/10.1057/s41302-026-00339-7>
- Cook, R. D. (2000). Detection of influential observation in linear regression. *Technometrics*, 42(1), 65–68. <https://doi.org/10.1080/00401706.2000.10485981>
- Demir, A., Pesqué-Cela, V., Altunbas, Y. ve Murinde, V. (2022). Fintech, financial inclusion and income inequality: A quantile regression approach. *The European Journal of Finance*, 28(1), 86–107. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2020.1772335>
- Faysal, A. ve Hasan, F. (2026). The role of internet banking and digital payment on financial inclusion: Socioeconomic status as a moderator. *Review of Quantitative Finance and Accounting*. <https://doi.org/10.1007/s11156-026-01550-5>
- Güz, T. ve Poyraz, G. (2024). Digital financial inclusion and its determinants: Evidence from Türkiye. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 9(4), 700–714. <https://doi.org/10.30784/epfad.1517200>
- Karlan, D., Ratan, A. L. ve Zinman, J. (2014). Savings by and for the poor: A research review and agenda. *Review of Income and Wealth*, 60(1), 36–78. <https://doi.org/10.1111/roiw.12101>

- Klapper, L., Singer, D., Starita, L. ve Norris, A. (2025). *The Global Findex Database 2025: Connectivity and Financial Inclusion in the Digital Economy*. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-2204-9>
- Ky, S. S., Rugemintwari, C. ve Sauviat, A. (2021). Friends or foes? Mobile money interaction with formal and informal finance. *Telecommunications Policy*, 45, 102057. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102057>
- Loaba, S. (2022). The impact of mobile banking services on saving behavior in West Africa. *Global Finance Journal*, 53, 100620. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2021.100620>
- Naito, H., Ismailov, A. ve Kimaro, A. B. (2021). The effect of mobile money on borrowing and saving: Evidence from Tanzania. *World Development Perspectives*, 23, 100342. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2021.100342>
- O'Brien, R. M. (2007). A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Quality & Quantity*, 41, 673–690. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9018-6>
- Ouma, S. A., Odongo, T. M. ve Were, M. (2017). Mobile financial services and financial inclusion: Is it a boon for savings mobilization? *Review of Development Finance*, 7(1), 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.rdf.2017.01.001>
- Ozili, P. K. (2018). Impact of digital finance on financial inclusion and stability. *Borsa Istanbul Review*, 18(4), 329–340. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2017.12.003>
- Ramsey, J. B. (1969). Tests for specification errors in classical linear least-squares regression analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 31(2), 350–371. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1969.tb00796.x>
- White, H. (1980). A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4), 817–838. <https://doi.org/10.2307/1912934>
- World Bank. (2025). *The Global Findex Database 2025: Connectivity and Financial Inclusion in the Digital Economy* [Data set]. World Bank. <https://doi.org/10.48529/bk9n-8r43>

NATIONAL AI DATA GOVERNANCE, DATA TRUSTS AND SECURE AI EXCHANGE

DR. MUHAMMAD FAISAL

Allama Iqbal Open University, Islamabad, Pakistan

ORCID: 0000-0002-5797-766X

Abstract

AI performance depends heavily on high-quality data. Pakistan's AI transformation therefore requires an integrated approach to data governance, quality, interoperability, privacy and responsible sharing.

Pakistan's current policy landscape is already moving toward data governance, including the draft Data Governance Policy 2026 listed by the Ministry of IT & Telecom.

Policy Recommendation

Create a **National AI Data Governance and Data Trust Framework**.

Core Components

- national data classification;
- AI training-data standards;
- data quality standards;
- consent mechanisms;
- anonymization;
- secure data exchange;
- provenance;
- metadata standards;
- algorithmic access controls;
- data-sharing agreements.

AI Data Trusts

Sectoral data trusts could be created for:

- health;
- agriculture;
- education;
- climate;
- social protection;

- transport;
- economic statistics.

Policy Clause

Data used for the development, training, validation and operation of AI systems shall be subject to appropriate governance concerning legality, provenance, quality, security, privacy, access control and accountability.

National AI Data Exchange

Pakistan should develop secure mechanisms through which authorized institutions can exchange data without creating uncontrolled copies of sensitive datasets.

Expected Impact

This would enable responsible AI innovation while reducing duplication and improving data quality.

Conclusion

Pakistan's AI strategy should recognize **data as national digital infrastructure** and establish mechanisms that make high-quality data safely usable for public value.

ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARINDA LİTYUM-İYON BATARYALARIN SALGILADIĞI TOKSİK GAZ REJİMLERİ, SAHADAKİ CANLILAR ÜZERİNDEKİ BİYOLOJİK ETKİLERİ VE İLK MÜDAHALE EKİPLERİ İÇİN ZORUNLU SOLUNUM KORUMA PROTOKOLLERİ

Öğretim Görevlisi Erdem SOYLU

Gümüşhane Üniversitesi, Kürtün MYO, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı, Gümüşhane-Türkiye

Erdem.soylu@gumushane.edu.tr , ORCID: 0000-0002-9884-031X

Öğretim Görevlisi Emre Safa TENGİLİMOĞLU

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler MYO Sivil Savunma ve İtfaiyecilik

Programı ,Kütahya-Türkiye

emre.tengilimoglu@dpu.edu.tr , ORCID: 0000-0003-4051-8499

Özet

Elektrikli araçların (EV) küresel ölçekte yaygınlaşması, acil durum sahalarında karşılaşılan tehlike parametrelerini köklü bir dönüşüme uğratmıştır. İçten yanmalı motorlu (İYM) araç yangınlarından farklı olarak elektrikli araç yangınları; yüksek termal radyasyonun yanı sıra **son derece korozyif, toksik, kanserojen ve patlayıcı nitelikte gaz rejimleri** açığa çıkarır.

Bu bildiri; termal kaçak (*thermal runaway*) sürecinde oluşan gaz kokteyli, bu gazların sahadaki canlılar (kazazedeler, siviller, evcil/yaban hayvanlar) ve **112 Acil Sağlık, Emniyet/Jandarma, İtfaiye ve Arama-Kurtarma (AFAD) ekipleri** üzerindeki biyopatolojik yıkımlarını incelemektedir. Çalışmada, **Ali Şükrü Cihan'ın (2026)** elektrikli araç yangınlarındaki müdahale teknikleri ve emniyet esaslarına ilişkin tezi ve uluslararası standartlar (NFPA, CTIF, SAE) referans alınarak; Temiz Hava Solunum Cihazı (SCBA) ve KBRN tipi filtre kullanımının zorunlu kılındığı dinamik bir saha müdahale ve bölgeleme modeli sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Elektrikli araç, İtfaiye Teşkilatı, Afet Yönetimi, Kurtarma Ekipleri, Batarya

TOXIC GAS REGIMES EMITTED BY LITHIUM-ION BATTERIES IN ELECTRIC VEHICLE FIRES, BIOLOGICAL EFFECTS ON LIVING ORGANISMS IN THE VICINITY, AND MANDATORY PROTECTION PROTOCOLS FOR FIRST RESPONDERS

Abstract

The widespread adoption of electric vehicles (EVs) on a global scale has fundamentally transformed the hazard parameters encountered at emergency scenes. Unlike fires involving internal combustion engine (ICE) vehicles, EV fires release gas mixtures that are not only characterized by high thermal radiation but are also highly corrosive, toxic, carcinogenic, and explosive.

This paper examines the gas cocktail generated during the thermal runaway process and the biopathological damage these gases inflict on living beings at the scene—including accident victims, civilians, and domestic or wild animals—as well as on emergency response personnel (112 Emergency Health Services, Police/Gendarmerie, Fire Departments, and Search and Rescue teams). Drawing upon Ali Şükrü Cihan's (2026) thesis on intervention techniques and safety protocols for EV fires, as well as international standards (NFPA, CTIF, SAE), the study presents a dynamic field intervention and zoning model that mandates the use of Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA) and CBRN-grade filtration.

Keywords: Electric vehicle, Fire Department, Disaster management, Rescue teams, Battery

1. GİRİŞ

Geleneksel içten yanmalı motorlu araçların yerini hızla elektrikli araçların (EV) alması, acil durum sahalarındaki risk profilini köklü biçimde değiştirmiştir. Elektrikli araç yangınları; yüksek ısı salınımının yanı sıra **açığa çıkan kimyasal gazların aşırı derecede toksik, korozif ve patlayıcı niteliğiyle** klasik araç yangınlarından ayrılır (Cihan, 2026). Lityum-İyon (Li-ion) batarya hücreleri, termal kaçak (*thermal runaway*) sürecine girdiğinde kimyasal bozunmaya uğrayarak atmosfere ölümcül bir gaz kokteyli salar.

Bu durum; olay yerindeki kazazedeler, çevredeki siviller ve ilk müdahalede bulunan tüm ekipler (**İtfaiye, 112 Acil Sağlık, Emniyet/Jandarma ve AFAD/Kurtarma**) için ciddi bir biyolojik tehdit oluşturur. Bu bildiride, açığa çıkan toksik gaz rejimi, biyolojik yıkımları ve olay yerinde istisnasız uygulanması gereken emniyet tedbirleri ile Solunum Cihazı (SCBA/CABA) kullanım protokolleri incelenmiştir.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇ MÜDAHALELERİNDE ÖNE ÇIKAN BAŞLICA RİSKLER

A. Termal Kaçak (Thermal Runaway) ve Patlama Riski

Batarya hücrelerinin mekanik, elektriksel veya termal hasar görmesi sonucu meydana gelen kontrolsüz zincirleme ısı artışına "termal kaçak" denir (Cihan, 2026).

- **Yüksek Sıcaklık ve Jet Alevler:** Termal kaçak esnasında batarya sıcaklıkları süratle 800–1000 °C'nin üzerine çıkabilir ve yönlü "jet alevler" oluşturabilir.

Toksik Gaz Kokteyli (En Büyük Görünmez Tehlike)

Lityum-iyon bataryaların yanması veya alevsiz gaz salması (*off-gassing*) durumunda açığa çıkan gazlar ölümcüldür.

- **Hidrojen Florür (HF):** Renksizdir. Solunduğunda veya cilde temas ettiğinde suyla birleşerek *Hidroflorik Asite* dönüşür. Akciğerleri yakar, kan kalsiyumunu bağlayarak aniden kalp krizine neden olur.
- **Karbonmonoksit (CO) ve Hidrojen Siyanür (HCN):** Hücresel düzeyde doku boğulması yaratarak personeli saniyeler içinde pürüzsüz biçimde bayıltır.

- **Buhar Bulutu Patlamaları (Vapor Cloud Explosion):** Bataryadan sızan patlayıcı gazların birikmesi, aniden tutuşarak ikincil patlamalara yol açabilir.

B. Yüksek Voltaj ve Elektrik Çarpması (DC High-Voltage)

Elektrikli araçların batarya paketleri genellikle 400V - 800V DC (Doğru Akım) gerilim taşır (Cihan, 2026).

- Ekstrikasyon (araç içi kurtarma) operasyonlarında gövdeyi kesme/ayırma işlemleri sırasında turuncu renkli yüksek voltaj kablolarına müdahale edilmesi ölümcül elektrik çarpmalarına yol açabilir.
- Araç kapalı olsa dahi bataryada depolanan enerji "hapsolmuş enerji" (stranded energy) olarak kalmaya devam eder.

C. Sessiz Çalışma Tehdidi ve Yeniden Alevlenme

- **Sessiz Hareket Riski:** Elektrikli araçlar içten yanmalı motor sesi çıkarmadığı için motorun çalışır (READY) durumda olduğu fark edilmeyebilir. Yaralıya ulaşmaya çalışan ekipler, kazara gaz pedalına basılması sonucu aracın ansızın hareket etmesiyle ezilme riskiyle karşılaşabilir (Cihan, 2026).
- **Yeniden Alevlenme (Re-ignition):** Kimyasal reaksiyon batarya bloğu içinde devam edebildiği için, yangın tamamen söndürülmüş görüne bile saatler veya günler sonra araç yeniden alev alabilir (Cihan, 2026).

3. LİTYUM-İYON BATARYA YANGINLARINDA AÇIĞA ÇIKAN TOKSİK GAZ KOKTEYLİ VE BİYOLOJİK ETKİLERİ

Bataryadaki elektrolit çözücülerin ve lityum tuzlarının (\$LiPF_6\$) yanması veya yüksek ısı altında gaz salınımı (*off-gassing*) yapması sonucu aşağıdaki gazlar açığa çıkar (Cihan, 2026):

Gaz Türü	Kimyasal Formül	Biyolojik/Sağlık Etkisi ve Tehlike Düzeyi
Hidrojen Florür	HF	En Tehlikeli Gaz. Solunduğunda akciğer dokusunu tahrip ederek pulmoner ödem oluşturur. Nemle birleşerek <i>Hidroflorik Asite</i> dönüşür; ciltten emilerek kemik ve dokulardaki kalsiyumu bağlar, sistemik kalsiyum çökmesine ve ani kalp krizlerine yol açar.
Karbonmonoksit	CO	Kanda hemoglobine oksijenden 200 kat daha hızlı bağlanarak doku hipoksisine, hücresel boğulmaya ve kısa sürede bilinç kaybına neden olur.
Hidrojen Siyanür	HCN	Hücresel solunumu felç eden siyanür zehirlenmesine yol açar; merkezi sinir sistemi ve kalp üzerinde hızla öldürücü etki gösterir.
Akrilonitril ve Florlu Gazlar	\$C_3H_3N\$ / \$SPOF_3\$	Yüksek derecede kanserojen ve nörotoksiktir. Solunum yollarında kalıcı kimyasal yanıklar bırakır.

4. OLAĞANÜSTÜ RİSK: TEMİZ HAVA SOLUNUM CİHAZI (SCBA) OLMADAN MÜDAHALENİN SONUÇLARI

Saha operasyonlarında yapılan en büyük hata, dumanın yoğunluğuna bakarak "açık havadayız, zehirlenme olmaz" algısıyla maskesiz müdahalede bulunmaktır (Cihan, 2026).

A. Sahadaki Canlılar (Siviller ve Kazazedeler) İçin Riskler

- **Görünmez Tehlike:** Termal kaçak aşamasında alev çıkmadan hemen önce renksiz veya hafif beyazımsı bir gaz sızıntısı (*off-gassing*) yaşanır. Bu gaz yoğun biçimde HF ve CO içerir.
- **Kurtarma Sürecinde İkincil Zehirlenme:** Araç içinde sıkışmış yaralıları veya olayı izlemeye çalışan meraklı çevre halkı, birkaç nefeste bilincini kaybedebilir.
- **Rüzgar Etkisi:** Toksik gaz bulutu rüzgar yönünde yüzlerce metre ilerleyerek çevredeki insanları ve hayvanları dahi zehirlenme potansiyeline sahiptir.

B. 112 Acil Müdahale Ekipleri İçin Özel Tehlikeler

- **Emniyet ve Jandarma Ekipleri:** Olay yerine ilk varan polis/jandarma birimleri genellikle trafiği ve çevre güvenliğini sağlamak için araca yaklaşır. Normal cerrahi veya N95 maskeler **HF, CO veya HCN gazlarını süzemez**. Maskesiz veya yanlış maskeyle yaklaşan emniyet personeli saniyeler içinde kimyasal solunum şokuna girebilir.
- **112 Acil Sağlık Ekipleri:** Yaralıya ulaşmak için aracın yanına yaklaşan ambulans personeli, araç kapısı açıldığı anda kabin içine hapsolmuş toksik gaz kokteylini solur. Sağlık personelinin iş göremez hale gelmesi müdahale zincirini kırar.
- **İtfaiye ve Arama-Kurtarma Ekipleri:** Sadece duman altında değil, yangın söndürüldükten sonraki soğutma ve enkaz kaldırma aşamasında da batarya gaz salmaya devam eder. Temiz Hava Solunum Cihazını (SCBA) erken çıkaran itfaiye personeli kronik florür zehirlenmesine ve akut akciğer ödeme maruz kalabilir (Cihan, 2026).

5. SAHA İÇİN ZORUNLU KORUMA VE MÜDAHALE PROTOKOLLERİ

[SÖNDÜRME & KURTARMA BÖLGESİ] [MÜDAHALE BÖLGESİ] [GÜVENLİ BÖLGESİ]
(Sıcak Bölge / 0-30m) (Ilık Bölge / 30-100m) (Soğuk Bölge / 100m+)

- |-----|-----
- Sadece İtfaiye/Kurtarma
 - Sağlık ve Emniyet
 - Komuta Merkezi ve Çevre
 - ZORUNLU: SCBA (Pozitif Basıncılı)
 - ZORUNLU: KHK + CABA /
 - Rüzgar Üstü Konumlanma
 - Yanmaz / Asit Dirençli Elbise
 - Yarım Yüz CBRN Maskesi
 - Sivillerin Tahliyesi

1. **Sıcak Bölge ve SCBA Zorunluluğu:** Bataryaya 30 metre mesafe içerisindeki (Sıcak Bölge) tüm operasyonlarda **Pozitif Basıncılı Temiz Hava Solunum Cihazı (SCBA)** takılması **KESİNLİKLE ZORUNLUDUR** (Cihan, 2026). Hiçbir personel maskesiz sıcak bölgeye giremez.
2. **Emniyet ve Ambulans Ekipleri İçin Ekipman Standardı:** Tüm 112 Sağlık ve Emniyet araçlarında **CBRN (ABEK2P3 veya HF Tutucu Özel Filtreli) Respiratör Maskeler** bulundurulmalıdır.
3. **Güvenli Alan ve Rüzgar Yönetimi:** Tüm araçlar (Ambulans, Polis, İtfaiye) yangın veya kaza yerine **rüzgarı arkalarına alacak şekilde (Rüzgar Üstü)** en az 30-50 metre mesafede park etmeli; emniyet birimleri en az **100 metrelik** bir güvenlik şeridi oluşturmalıdır.
4. **Turuncu Kablo Kuralı ve Araç İzolasyonu:** Araç park konumuna alınmalı, akıllı anahtar araçtan en az 10-15 metre uzaklaştırılmalı ve turuncu kaplamalı yüksek voltaj kablolarına asla kesme/ezme müdahalesi yapılmamalıdır (Cihan, 2026).
5. **Dekontaminasyon (Arındırma) Protokolü:** SCBA veya özel kıyafet üzerindeki Hidroflorik Asit (HF) kalıntıları nedeniyle personel **olay yerinde kaba dekontaminasyondan (su ile yıkama)** geçmeden elbiselerini çıkarmamalı ve araç kabinlerine girmemelidir.

6. SONUÇ

Lityum-iyon batarya yangınları geleneksel bir yangın değil, **lokal bir kimyasal kaza ve zehirli gaz salınım olayıdır** (Cihan, 2026).

Bu doğrultuda:

1. **112 Acil Çağrı Merkezleri,** kaza ihbarında aracın EV/Hibrit olduğunu öğrendiği anda sahaya çıkan **tüm birimlere "Kimyasal Gaz Tehlikesi - SCBA/Maske Zorunluluğu"** uyarısını sistemden otomatik geçmelidir.

2. Emniyet ve Sağlık personeline lityum-iyon batarya toksikolojisi ve solunum koruma ekipmanı kullanımı konusunda **Müfreet Eğitimleri** zorunlu kılınmalıdır.
3. "Temiz Hava Solunum Cihazı (SCBA) Olmadan Elektrikli Araca Yaklaşılmaz" kuralı, tüm 112 kurumlarının ortak iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kuralı haline getirilmelidir.

7. KAYNAKÇA / REFERENCES

1. Cihan, A. Ş. (2026). *Elektrikli araç yangınlarında güvenlik önlemleri ve müdahale teknikleri* (Tez No. 995706) [Yüksek lisans tezi, Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
2. NFPA (National Fire Protection Association). (2020). *Emergency Response Guides for Electric and Hybrid Vehicles*. National Fire Protection Association, Quincy, MA.
3. IAFF (International Association of Fire Fighters). (2021). *Electric Vehicle & Energy Storage Systems Emergency Response Training*. IAFF Health, Safety and Medicine Division.
4. Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., & Mellander, B. E. (2017). Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Scientific Reports*, 7(1), 10023. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>
5. Sturchio, G. M., & Christopher, N. (2019). Hazards of lithium-ion battery fires: Firefighter health and safety considerations. *Journal of Emergency Medical Services (JEMS)*, 44(8), 24-29.
6. Sun, X. L., & Zhao, C. (2020). Gas evolution and toxicity mechanism of thermal runaway in lithium-ion batteries. *Journal of Hazardous Materials*, 398, 122825.
7. CTIF (International Association of Fire and Rescue Services). (2022). *Guidelines for Extrication and Firefighting in Electric and Hybrid Vehicles*. CTIF Commission for Extrication and New Technology.
8. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2022). *Endüstriyel Kazalar ve Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer (KBRN) Risk Yönetimi Kılavuzu*. AFAD Yayınları, Ankara.

GÖKDELEN YANGINLARINDA SABİT SULU BORU SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ VE HONG KONG 2025 WANG FUK COURT (WONK CUNK) YANGINI İNCELEMESİ

¹ Öğretim Görevlisi Emre Safa TENGİLİMOĞLU

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler MYO Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı ,Kütahya-Türkiye

emre.tengilimoglu@dpu.edu.tr ORCID: 0000-0003-4051-8499

²Öğretim Görevlisi Erdem SOYLU

Gümüşhane Üniversitesi,Kürtün MYO, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı,
Gümüşhane-Türkiye

erdem.soylu@gumushane.edu.tr ORCID: 0000-0002-9884-031X

Özet

Yüksek katlı yapılarda (gökdelenerde) meydana gelen yangınlar, yapısal yükseklik, karmaşık mimari ve dikey baca etkisi gibi faktörler nedeniyle itfaiye teşkilatları için son derece karmaşık operasyonel zorluklar barındırmaktadır. Bu tür yapılarda yangına müdahalede itfaiye hortumlarının alt katlardan dikey olarak üst katlara taşınması zaman ve güç kaybına yol açmaktadır. Bu noktada sabit sulu boru sistemleri (kuru ve ıslak dikey boru hatları ile yangın dolabı/bağlantı vanaları), suyu doğrudan üst katlara ileterek itfaiye ekiplerinin hızlı ve etkili müdahale yapmasını sağlayan kritik bir bina koruma unsurudur. Çalışmada, sabit sulu boru sistemlerinin tasarım prensipleri ve operasyonel önemi ele alınmış; 26 Kasım 2025 tarihinde Hong Kong'da meydana gelen ve Wang Fuk Court (Wonk Cunk) yerleşkesinde 160'tan fazla kişinin hayatını kaybetmesine yol açan felaket analitik olarak incelenmiştir. Olayda binaların dış cephe yenileme çalışmaları sırasındaki polistiren köpük kaplamalar, standart dışı koruyucu ağlar ve dış bambu iskele dikey yangın yayılımını hızlandırmıştır. Bununla birlikte iç koridorlardaki sabit hortum/vana sistemlerinin çalışmaması ve basınç yetersizliği müdahaleyi kısıtlamıştır. İnceleme sonucunda, sabit sulu boru sistemlerinin periyodik bakımı ile dış cephe tadilatlarında yanıcı malzeme kullanımının denetlenmesinin dikey yapılardaki can emniyeti açısından hayati olduğu gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Gökdelener yangınları, sabit sulu boru sistemleri, Wang Fuk Court yangını

Abstract

Fires occurring in high-rise buildings present extremely complex operational challenges for fire departments due to factors such as structural height, complex architecture, and vertical stack effects. In such structures, manually carrying fire hoses vertically from lower floors to upper levels leads to significant loss of time and stamina. At this point, fixed standpipe systems (dry and wet risers, fire hose connections) serve as critical building protection elements that deliver water directly to upper floors, enabling fire crews to initiate rapid and effective suppression operations. This paper examines the design principles and operational significance of standpipe systems, along with an analytical investigation of the tragedy that occurred on November 26, 2025, at the Wang Fuk Court complex in Hong Kong, which resulted in the loss of over 160 lives. In this incident, highly flammable expanded polystyrene boards, non-compliant safety netting, and external bamboo scaffolding used during exterior renovations accelerated vertical flame spread. Furthermore, operational failures and pressure deficiencies in the interior standpipe hose connections significantly restricted firefighting efforts. The study demonstrates that regular maintenance of fixed standpipe systems and strict regulation of combustible materials during façade renovations are vital for life safety in high-rise environments.

Keywords: High-rise fires, standpipe systems, Wang Fuk Court fire

1. GİRİŞ

Gelişen inşaat teknolojileri, artan kentleşme ve arazi maliyetleri nedeniyle dünya genelinde yüksek katlı yapılar ve gökdelenler hızla artmaktadır. Yapı yüksekliğinin artması, bu binalarda çıkabilecek yangınlara karşı geleneksel itfaiyecilik yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Standardize edilmiş itfaiye merdivenleri ve hidrolik platformlu araçlar ortalama 30 ila 55 metre (yaklaşık 10-15 kat) yüksekliğe kadar dışarıdan müdahale olanağı tanımaktadır. Bu sınırın üzerindeki katlarda meydana gelen yangınlarda dışarıdan su sıkılarak yangının söndürülmesi operasyonel olarak imkânsız hale gelmektedir.

Ülkemizde, yapı yüksekliği 51.50 m'den fazla olan binalar, yangın riski açısından çok yüksek bina olarak tanımlanmakta, son yıllarda 200 m'den fazla yükseklikte binalar gökdelen olarak isimlendirilmektedir. Çok yüksek binalarda oluşan yangınlar riskli olduğundan söndürme sistemlerinin etkili ve güvenli olması gerekir. Kuşkusuz en uygunu, sulu yangın söndürme sistemidir. Yüksek binaların sulu yangın söndürme sistemleri tasarımında; su depolarının yerlerinin ve pompaların basınçlarının belirlenerek basınç zonlaması yapılması önemlidir. Basınç zonlaması, binada bulunanların yangın dolaplarını kullanım kolaylığı, söndürme etkinliği ve itfaiyenin istenilen basınç ve debide su alabilmesi bakımından önemlidir. Yangın dolaplarındaki basınç limiti, bina sakinlerinin rahat kullanımı için küçük tutulurken diğer taraftan söndürmenin çabuk ve etkili olabilmesi için de belli bir değerin üzerinde olması istenir (Kılıç,2010).

Bu doğrultuda gökdelen yangınlarında temel strateji "**içeriden müdahale**" (**interior attack**) esaslarına dayanmaktadır. İtfaiye ekiplerinin bina içerisinden üst katlara ulaşması, yangın bölgesine su taşınması ve yangını kontrol altına alması hayati öneme sahiptir. Ancak personelin onlarca kat yukarıya ağır yangın hortumlarını, koruyucu ekipmanları ve müdahale malzemelerini bedensel güçle taşınması hem kritik sürelerin kaybedilmesine hem de personelin müdahaleye başlamadan fiziki olarak tükenmesine yol açar. Bu karmaşık problemin tek ve en etkili çözümü, bina bünyesinde tasarlanmış olan **sabit sulu boru sistemleridir (standpipe systems)**.

2. SABİT SULU BORU SİSTEMLERİNİN TEKNİK YAPISI VE OPERASYONEL ÖNEMİ

2.1. Sabit Sulu Boru Sistemlerinin Sınıflandırılması

Gökdelenlerde kullanılan sabit dikey boru sistemleri uluslararası standartlara (NFPA 14, EN 12845 vb.) ve ulusal yangın yönetmeliklerine göre temel olarak üç ana sınıfa ayrılır:

1. **Sınıf I Sistemler:** Yalnızca eğitilmiş itfaiye personelinin kullanımına yönelik tasarlanan, genellikle korunumlu yangın merdiven boşluklarında bulunan 2½ inç (65 mm) çapındaki vana ve hortum bağlantı noktalarıdır. Yüksek debi ve basınç sağlarlar.

2. **Sınıf II Sistemler:** Bina sakinlerinin itfaiye gelinceye kadar ilk müdahaleyi yapabilmeleri amacıyla tasarlanan, 1½ inç (38 mm) çapında hortum ve makaralardan oluşan yangın dolabı sistemleridir.
3. **Sınıf III Sistemler:** Hem bina sakinlerinin (Sınıf II) hem de itfaiye personelinin (Sınıf I) kullanımına uygun, kombine olarak tasarlanmış dikey boru hatlarıdır.

Teknik çalışma prensibine göre ise sistemler **Islak Boru (Wet Standpipe)** ve **Kuru Boru (Dry Standpipe)** olarak ikiye ayrılır. Islak boru sistemleri, binadaki yangın pompaları ve su depoları sayesinde sürekli olarak basınçlı su ile doludur. Kuru boru sistemlerinde ise boru hatları boştur; yangın anında itfaiye araçları binanın altındaki İtfaiye Su Alma Çıkışına (FDC - Fire Department Connection) bağlanarak hatta dışarıdan su basar.

2.2. İtfaiye Müdahalesindeki Kritik Faydaları

- **Lojistik ve Zaman Tasarrufu:** İtfaiyecilerin yangın katına dikey olarak yüzlerce metre hortum sermesi zorunluluğunu ortadan kaldırır. Ekipler sadece 2-3 boy hortum alarak yangın katının bir altındaki güvenli kattan (landing floor) sisteme bağlanır.
- **Hidrolik Basınç ve Debi Kararlılığı:** Yüksek yapılarda suyun dikey yükselmesi sırasında her 10 metrede yaklaşık 1 bar (0.1 MPa) yerçekimi hidrostatik basınç kaybı yaşanır. Sabit sistemlerde yer alan kat bölgeleme (zonlama) pompaları ve basınç düşürücü vanalar (PRV), üst katlarda dahi söndürme için gerekli olan standart basıncı (min. 4.5 - 7 bar) sabit tutar.
- **Güvenli Müdahale Noktaları (Köprü Başı Operasyonu):** Sulu boru vanaları genellikle duman sızdırmaz, basınca dayanıklı ve korunumlu kaçış merdiven kovalarında bulunur. İtfaiye ekipleri bu alanı bir "köprü başı" (bridgehead) olarak kullanarak duman ve ısıya maruz kalmadan hazırlıklarını tamamlar ve yangın katına geçiş yapar.

Modern kentleşme, nüfus yoğunluğu ve arazi maliyetlerindeki artış, dikey mimariyi zorunlu kılmış ve çok katlı/yüksek binaların sayısında küresel ölçekte belirgin bir artışa yol açmıştır. Ancak bu yapılar, yangın güvenliği ve itfaiye operasyonları açısından geleneksel alçak katlı binalardan köklü biçimde ayrılan dinamiklere sahiptir.

Yüksek binalarda yangın ortamını karmaşıklaştıran temel unsurlar şunlardır:

- **Termal Baca Etkisi:** Bina içi ve dışı arasındaki sıcaklık farklarından kaynaklanan basınç gradyanı; dikey şaftlar, asansör boşlukları ve merdiven boşlukları boyunca kontrolsüz duman ve sıcak gaz hareketini tetikler.

- **Rüzgâr Etkisi ve Dış Cephe Dinamikleri:** Üst katlardaki yüksek rüzgâr hızları, pencerelerin kırılmasıyla birlikte "rüzgâr güdümlü yangın" durumunu başlatarak alevleri koridorlara ve kaçış yollarına tehlikeli biçimde yönlendirebilir.
- **Tahliye Güçlükleri:** Kat sayısının ve kullanıcı yükünün fazlalığı, tam tahliye süresini uzatır; kaçış merdivenlerinde itfaiye ekipleri ile tahliye olan bina sakinlerinin çakışması operasyonel tıkanıklıklara yol açar.

3. VAKA ANALİZİ: HONG KONG 2025 WANG FUK COURT YANGINI

3.1. Olayın Gelişimi ve Genel Bilgiler

26 Kasım 2025 tarihinde Hong Kong'un Tai Po bölgesinde bulunan ve 1983 yılında inşa edilen 31 katlı 8 bloktan oluşan Wang Fuk Court toplu konut sitesinde Asya tarihinin en büyük dikey yapı felaketlerinden biri yaşanmıştır. Binaların dış cephe yenileme çalışmaları esnasında alt katlarda başlayan yangın, 44 saat 18 dakika boyunca devam etmiş ve 8 bloktan 7'sini tamamen yakarak kullanılamaz hale getirmiştir. Yangın sonucunda 1'i itfaiye eri olmak üzere 168 kişi hayatını kaybetmiş, 79 kişi yaralanmıştır.

3.2. Yangının Hızlı Yayılmasına Neden Olan Dış Tesisat ve Malzeme Faktörleri

İnceleme raporlarına göre yangının felakete dönüşmesindeki ana faktörler şunlardır:

1. **Yanıcı Dış Kaplamalar ve İskeleler:** Binaların tüm dış cephesi geleneksel bambu iskelelerle kaplanmış ve üzeri yeşil koruyucu ağlarla sarılmıştır. Kullanılan güvenlik ağlarının yangına dayanıklı (flame-retardant) olmaması alevlerin dikeyde hızla tırmanmasına neden olmuştur.
2. **Polistiren (Strafor) Köpük Kullanımı:** Cephe tadilatı sırasında pencereleri korumak ve toz girişini engellemek amacıyla daire ve asansör holü pencerelerine yapıştırılan genleşmiş polistiren (EPS) levhalar, yangın esnasında tutuşarak erimiş ve dikey birer yangın hızlandırıcısı (accelerant) görevi görmüştür.
3. **Baca Etkisi (Chimney Effect):** Dış cephe ağları ile bina duvarı arasında kalan boşluk, dikey yönlü güçlü bir hava akımı üreterek alevlerin dakikalar içinde 31. kata kadar ulaşmasına yol açmıştır.

3.3. Sabit Sulu Boru Sistemleri ve İç Tesisattaki Başarısızlıklar

Wang Fuk Court yangınında itfaiye müdahalesini felç eden ve can kaybını artıran en büyük etken, bina içi aktif yangın koruma sistemlerinin çalışmaması olmuştur:

- **Sistem Basıncının Düşmesi ve Su Kesintisi:** Yangının ilk aşamasında üst katlardaki dairelere müdahale etmek isteyen itfaiye ekipleri ve bina sakinleri, katlarda bulunan yangın dolapları ve sabit boru vanalarından (landing valves) yeterli basınçta su alamamıştır. Binalardaki ana yangın pompalarının devreye girmemesi veya dikey boru hattındaki hasarlar nedeniyle sistem basıncı sıfırlanmıştır.

- **Yangın Alarmlarının Devre Dışı Olması:** Tadilat esnasında toz nedeniyle yanlış alarm vermesini önlemek amacıyla tüm bloklardaki yangın ihbar ve alarm sistemlerinin kapatıldığı tespit edilmiştir. Bu durum bina sakinlerinin tahliyesini geciktirmiştir.
- **Operasyonel İmkânsızlıklar:** Sabit sulu boru sisteminden su temin edilememesi üzerine itfaiye ekipleri, dışarıdan merdiven boşluklarına yüksek basınca dayanıklı hortum hatları çekmek zorunda kalmıştır. Ancak dış cepheden düşen yanan bambu iskele parçaları, aşırı ısı ve dikey hortum ağırlığı nedeniyle müdahale saatlerce gecikmiştir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Hong Kong 2025 Wang Fuk Court yangını, gökdelenlerde yangın güvenliğinin sadece mimari tasarımla sınırlı olmadığını, bina ömrü boyunca aktif sistemlerin işlerliğinin hayati olduğunu acı bir şekilde göstermiştir.

Sabit sulu boru sistemleri, yüksek binalarda itfaiye teşkilatlarının "can damarı" niteliğindedir. Bu sistemlerin çalışmadığı bir gökdelen yangınında itfaiyenin başarılı olma şansı son derece düşüktür. Binalarda gerçekleştirilecek tadilat süreçlerinde; yangın pompalarının, dikey boru hatlarının ve vanaların kesinlikle devre dışı bırakılmaması, periyodik basınç/debi testlerinin akredite kurumlarca yapılması ve dış cephe çalışmalarında kesinlikle yanıcı malzeme kullanımına izin verilmemesi gerekmektedir.

Sabit Boru Sistemleri ve Taşınabilir Hortum Paketlerinin Entegrasyonu: Operasyonel Avantajları

Sabit boru sistemleri, yüksek katlı binaların atardamarlarıdır. Sulu boru sistemleri basınçlı suyu hatta hazır bekletir. Kuru boru sistemleri ise itfaiye arazözünden basılan suyu hedeflenen üst katlara taşır. Her iki altyapı da suyu yalnızca kat sahanlığına kadar ulaştırır. Yangının tam merkezine ilerlemek için taşınabilir hortum paketleri devreye girmek zorundadır. Binanın statik yangın altyapısı, itfaiyecinin dinamik donanımıyla tam bu noktada birleşir.

Yangın anındaki merdiven boşlukları tam bir kaos ortamıdır. Duman, paniğe kapılmış bina sakinleri, kısıtlı görüş mesafesi operasyonu zorlaştırır. Metrelerce uzayan açık bir hortumu merdivenlerden yukarı çekmeye çalışmak ciddi bir karmaşa yaratır. Geleneksel yöntemlerde hortumlar köşelere takılır, bükülür, personelin veya kaçan sivillerin ayağına dolanır. Taşınabilir paketler bu kaosu bıçak gibi keser. Hortum, omuzda veya sırtta kompakt bir kılıf içindedir. Personel engellere takılmadan ilerler. Eller tamamen serbest kalır. Müdahale ekibi yangın katındaki vanaya ulaşana kadar hortum açılmaz. Kritik tahliye yolları hortum yığınlarıyla tıkanmamış olur.

Müdahale sonrası aşama da yangının kendisi kadar yorucudur. Alevler söndürüldükten sonra su çekmiş, ağırlaşmış, islenmiş donanımın toplanması personeli tüketir. Geleneksel uzun hatları merdivenlerden aşağı sürüklemek hem donanıma zarar verir hem de ciddi zaman alır. Kat içi paket sistemleri toplanma aşamasını son derece basitleştirir. Vanadan su kesilir. Sadece ilgili kata serilmiş kısa hattın suyu hızla boşaltılır. Hortum olduğu yerde omuzda taşınacak formda rulo yapılır veya çanta kılıfına geri yerleştirilir. Islak, kaygan merdivenlerde donanım sürükleme çilesi biter. Personel, binayı sırtında düzenli bir çanta ile yorulmadan terk eder. Ekiplerin bir sonraki vakaya hazır hale gelme süresi minimuma iner.

KAYNAKÇA

- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) (2018). T.C. Resmi Gazete, Sayı: 26735, Ankara.
- Grimwood, P. (2009). Model SOP Standard Operating Procedure: Tactical Deployment into Fire Involved Structures.
- Grimwood, P. (2017). Euro Firefighter 2: Firefighting Tactics and Fire engineer's Handbook : 6,701 Building Fires. Huddersfield, West Yorkshire: D&M Heritage Press.
- Hu, L., Milke, J. A., & Merci, B. (2017). Special issue on fire safety of high-rise buildings. *Fire technology*, 53(1), 1-3.
- Hong Kong Fire Services Department (FSD) (2025). *Investigation Report on the 5-Alarm Fire at Wang Fuk Court, Tai Po*, Hong Kong Government Press.
- Wikipedia / News Reports (2025-2026). *Wang Fuk Court Fire Incident and Public Inquiry Summaries*, Tai Po District, Hong Kong.
- Lambert, K. (2018). Sabit Boru Sistemi. (http://cfbt-be.com/images/artikelen/artikel_41_TR.pdf)
- Lambert, K. (2018). The standpipe: Link prevention & fire fighting. (Kendrick De Backer, Çev.)
- NFPA 14 (2024). *Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems*, National Fire Protection Association, Quincy, MA.

YERALTI BARAJLARI PROJELERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İnş. Müh. Yaren ALTUNBAY¹/ Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK²

¹Keçiören Belediyesi, Fen İşleri Müd., yarenaltunbayy@gmail.com.tr, ORCID: 0009-0003-9589-929X

²Munzur Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., hilalarslanoglu@munzur.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8878-8984

Özet

Yeraltı barajları, yeraltı su kaynaklarının depolanması, korunması ve kontrollü şekilde kullanılmasına olanak sağlayan önemli su yapılarıdır. Buharlaşma kayıplarının düşük olması, su kalitesinin korunmasına katkı sağlaması ve kurak dönemlerde sürdürülebilir su teminine olanak sunması nedeniyle bu yapılar, iklim değişikliği ve artan su talebi karşısında alternatif su yönetimi çözümleri arasında değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, yeraltı barajı projelerinin planlama, inşaat ve işletme aşamalarında doğal çevre koşulları, yapım faaliyetleri ve çalışma ortamından kaynaklanan çeşitli tehlikeler ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada, yeraltı barajı ve yeraltı suyu depolama projelerinde karşılaşılabilecek ekstrem tehlikelerin ve iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında yeraltı barajlarının temel özellikleri, kullanım amaçları ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimindeki önemi ele alınmış; proje sahalarında karşılaşılabilecek başlıca riskler değerlendirilmiştir. Eğimli topoğrafya, yoğun yağış, ani yüzey akışları ve taşkınlar; heyelan, kaya düşmesi, zemin hareketleri ve ani su baskınları açısından önemli doğal tehlikeler olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca derin kazılar ve hendeklerde göçme ve şev stabilitesi sorunları, yüksek basınçlı enjeksiyon uygulamalarında ekipman ve basınç kaynaklı tehlikeler ile dar çalışma alanlarında ağır iş makinelerinin kullanımından kaynaklanan çarpma, sıkışma ve devrilme riskleri ele alınmıştır. Kontrol kuyuları, toplama odaları ve bakım galerileri gibi kapalı alanlarda ise yetersiz havalandırmaya bağlı oksijen eksikliği ve tehlikeli gazların birikmesi önemli risk unsurları olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, yeraltı barajı projelerinde güvenli ve sürdürülebilir bir çalışma ortamının sağlanabilmesi için proje öncesinden işletme aşamasına kadar kapsamlı risk değerlendirmelerinin yapılması, saha koşullarının sürekli izlenmesi, uygun mühendislik önlemlerinin alınması ve iş sağlığı ve güvenliği prosedürlerinin eksiksiz uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı barajı, iş sağlığı ve güvenliği, risk değerlendirmesi, taşkın, şev stabilitesi

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY RISKS IN UNDERGROUND DAM PROJECTS

Abstract

Underground dams are important water structures that enable the storage, protection, and controlled utilization of groundwater resources. Due to their low evaporation losses, contribution to water quality preservation, and potential to provide sustainable water supply during dry periods, these structures are considered alternative water management solutions in the context of climate change and increasing water demand. However, various hazards may arise during the planning, construction, and operation stages of underground dam projects due to natural environmental conditions, construction activities, and working environments. This study aims to evaluate the extreme hazards and occupational health and safety risks that may be encountered in underground dam and groundwater storage projects.

Within the scope of the study, the fundamental characteristics and purposes of underground dams, as well as their significance for the sustainable management of water resources, were examined, and the major risks that may arise at project sites were evaluated. Steep topography, intense precipitation, sudden surface runoff, and floods were identified as significant natural hazards associated with landslides, rockfalls, ground movements, and sudden inundation. In addition, collapse and slope stability problems in deep excavations and trenches, equipment- and pressure-related hazards during high-pressure grouting operations, and risks of impact, entrapment, and overturning associated with the use of heavy machinery in confined work areas were addressed. In confined spaces such as control wells, collection chambers, and maintenance galleries, oxygen deficiency and the accumulation of hazardous gases due to inadequate ventilation were also identified as significant risk factors.

In conclusion, ensuring a safe and sustainable working environment in underground dam projects requires comprehensive risk assessments from the pre-project planning stage through the operation phase, continuous monitoring of site conditions, implementation of appropriate engineering measures, and full compliance with occupational health and safety procedures.

Keywords: Underground dam, occupational health and safety, risk assessment, flood, slope stability

1. INTRODUCTION

Climate change, population growth, and increasing pressure on water resources have made the effective and sustainable management of water an important issue in contemporary engineering and environmental management. Changes in precipitation regimes and increasing hydrological uncertainties may intensify water scarcity in some regions, while making short-duration, high-intensity rainfall events and the associated flood risks more pronounced in others. These conditions necessitate not only the effective utilization of surface water resources but also the assessment of groundwater potential and the development of alternative water storage methods. In this context, underground dams have emerged as an alternative approach that enables the control and storage of groundwater flow by utilizing naturally occurring impermeable or low-permeability geological formations in the subsurface.

The primary objective of underground dams is to regulate groundwater flow through an appropriate subsurface structure, thereby enabling water to be stored within a designated area and utilized when required. Unlike conventional surface water storage structures, underground dams retain water below the ground surface, offering potential advantages such as reduced evaporation losses, limited impacts on land use, and improved availability of water resources during dry periods. However, the planning and construction of underground dams involve a wide range of technical activities, including the assessment of geological and hydrogeological conditions, excavation and structural works, water control and management, and the operation of heavy construction equipment. Each of these activities may expose workers at the project site to various occupational health and safety hazards, necessitating systematic identification and assessment of potential risks throughout the construction process.

2. UNDERGROUND DAMS

Water is indispensable for the survival and continuity of all living organisms. In addition to sustaining biological processes, water constitutes an important natural resource for energy production and therefore requires efficient and sustainable management. Conventional dams, which are structures constructed across rivers to impound and regulate water, provide a wide range of benefits, including the supply of drinking water, irrigation of agricultural land, regulation of river discharge, flood control, hydropower generation, and, in some cases, the development of recreational and green areas around reservoirs. Reservoirs may also contribute to inland water transportation where suitable conditions exist. However, despite these benefits, dam failures can result in substantial property damage and loss of life. Furthermore, conventional dam projects generally require

high initial investment costs and long construction periods (Güven and Aydemir, 2012). Hydroelectric power is also recognized as the most widely utilized renewable energy source worldwide (Kalinina et al., 2018).

Underground dams are water-retaining structures designed to facilitate the storage and controlled utilization of groundwater resources within riverbeds or alluvial aquifers. A schematic cross-section of an underground dam is presented in Figure 1.

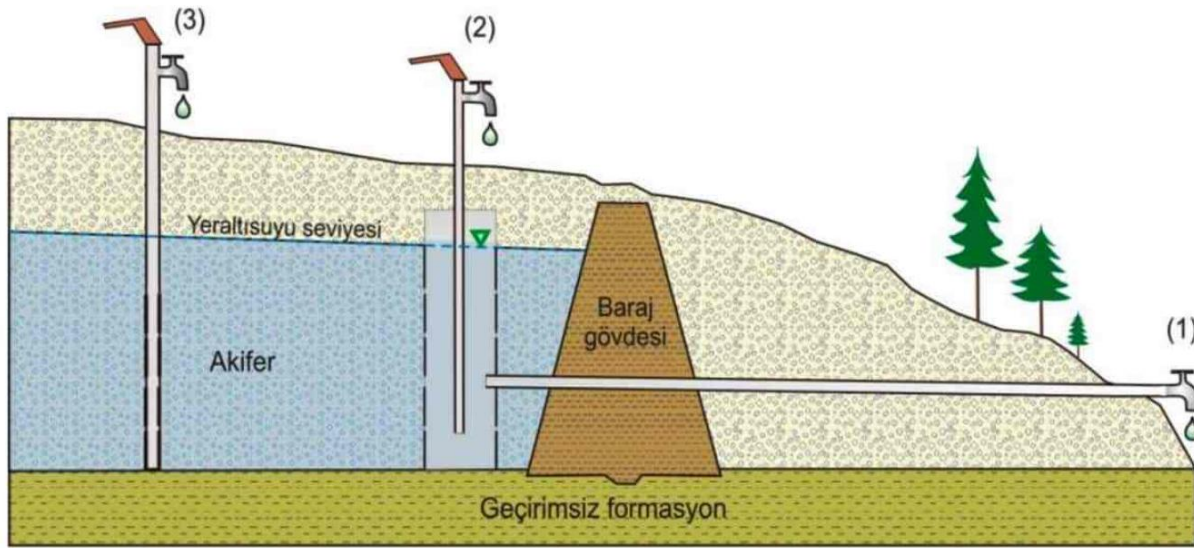


Figure 1. Schematic cross-section of an underground dam (URL-1, 2026)

These systems restrict groundwater flow to a certain extent, thereby promoting subsurface water retention and contributing to the replenishment and sustainable utilization of aquifers. One of the principal advantages of underground dams is the substantial reduction in evaporation losses achieved through subsurface water storage. In addition, because stored water is less exposed to external environmental conditions, underground storage can contribute to maintaining water quality and provide a reliable source of water supply, particularly during dry periods. As the sustainable management of groundwater resources has become increasingly important due to climate change, drought, and growing water demand, underground dams are being considered as a strategic alternative for improving water security.

In Türkiye, various underground water storage projects have been developed to support the protection and efficient utilization of groundwater resources. These applications are implemented primarily through projects carried out by the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ). In addition to contributing to the sustainable management of water resources, such projects can provide significant benefits for agricultural

irrigation, drinking water supply, and drought mitigation. All underground water storage projects implemented in Türkiye are subject to the technical criteria and requirements established by the Department of Geotechnical Services and Groundwater of DSİ.

Unlike surface dams, underground dams are characterized by the location of their reservoirs, structural bodies, and water intake structures beneath the ground surface. Accordingly, the type and design of the dam body may vary depending on the prevailing geological, hydrogeological, and structural conditions. Modern underground dam applications based on engineering principles have become increasingly widespread, particularly since the last quarter of the twentieth century. Traditional construction techniques, such as clay fill, concrete, and masonry blocks, have gradually been complemented by advanced methods, including grout curtains, secant pile systems, jet grouting columns, and plastic concrete applications (Apaydın, 2022).

In contrast to surface water storage structures, underground dams can substantially reduce certain land-use constraints by storing water below the ground surface. In conventional surface dams, the restriction of agricultural and residential activities within reservoir areas may lead to land acquisition requirements, relocation, land loss, and associated social and economic impacts. These impacts are generally less pronounced in underground dam applications. Furthermore, because the stored water is protected from direct exposure to atmospheric conditions, evaporation-related water losses can be considerably reduced. Where suitable geological and hydrogeological conditions are present, the potentially shorter construction period and lower construction costs of underground dams compared with surface dams may also constitute significant advantages.

Nevertheless, the planning and design of underground dams require more comprehensive and detailed investigations than those associated with conventional surface dams. While the storage capacity of surface reservoirs can be determined relatively easily using topographic data and streamflow measurements, underground dam projects require reliable assessment of the characteristics of the aquifer, the available groundwater volume, and groundwater recharge conditions. Therefore, geological and hydrogeological mapping, geophysical investigations, drilling activities, field and laboratory testing, and hydrological and hydrogeological analyses should be conducted in an integrated manner during the pre-construction stage. Consequently, realizing the economic and environmental benefits of underground dams depends largely on appropriate site selection and detailed hydrogeological characterization (Kaya, 2020).

3. OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN UNDERGROUND DAM PROJECTS

Underground dam project sites involve various technical and occupational health and safety (OHS) hazards due to both the characteristics of the natural environment and the nature of construction activities. The predominantly steep terrain of such sites can make slope stabilization during excavation and embankment operations more challenging and increase the potential for landslides. In addition, intense precipitation can increase surface runoff, resulting in water accumulation within excavation areas, reductions in soil strength, and deterioration of working conditions. Slippery and unstable ground conditions may restrict the safe movement of workers and construction machinery while increasing the likelihood of occupational accidents. Furthermore, the relatively confined nature of many underground dam construction sites can limit the movement of personnel and equipment, thereby increasing operational risks. The intensive use of heavy machinery during excavation, transportation, and filling operations also creates significant hazards, including collisions, crushing, overturning, and equipment-related accidents. Therefore, detailed assessment of site-specific conditions, periodic risk analyses, and the implementation of appropriate OHS measures are essential throughout underground dam construction projects.

Construction equipment and tools used on underground dam sites, including excavators, loaders, trucks, concrete pumps, compressors, and hand tools, require systematic inspection and effective control to ensure worker safety. The safe operation of such equipment depends not only on its technical condition but also on appropriate operating procedures, competent personnel, regular maintenance, and effective coordination within the construction site. In particular, interactions between workers and mobile machinery in confined working areas should be carefully managed to minimize the risk of collision, entrapment, and other equipment-related incidents.

Analyses concerning the safety and reliability of hydraulic structures indicate that failures and damage may arise from a wide range of technical, environmental, and operational factors. These include errors in design and analysis; inconsistencies or deficiencies between actual operating conditions and design models; insufficient geological, engineering, hydrological, climatic, industrial, and other relevant information; unreasonable deviations from design conditions; inadequate construction quality resulting from time constraints; the use of materials, equipment, or construction practices below the required quality standards; inappropriate modifications intended to reduce construction costs; non-compliance with construction standards and legal requirements; operation under adverse conditions; improper loading during operation; manufacturing and

service-related deficiencies; inadequate maintenance, repair, and protection; as well as aging, natural deterioration, and wear (Yenigün, 2001).

Accordingly, the systematic evaluation of the safety performance of both modern dams constructed using advanced engineering techniques and older structures built under more limited technical and economic conditions is of considerable importance. Identifying potential deficiencies and implementing appropriate preventive and corrective measures at an early stage can contribute significantly to reducing structural risks and preventing large-scale disasters (Efe and Önen, 2022). In this context, OHS management in underground dam projects should be integrated with structural safety, site management, construction quality, and emergency preparedness throughout the entire project lifecycle.

Ensuring occupational health and safety (OHS) in underground dam projects requires the integrated implementation of engineering controls, technological measures, and personal protective equipment (PPE). Within the scope of engineering controls, the use of bentonite slurry with an appropriate density during the construction of deep trenches for impermeable cut-off walls can help balance soil and groundwater pressures, maintain trench stability, and reduce the risk of collapse. In addition, hydraulic or mechanical steel shoring systems should be employed in deep excavation areas where worker access is required, providing effective protection against sudden failure of excavation walls. From a technological perspective, early warning systems established within the watershed and construction site can facilitate the early detection of sudden increases in water levels and enable timely evacuation. Furthermore, in confined spaces such as wells, galleries, and collection chambers, continuous monitoring of oxygen, carbon monoxide, hydrogen sulfide, and methane concentrations using multi-gas detectors is of critical importance. Appropriate rescue equipment and lifelines should also be readily available to support emergency rescue operations in such environments. Regarding PPE, personnel involved in high-pressure grouting and ground improvement activities should be equipped with high-impact-resistant face shields to protect against facial and ocular injuries. In areas where exposure to groundwater, mud, and slurry is frequent, safety footwear or boots with protective soles and toe protection should be provided. The integrated implementation of these measures plays a significant role in preventing occupational accidents and work-related diseases in underground dam projects (URL-2, 2026).

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Within the scope of this study, occupational health and safety risks that may arise in underground dam projects were systematically evaluated, the primary sources of risk were identified, and control measures for reducing

these risks were examined. The assessment indicated that the most critical hazards in such projects include sudden flooding, trench and excavation collapses, construction machinery-related accidents, gas accumulation in confined spaces, rockfalls, and slope instability. A common characteristic of these hazards is their potential to cause severe or fatal injuries within a short period and to directly threaten worker safety.

River rehabilitation and underground dam projects constitute complex working environments in which natural environmental conditions and engineering activities interact closely. Steep terrain, variable hydrological conditions, groundwater effects, confined workspaces, and intensive use of heavy construction equipment are among the principal characteristics distinguishing these projects from conventional construction activities. In addition, specialized construction operations, including deep excavations, impermeable cut-off wall construction, ground improvement, and confined-space work, introduce additional OHS risks. Accordingly, risk management in such projects should not be regarded solely as a legal obligation but rather as an essential component of successful project execution.

The assessment of engineering, organizational, and technological control measures demonstrated that substantial reductions in risk levels can be achieved through their effective implementation. In particular, excavation support systems, groundwater control measures, early warning systems, gas monitoring technologies, and safe work procedures can contribute to reducing high-risk conditions to more manageable levels. Although the complete elimination of all hazards may not always be feasible, the findings indicate that risks can be effectively controlled through a systematic and proactive risk management approach.

For future underground dam projects, the wider adoption of digital technologies and intelligent safety systems is recommended. In particular, Internet of Things (IoT)-based sensor technologies, wearable safety devices, and real-time monitoring systems may enable continuous tracking of worker locations, environmental conditions, and gas concentrations. Further academic research into the effects of these technologies on OHS performance could contribute to the development of safety practices and strengthen the safety culture within the construction sector.

In addition, the establishment of meteorological early warning systems and continuous monitoring of precipitation data should be considered important tools for managing sudden flood risks. Permit-to-work systems should be implemented for confined-space activities, atmospheric measurements should be conducted at regular intervals, and strict compliance with safe entry and exit procedures should be ensured. Ground conditions and slope stability in excavation areas should be periodically monitored, with additional support

systems implemented whenever necessary. Daily toolbox talks should also be conducted, while OHS training provided to all personnel should be renewed at regular intervals. As part of emergency preparedness, regular drills covering evacuation, rescue, and first-aid scenarios should be conducted, and the results should be evaluated and incorporated into continuous improvement processes.

In conclusion, ensuring occupational health and safety in underground dam projects requires the integrated application of technical control measures, effective risk management practices, worker training, and advanced safety technologies. Such an integrated approach can contribute not only to reducing occupational accidents and work-related diseases but also to the safe, sustainable, and efficient completion of underground dam projects.

5. KAYNAKLAR

Apaydın, A. 2022. Types of underground dams: an evaluation with examples from abroad and Türkiye, International Black Sea Modern Scientific Research Congress, September 29, 2022 - October 02, 2022 / Rize, pp. 39-45.

Efe, H., Önen, F., 2022. Failure analysis of Batman Dam and evaluation in terms of dam safety, DUJE (Dicle University Journal of Engineering) 13:3, 579-587

Güven, A., & Aydemir, A., 2012. Risk analysis software for dam safety. In *Proceedings of the 3rd National Symposium on Dam Safety with International Participation*, pp. 247–258.

Kalinina, K., Spada, M., Burgherr, P., 2018. Application of a Bayesian hierarchical modeling for risk assessment of accidents at hydropower dams, *SAfety Science*, V:110 PartA, 164-177.

Kaya, S., 2020. Application of direct current resistivity method for site selection of underground dams, Master's Thesis, Ankara University. Ankara, Türkiye, pp.49.

URL-1, <https://yenipencere.com/haberler/sermayenin-gozu-yeralti-barajlarinda-civan-kizilyaprak/>

URL-2, 2026. https://guvenliinsaat.csgeb.gov.tr/media/tyhp4rmm/kanal_kazi.pdf

Yenigün, K., 2001. Reliability In Dams And The Effects Of Spillway Dimensions On Risk Levels, *Master's Thesis*, stanbul Technical University, pp. 191.

YÜKSEK BASINÇLI CONDUİT SİSTEMLERİNDE HAVALANDIRMA VERİMİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ

Dr, Ufuk YÜKSELER ^{1/} Prof. Dr., Ömerul Faruk DURSUN²

¹İller Bankası A.Ş, Erzurum Bölge Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi, ufukyükseler12@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-7233-0821>

²İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, faruk.dursun@inonu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-3923-5205>

Özet

Yüksek basınçlı conduit sistemlerinde meydana gelen doğal hava emme mekanizması, hava-su temasını artırarak oksijen transferinin sağlanmasına olanak veren alternatif bir havalandırma yaklaşımıdır. Bununla birlikte literatürde geliştirilen tahmin ilişkileri çoğunlukla belirli deney düzenekleri ve sınırlı çalışma koşullarına dayanmaktadır.

Bu çalışmada, farklı deneysel araştırmalarda raporlanan conduit havalandırma verileri bütünleştirilerek hava-su etkileşiminin makine öğrenmesi yöntemleriyle modellenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Random Forest algoritmasına dayalı iki tahmin modeli geliştirilmiştir. Model 1'de Froude sayısı, geometrik oran ve conduit akım tipi kullanılarak havalandırma verimi (E20); Model 2'de ise Froude sayısı, kapak açıklığı, conduit uzunluğu ve kesit geometrisi kullanılarak hava talep oranı (Q_a/Q_w) tahmin edilmiştir. Test sonuçlarında Model 1 ve Model 2 için sırasıyla $R^2=0.938$ ve $R^2=0.886$ değerleri elde edilmiş, çapraz doğrulama sonuçları da modellerin kararlı tahmin performansını desteklemiştir. Değişken önem analizleri, Froude sayısının her iki modelde de en etkili parametre olduğunu ortaya koymuştur. Bulgular, conduit sistemlerinde hava emme ve havalandırma performansının hidrolik koşullar, hava talebi, havalandırma performansı ilişkisi içerisinde birlikte değerlendirilebileceğini göstermektedir. Sonuçlar, literatürdeki deneysel verilerin makine öğrenmesi ile bütünleştirilmesinin yüksek basınçlı conduitlerin farklı çalışma koşullarındaki performansının öngörülmesi için etkili bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Yüksek basınçlı conduit; havalandırma verimi; hava talep oranı; Froude sayısı; Random Forest; makine öğrenmesi

PREDICTION OF VENTILATION EFFICIENCY IN HIGH-PRESSURE CONDUIT SYSTEMS USING MACHINE LEARNING METHODS

Abstract

The natural air entrainment mechanism occurring in high-pressure conduit systems is an alternative aeration approach that enhances air–water interaction and enables oxygen transfer. However, the predictive relationships developed in the literature are generally based on specific experimental setups and limited operating conditions.

In this study, experimental conduit aeration data reported in different studies were integrated to model air–water interactions using machine learning methods. Within this framework, two prediction models based on the Random Forest algorithm were developed. In Model 1, the aeration efficiency (E_{20}) was predicted using the Froude number, a geometric ratio, and the conduit flow regime, whereas in Model 2, the air demand ratio (Q_a/Q_w) was predicted using the Froude number, gate opening, conduit length, and cross-sectional geometry. The test results yielded R^2 values of 0.938 and 0.886 for Model 1 and Model 2, respectively, while the cross-validation results further supported the stable predictive performance of the models. Variable importance analyses revealed that the Froude number was the most influential parameter in both models.

The findings indicate that air entrainment and aeration performance in conduit systems can be evaluated jointly within the framework of the relationships among hydraulic conditions, air demand, and aeration performance. The results demonstrate that integrating experimental data from the literature using machine learning provides an effective approach for predicting the performance of high-pressure conduits under different operating conditions.

Keywords: High-pressure conduit; aeration efficiency; air demand ratio; Froude number; Random Forest; machine learning

1. GİRİŞ

Hidrolik yapılarda hava-su etkileşimi, akımın hidrodinamik özelliklerini ve oksijen transfer kapasitesini doğrudan etkileyen önemli süreçlerden biridir. Özellikle yüksek hızlı akımların meydana geldiği kapalı conduit sistemlerinde, kapak mansabında oluşan düşük basınç bölgesi atmosferik havanın conduit içerisine çekilmesine neden olmakta ve sürüklenen hava, akım içerisinde çok sayıda kabarcık halinde taşınmaktadır. Bu mekanizma başlangıçta kavitasyon riskinin azaltılması ve kapak mansabındaki düşük basınç koşullarının kontrol edilmesi amacıyla ele alınmış olmakla birlikte, sonraki araştırmalar conduit içerisine alınan havanın yüksek bir hava-su temas alanı meydana getirerek oksijen transferini önemli ölçüde artırabildiğini ortaya koymuştur (Kalinske & Robertson, 1943; Campbell & Guyton, 1953; Sharma, 1976; Speerli & Hager, 2000; Oveson, 2008).

Conduitlerde hava girişinin belirlenmesine yönelik ilk çalışmalar ağırlıklı olarak hava talebi (air demand) ve iki fazlı hava-su akımının hidrolik özellikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Kalinske ve Robertson (1943), conduitlerde hava talebini hidrolik akım koşullarıyla ilişkilendiren öncü çalışmalardan birini gerçekleştirmiştir. Daha sonraki araştırmalarda hava talebinin yalnızca akım koşullarına bağlı olmadığı; kapak geometrisi, conduit kesiti, açıklık oranı, conduit uzunluğu ve havalandırma sisteminin geometrik özelliklerinin de hava girişini önemli ölçüde etkileyebildiği gösterilmiştir (Sharma, 1976; Speerli & Volkart, 1997; Speerli & Hager, 2000; Oveson, 2008). Özellikle kapak altında meydana gelen yüksek hızlı akım ve buna bağlı negatif basınç, atmosferden hava emilmesini sağlayan temel hidrolik mekanizma olarak tanımlanmaktadır.

Yüksek hızlı akımlarda hava sürüklenmesi yalnızca kapalı conduit sistemleriyle sınırlı değildir. Hidrolik sıçrama ve diğer yüksek türbülanslı serbest yüzeyli akımlarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, Froude sayısının hava sürüklenmesi üzerinde önemli bir kontrol parametresi olduğunu; bununla birlikte viskozite, yüzey gerilimi ve ölçek etkilerinin de hava-su etkileşiminin değerlendirilmesinde dikkate alınması gerektiğini göstermiştir (Chanson & Gualtieri, 2007; Chanson & Murzyn, 2008). Bu bulgular, conduit sistemlerinde hava girişinin yalnızca geometrik bir problem olmadığını, akımın dinamik özellikleriyle birlikte değerlendirilmesi gereken çok değişkenli bir süreç olduğunu göstermektedir.

Conduitlere alınan havanın su içerisinde kabarcıklar halinde dağılması, bu yapıların aynı zamanda etkili bir hidrolik havalandırıcı olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Su içerisinde oluşturulan çok sayıdaki hava kabarcığı gaz-sıvı temas yüzeyini artırmakta ve atmosferik oksijenin suya transferini hızlandırmaktadır. Bu nedenle daha sonraki conduit araştırmalarında hava talebinin belirlenmesinin yanı sıra oksijen transferi ve

havalandırma veriminin tahmini de önemli bir araştırma alanına dönüşmüştür. Ünsal vd. (2008, 2009), Özkan vd. (2010, 2014, 2015) ve Tuna vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, yüksek basınçlı kapaklı conduitlerin suyun havalandırılmasında kullanılabileceğini ve havalandırma performansının hidrolik ve geometrik parametrelerle yakından ilişkili olduğunu göstermiştir.

Bu alandaki önemli deneysel çalışmalardan birinde Tuna vd. (2014), yüksek basınçlı kapaklı dairesel conduitlerin havalandırma verimini incelemiş ve özellikle Froude sayısı ile su akım kesit alanının conduit kesit alanına oranının havalandırma verimi üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Conduit uzunluğunun etkisinin ise söz konusu parametrelere kıyasla daha sınırlı olduğu belirlenmiş ve deneysel sonuçlardan hareketle havalandırma veriminin tahminine yönelik bir tasarım bağıntısı geliştirilmiştir. Benzer şekilde Özkan vd. (2014), hava talep oranı ile havalandırma verimi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve havalandırma veriminin hava talep oranındaki artışla belirli bir seviyeye kadar yükseldiğini, ancak bu noktadan sonra ilave hava girişinin havalandırma veriminde anlamlı bir artış sağlamadığını belirlemiştir. Bu sonuç, maksimum havalandırma verimi açısından Froude sayısına bağlı optimum bir hava talep oranının bulunduğunu göstermiştir. Conduit sistemlerinin geometrik özellikleri de hava girişinin ve dolayısıyla havalandırma performansının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Baylar vd. (2010), serbest yüzeyli kapaklı dairesel conduitlerde conduit uzunluğunun hava talep oranı ve havalandırma verimi üzerindeki etkisini araştırırken, daha sonraki çalışmalar farklı conduit kesit geometrilerinin etkisini ele almıştır. Aydın vd. (2021), farklı kesit geometrilerine sahip yüksek basınçlı radyal kapaklı conduitlerde gerçekleştirdikleri deneylerde, özellikle düşük kapak açıklık oranlarında kesit geometrisinin hava talep oranı üzerinde önemli etkisinin bulunduğunu göstermiştir. Aynı çalışmada hava talep oranının Froude sayısı, kapak açıklık oranı ve kapak açıklığının conduit uzunluğuna oranı ile ilişkilendirilebildiği ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, conduitlerde hava girişinin ve havalandırma performansının Froude sayısı, hava-su debi oranı, kapak açıklığı, conduit uzunluğu ve kesit geometrisi gibi birbiriyle etkileşimli çok sayıda parametre tarafından kontrol edildiği görülmektedir. Yüksek basınçlı conduitlerin sahip olduğu bu doğal hava emme mekanizması, son yıllarda klasik su havalandırma uygulamalarının ötesinde farklı proselere de uyarlanmıştır. Şekerci ve Tuna (2020), conduit ile desteklenmiş bir flotasyon kolonunda hava giriş deliği çapının flotasyon performansı üzerindeki etkisini araştırmış ve conduit içerisinde meydana gelen negatif basınçtan yararlanılarak atmosferik havanın flotasyon kolonuna aktarılabilceğini göstermiştir. Bu yaklaşım, flotasyon prosesinde ihtiyaç duyulan hava

kabarcıklarının klasik kompresör sistemleri yerine hidrolik enerjiden yararlanılarak oluşturulabileceği düşüncesini ortaya koymuştur.

Bu yaklaşım Şekerci ve Tuna (2021) tarafından daha kapsamlı biçimde geliştirilmiş ve yüksek basınçlı conduit sistemi pilot ölçekli bir flotasyon hücre sine entegre edilmiştir. Araştırmada conduit açıklık oranı, hava giriş deliği uzunluğu, hava giriş deliği çapı ve su debisi gibi fiziksel ve hidrolik parametrelerin sisteme alınan hava miktarı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar, yüksek basınçlı conduit sisteminin flotasyon hücre sine önemli miktarda hava kabarcığı sağlayabildiğini ve özellikle hava giriş sisteminin geometrik özelliklerinin hava debisi üzerinde belirleyici olduğunu göstermiştir (Şekerci & Tuna, 2021). Araştırmacılar ayrıca hava-su debi oranının tahminine yönelik doğrusal olmayan bir bağıntı geliştirmiş ve gözlenen ve tahmin edilen değerler arasında anlamlı bir uyum elde etmiştir. Böylece conduitlerde uzun süredir incelenen hava emme ve oksijen transfer mekanizmasının flotasyon gibi farklı bir mühendislik prosesinde kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte mevcut literatürün önemli bir özelliği, geliştirilen ampirik veya yarı ampirik ilişkilerin çoğunlukla belirli bir deney düzeneğinde elde edilen veri setlerine dayanmasıdır. Kalinske ve Robertson (1943)'dan başlayarak Sharma (1976), Speerli ve Hager (2000), Oveson (2008), Ünsal vd. (2008, 2009), Özkan vd. (2014, 2015), Tuna vd. (2014), Şekerci ve Tuna (2020, 2021) ve Aydın vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar farklı conduit geometrileri, kapak açıklıkları, akım koşulları ve hava giriş düzeneklerini incelemiştir. Dolayısıyla literatürde önemli miktarda deneysel bilgi bulunmasına rağmen bu bilgi farklı araştırmalar arasında parçalı bir yapı göstermektedir. Bir çalışmada geliştirilen ampirik ilişkinin farklı geometri ve hidrolik koşullarda aynı performansı gösterip göstermeyeceği bu nedenle önemli bir belirsizlik oluşturmaktadır. Bu durum, conduit havalandırmasının modellenmesinde veri odaklı yöntemlerin kullanılabileceği önemli bir araştırma alanı ortaya çıkarmaktadır. Geleneksel ampirik bağıntılar çoğunlukla sınırlı sayıdaki bağımsız değişken arasında önceden belirlenen matematiksel ilişkiler kurulmasına dayanırken, makine öğrenmesi yöntemleri çok sayıda değişken arasındaki doğrusal olmayan ve karmaşık etkileşimleri doğrudan veriden öğrenebilmektedir. Özellikle Froude sayısı, hava-su debi oranı, conduit geometrisi, kapak açıklığı, conduit uzunluğu ve diğer hidrolik değişkenlerin eş zamanlı olarak havalandırma verimini etkilediği dikkate alındığında, makine öğrenmesi yöntemleri klasik ampirik modellere tamamlayıcı bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu çalışmanın temel hareket noktası, yıllarda yüksek basınçlı conduitlerde hava girişi, hava talebi, oksijen transferi ve havalandırma verimi üzerine gerçekleştirilen deneysel çalışmaların birbirinden bağımsız veri setleri

olarak değerlendirilmesi yerine, ortak bir veri havuzunda bütünleştirilmesidir. Bu doğrultuda literatürde yayımlanmış deneysel çalışmalardan elde edilebilen hidrolik ve geometrik parametrelerin standardize edilerek bütünleşik bir veri setinin oluşturulması ve havalandırma veriminin makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Farklı deneysel düzeneklerden elde edilmiş verilerin ortak bir model içerisinde değerlendirilmesiyle, yalnızca belirli bir laboratuvar sistemine özgü bağıntı geliştirmek yerine daha geniş hidrolik koşulları temsil edebilen genellenebilir bir tahmin yaklaşımının ortaya konulması hedeflenmektedir. Ayrıca farklı makine öğrenmesi modellerinin performanslarının karşılaştırılması ve değişken önem analizleri aracılığıyla yüksek basınçlı conduitlerde havalandırma verimini kontrol eden temel hidrolik ve geometrik parametrelerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. METODOLOJİ VE VERİ

2.1. Araştırma Yaklaşımı ve Veri Kaynakları

Bu çalışmada, yüksek basınçlı conduit sistemlerinde havalandırma performansının tahmin edilmesi amacıyla literatür tabanlı bütünleşik bir veri analizi yaklaşımı benimsenmiştir. Çalışmada yeni bir laboratuvar deneyi gerçekleştirilmesi yerine, literatürde yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı conduitlerde hava sürüklenmesi, hava talebi, oksijen transferi ve havalandırma veriminin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen deneysel araştırmalarda raporlanan sayısal veriler esas alınmıştır. Böylece farklı deney düzenekleri ve hidrolik koşullarda elde edilen deneysel gözlemlerin ortak bir veri yapısında birleştirilmesi ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak daha genellenebilir bir tahmin yaklaşımının geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Veri kaynaklarının belirlenmesinde çalışmaların doğrudan conduit sistemlerinde hava-su etkileşimini incelemesi, deneysel veri içermesi ve modelleme aşamasında kullanılabilecek en az bir hidrolik veya geometrik bağımsız değişken ile havalandırma performansını temsil eden bir çıktı değişkeni raporlaması temel seçim ölçütleri olarak benimsenmiştir. Bu doğrultuda yüksek basınçlı kapaklı conduitlerde hava sürüklenmesi ve oksijen transferini inceleyen Özkan vd. (2006), yüksek basınçlı conduit sistemlerinde havalandırma verimini araştıran Ünsal vd. (2008), serbest yüzeyli conduit sistemlerini ele alan Ünsal vd. (2009), yapay zekâ yöntemleriyle oksijen transfer verimini modelleyen Baylar ve Batan (2010), yüksek basınçlı kapaklı dairesel conduitlerde havalandırma verimini deneysel olarak inceleyen Tuna vd. (2014), optimum hava talep oranı ile havalandırma verimi arasındaki ilişkiyi araştıran Özkan vd. (2014), Genetic Expression Programming yaklaşımını kullanan Ünsal vd. (2014) ve conduit uzunluğunun hava talebi ve havalandırma verimi üzerindeki etkisini inceleyen Özkan vd. (2015) temel veri kaynakları olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca conduit kesit

geometrisinin hava talep oranına etkisini inceleyen Aydın vd. (2021) ile conduit tabanlı hava emme sisteminin flotasyon uygulamasını araştıran Şekerci ve Tuna (2020, 2021) çalışmaları, hava talebi ve geometrik parametrelerin değerlendirilmesinde tamamlayıcı veri kaynakları olarak ele alınmıştır.

Tablo 1. Bütünleşik veri setinin oluşturulmasında değerlendirilen deneysel ve veri-temelli conduit çalışmaları

Kaynak	Sistem/araştırma konusu	Potansiyel girdi değişkenleri	Temel çıktı	Veri setindeki kullanım amacı
Özkan vd. (2006)	High-head gated conduit	Hidrolik ve geometrik parametreler	Air entrainment, oxygen transfer	Oksijen transfer modeli
Ünsal vd. (2008)	High-head conduit flow	Froude sayısı ve akım parametreleri	Aeration efficiency	Ana havalandırma modeli
Ünsal vd. (2009)	Free-surface conduit flow	Hidrolik/geometrik parametreler	Aeration efficiency	Ana havalandırma modeli
Baylar & Batan (2010)	Free-flowing gated closed conduit	Hidrolik ve geometrik parametreler	Oxygen transfer efficiency	ML karşılaştırması ve veri kaynağı
Tuna vd. (2014)	High-head gated circular conduit	Fr, kesit alanı oranı, conduit uzunluğu	Aeration efficiency (E20)	Ana havalandırma modeli
Özkan vd. (2014)	High-head gated circular conduit	Fr, Q_a/Q_w	E20	Ana havalandırma modeli
Ünsal vd. (2014)	High-head/free-surface gated conduit	Hidrolik/geometrik parametreler	Oxygen transfer efficiency	Veri-temelli model karşılaştırması
Özkan vd. (2015)	Free-surface gated circular conduit	Fr, conduit uzunluğu, Q_a/Q_w	E20, Q_a/Q_w	Ana havalandırma ve hava talebi modelleri
Şekerci & Tuna (2020)	Conduit destekli flotasyon	Hava giriş çapı, debi, açıklık	Hava/kabarcık ve flotasyon performansı	Tamamlayıcı geometri analizi
Şekerci & Tuna (2021)	High-pressure conduit destekli flotasyon	Q_w , Fr, K, d, HL	Q_a , Q_a/Q_w	Hava talebi modeli
Aydın vd. (2021)	Farklı kesitli high-head conduit	Fr, açıklık oranı, L, kesit geometrisi	Q_a/Q_w	Hava talebi ve geometri modeli

2.2. Literatür Verilerinin Derlenmesi ve Standardizasyonu

Seçilen çalışmalarda sunulan deneysel gözlemler tablo, grafik ve deney sonuçlarından derlenerek ortak bir veri tabanında birleştirilmiştir. Farklı araştırmalarda kullanılan sembol, birim ve değişken tanımlamalarındaki farklılıklar veri ön işleme aşamasında standardize edilmiştir. Aynı fiziksel büyüklüğü temsil eden ancak farklı gösterimlerle verilen parametreler ortak değişkenler altında sınıflandırılmış; boyutlu değişkenler mümkün olduğu ölçüde boyutsuz parametreler kullanılarak ifade edilmiştir.

Bütünleşik veri tabanının oluşturulmasında özellikle Froude sayısı (Fr), hava-su debi oranı (Q_a/Q_w), kapak veya conduit açıklık oranı, conduit uzunluğu veya boyutsuz uzunluk oranı, su akım kesit alanının conduit kesit alanına oranı ve conduit kesit geometrisi üzerinde durulmuştur. Bu değişkenlerin seçilmesinin temel nedeni, önceki deneysel araştırmalarda havalandırma ve hava talebi üzerinde anlamlı etkilerinin raporlanmış olmasıdır. Ünsal vd. (2008) yüksek basınçlı conduitlerde havalandırma veriminin karakteristik Froude sayısı ile ilişkili olduğunu gösterirken, Tuna vd. (2014) Froude sayısının yanı sıra su akım kesit alanının conduit kesit alanına oranının havalandırma verimi üzerinde belirgin etkisini ortaya koymuştur. Özkan vd. (2014) ise havalandırma verimi ile hava talep oranı arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi belirlemiş ve maksimum havalandırma veriminin Froude sayısına bağlı optimum bir Q_a/Q_w değerinde meydana geldiğini göstermiştir. Özkan vd. (2015), conduit uzunluğunun etkisinin Froude sayısına bağlı olarak değiştiğini bildirirken, Aydın vd. (2021) kesit geometrisinin özellikle düşük kapak açıklıklarında hava talebi üzerinde önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Farklı deney düzeneklerinden elde edilen verilerin doğrudan birleştirilmesinden kaynaklanabilecek ölçek etkilerini azaltmak amacıyla mümkün olan durumlarda boyutsuz değişkenlere öncelik verilmiştir. Eksik değişken içeren gözlemler, ilgili modelin ihtiyaç duyduğu değişken setine göre değerlendirilmiş ve herhangi bir değer varsayımsal olarak tamamlanmasından kaçınılmıştır. Böylelikle yalnızca kaynağında açık biçimde raporlanan veya verilen fiziksel büyüklüklerden doğrudan hesaplanabilen gözlemler analiz veri setine dahil edilmiştir.

2.3. Tahmin Problemlerinin Tanımlanması

Literatürdeki çalışmaların farklı çıktı değişkenlerine odaklanması nedeniyle bütünleşik veri tabanı iki ayrı tahmin problemi kapsamında değerlendirilmiştir. Birinci model grubunda hedef değişken olarak havalandırma/oksijen transfer verimi (E20) seçilmiştir. Bu modelde Froude sayısı, hava-su debi oranı, kesit alanı oranı, conduit uzunluğu ve mevcut olduğu durumlarda kapak açıklık oranı temel açıklayıcı değişkenler olarak değerlendirilmiştir.

İkinci model grubunda ise hedef değişken hava talep oranı (Q_a/Q_w) olarak belirlenmiştir. Hava talep oranının conduit sisteminin hidrolik ve geometrik özellikleriyle ilişkili olması nedeniyle bu modelde Froude sayısı, kapak açıklık oranı, conduit uzunluğu, conduit kesit geometrisi ve hava giriş geometrisi açıklayıcı değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Bu ayrım, farklı araştırmalarda raporlanan deneysel verilerin tek bir hedef değişken

altında zorunlu olarak birleştirilmesi yerine, fiziksel olarak benzer süreçleri temsil eden iki ayrı modelleme problemi içerisinde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

2.4. Makine Öğrenmesi Yaklaşımı

Conduit sistemlerinde havalandırma performansı; akım, geometri ve hava giriş koşulları arasındaki doğrusal olmayan etkileşimlerin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle klasik doğrusal regresyon yaklaşımlarına ek olarak doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilme kapasitesine sahip makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması benimsenmiştir. Modelleme aşamasında Random Forest (RF), Extreme Gradient Boosting (XGBoost), Support Vector Regression (SVR) ve [nihai veri büyüklüğüne bağlı olarak Yapay Sinir Ağı (ANN)] modellerinin karşılaştırılması öngörülmüştür.

Makine öğrenmesinin conduit havalandırmasına uygulanabilirliği daha önce Baylar ve Batan (2010) tarafından gösterilmiş; araştırmacılar serbest akımlı kapaklı kapalı conduitlerde oksijen transfer veriminin tahmini için Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System ve Least Squares Support Vector Machine yöntemlerini kullanmıştır. Ünsal vd. (2014) ise yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı conduitlerde oksijen transfer veriminin tahmini için Genetic Expression Programming yaklaşımından yararlanmıştır. Bununla birlikte bu çalışmaların temel özelliği, modellerin belirli deneysel veri setleri üzerinden geliştirilmiş olmasıdır. Mevcut çalışmanın metodolojik yaklaşımı ise farklı araştırmacılar ve deney düzenekleri tarafından üretilmiş deneysel gözlemlerin standardize edilmiş ortak bir veri tabanında birleştirilmesi ve modellerin bu bütünleşik veri yapısı üzerinde geliştirilmesine dayanmaktadır.

2.5. Model Eğitimi ve Performans Değerlendirmesi

Model geliştirme sürecinde veri seti eğitim ve test alt kümelerine ayrılmış ve model hiperparametrelerinin belirlenmesinde çapraz doğrulama yaklaşımı kullanılmıştır. Özellikle literatür tabanlı veri setlerinde aynı deneysel çalışmadan gelen gözlemlerin birbirine yüksek düzeyde benzer olabileceği dikkate alınarak, rastgele veri bölme yaklaşımına ek olarak kaynak çalışma temelli doğrulama uygulanması planlanmıştır. Bu yaklaşımda belirli bir araştırmadan elde edilen gözlemler test setinde bırakılarak model diğer çalışmalardan elde edilen veriler üzerinde eğitilecek ve böylelikle modelin daha önce görmediği bağımsız bir deneysel düzeneğe genellenebilirliği değerlendirilecektir.

Modellerin tahmin performanslarının karşılaştırılmasında belirleme katsayısı (R^2), kök ortalama kare hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve gerektiğinde ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) performans

göstergeleri kullanılacaktır. En başarılı model yalnızca eğitim veya rastgele test verisindeki yüksek R^2 değerine göre değil, bağımsız çalışma temelli doğrulamadaki tahmin başarısı dikkate alınarak belirlenecektir.

2.6. Değişken Önem ve Model Açıklanabilirliği

Makine öğrenmesi modellerinin yalnızca tahmin doğruluğunun belirlenmesi, conduit havalandırmasını kontrol eden fiziksel süreçlerin açıklanması açısından yeterli görülmemiştir. Bu nedenle en başarılı model üzerinde değişken önem analizi gerçekleştirilerek Froude sayısı, hava talep oranı, conduit uzunluğu, açıklık oranı ve geometrik parametrelerin havalandırma performansı üzerindeki göreceli etkileri incelenecektir.

Bu kapsamda model yapısının uygun olması halinde SHapley Additive exPlanations (SHAP) yaklaşımından yararlanılarak her bir bağımsız değişkenin model tahminlerine pozitif veya negatif katkısı belirlenecektir. Böylece çalışma yalnızca havalandırma verimini tahmin eden bir veri-odaklı model geliştirmeyi değil, aynı zamanda farklı deneysel çalışmaların ortak sonuçlarından hareketle yüksek basınçlı conduit sistemlerinde havalandırma performansını kontrol eden temel hidrolik ve geometrik faktörleri ortaya koymayı amaçlamaktadır.

3. BULGULAR

3.1 Uygulama ve Modelleme Yaklaşımı

Yüksek basınçlı conduit sistemlerinde havalandırma performansı, hava-su etkileşiminin farklı ancak birbiriyle ilişkili iki temel çıktısı üzerinden değerlendirilebilmektedir. Literatürdeki deneysel çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların bir bölümünün sisteme sürüklenen hava miktarı ve hava talebi üzerinde yoğunlaştığı, diğer bölümünün ise bu hava girişinin sonucunda gerçekleşen oksijen transferi ve havalandırma verimini ele aldığı görülmektedir (Özkan vd., 2006; Ünsal vd., 2008, 2009; Baylar & Batan, 2010; Tuna vd., 2014; Özkan vd., 2014, 2015; Aydın vd., 2021). Bu iki çıktı birbiriyle ilişkili olmakla birlikte aynı fiziksel büyüklüğü temsil etmemektedir. Hava talep oranı (Q_a/Q_w), conduit içerisine alınan hava miktarının su debisine göre büyüklüğünü ifade ederken, havalandırma verimi (E_{20}) sisteme alınan havanın oksijen transferi açısından ne ölçüde etkin kullanıldığını göstermektedir. Nitekim Özkan vd. (2014), hava talep oranındaki artışın havalandırma verimini belirli bir noktaya kadar artırdığını, ancak daha yüksek hava girişinin aynı oranda bir verim artışı sağlamadığını göstermiştir. Bu durum, hava giriş kapasitesi ile oksijen transfer performansının ayrı tahmin problemleri olarak ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmanın uygulama aşaması iki tamamlayıcı makine öğrenmesi modeli üzerine yapılandırılmıştır. Model 1, yüksek basınçlı conduit sistemlerinin nihai havalandırma performansının

belirlenmesine yönelik olup hedef değişken olarak standartlaştırılmış havalandırma/oksijen transfer verimini (E20) esas almaktadır. Modelin temel amacı, farklı deneysel araştırmalardan elde edilen hidrolik ve geometrik koşullardan hareketle conduit sisteminin havalandırma veriminin tahmin edilmesidir. Froude sayısı (Fr), hava-su debi oranı (Q_a/Q_w), akım alanının conduit kesit alanına oranı (ϕ), conduit uzunluğunu temsil eden boyutsuz geometrik parametreler ve veri bulunması durumunda kapak açıklık oranı Model 1'in temel açıklayıcı değişkenleri olarak değerlendirilmiştir. Bu model böylece “belirli hidrolik ve geometrik koşullar altında conduit sisteminde hangi havalandırma verimi elde edilebilir?” sorusuna cevap vermeyi amaçlamaktadır.

Model 2 ise havalandırma prosesinin bir önceki aşamasını oluşturan hava emme kapasitesine odaklanmaktadır. Bu modelde hedef değişken hava talep oranı (Q_a/Q_w) olarak tanımlanmıştır. Froude sayısı, kapak açıklık oranı, conduit uzunluğu veya boyutsuz uzunluk oranı, conduit kesit geometrisi ve mevcut veri setlerinde raporlanması durumunda hava giriş deliğinin geometrik özellikleri açıklayıcı değişkenler olarak kullanılmıştır. Özkan vd. (2014, 2015), Şekerci ve Tuna (2021) ile Aydın vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen deneysel araştırmalar, söz konusu parametrelerin conduit içerisine alınan hava miktarıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Model 2 ile temel olarak “conduit sisteminin hidrolik ve geometrik özellikleri bilindiğinde sisteme alınabilecek hava miktarı ne ölçüde tahmin edilebilir?” sorusunun cevaplandırılması hedeflenmektedir.

İki modelin birbirinden ayrılmasının bir diğer nedeni, literatürden oluşturulan bütünlük veri tabanının yapısıdır. İncelenen deneysel çalışmaların tamamında aynı değişkenlerin raporlanmadığı belirlenmiştir. Bazı araştırmalar doğrudan E20 değerlerini sunarken (Ünsal vd., 2008, 2009; Tuna vd., 2014; Özkan vd., 2014, 2015), bazı çalışmalar ağırlıklı olarak hava debisi veya Q_a/Q_w değerlerine odaklanmıştır (Şekerci & Tuna, 2021; Aydın vd., 2021). Fiziksel olarak farklı çıktıların tek bir hedef değişken altında birleştirilmesi hem veri bütünlüğünü hem de modelin yorumlanabilirliğini olumsuz etkileyebileceğinden, gözlemler raporlanan çıktı değişkenine göre iki ayrı veri alt kümesinde değerlendirilmiştir. Böylece literatürde mevcut deneysel bilgilerden mümkün olan en geniş ölçüde yararlanılırken, her modelin fiziksel anlamının korunması amaçlanmıştır. Bu yapı aynı zamanda conduit havalandırma sürecinin ardışık iki aşama üzerinden değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. İlk aşamada conduit geometrisi ve akım koşulları sisteme sürüklenen hava miktarını belirlemekte; ikinci aşamada ise oluşan hava-su karışımının özellikleri oksijen transferi ve havalandırma verimini kontrol etmektedir. Dolayısıyla Model 2 ağırlıklı olarak hava giriş mekanizmasını, Model 1 ise bunun sonucunda ortaya çıkan havalandırma performansını temsil etmektedir. İki modelin birlikte değerlendirilmesiyle

yalnızca havalandırma veriminin tahmin edilmesi değil, bu verimin oluşmasına yol açan hava talep mekanizmasının da veri odaklı olarak açıklanması hedeflenmektedir (Tablo 2).

Uygulamanın sonraki aşamasında her iki veri alt kümesi için ortak değişkenler standardize edilmiş, gerekli boyutsuz parametreler hesaplanmış ve farklı deneysel çalışmalardan kaynaklanan ölçek ve geometri farklılıklarının model üzerindeki etkisini sınırlandırmak amacıyla mümkün olduğunca boyutsuz büyüklüklerden yararlanılmıştır. Ardından farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak Model 1 ve Model 2 için tahmin modelleri geliştirilmiş ve performansları ortak istatistiksel göstergeler üzerinden karşılaştırılmıştır. Son aşamada değişken önem ve açıklanabilirlik analizleri kullanılarak yalnızca en yüksek tahmin başarısına sahip modelin belirlenmesi değil, yüksek basınçlı conduit sistemlerinde hava talebi ve havalandırma verimini kontrol eden başlıca hidrolik ve geometrik parametrelerin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Tablo 2. Çalışmanın Model Bazlı Ayrıştırılması

Model	Hedef	Ana girdiler	Öncelikli veri kaynakları
Model 1	Aeration efficiency / E20	Fr, Qa/Qw, ϕ , L/D, gate opening	Özkan 2006; Ünsal 2008/2009; Tuna 2014; Özkan 2014/2015
Model 2	Air-demand ratio Qa/Qw	Fr, gate opening, L/D, geometry, air-inlet properties	Özkan 2014/2015; Şekerci & Tuna 2021; Aydın 2021

3.2 Bütünleşik Veri Setinin Oluşturulması

Bu çalışmada kullanılan veri seti, yüksek basınçlı ve kapak kontrollü conduit sistemlerinde hava sürüklenmesi, hava talebi, oksijen transferi ve havalandırma verimini deneysel olarak inceleyen daha önce yayımlanmış çalışmalardan derlenmiştir. Bu yaklaşımın temel amacı, belirli bir laboratuvar düzeneğinde üretilen tekil bir deney setine dayalı model geliştirmek yerine, farklı araştırmalarda ve farklı hidrolik/geometrik koşullarda elde edilmiş deneysel gözlemleri ortak bir veri yapısı altında birleştirmektir. Bu kapsamda Özkan vd. (2006), Ünsal vd. (2008, 2009), Baylar ve Batan (2010), Tuna vd. (2014), Özkan vd. (2014, 2015), Ünsal vd. (2014), Şekerci ve Tuna (2020, 2021) ve Aydın vd. (2021) tarafından raporlanan deneysel sonuçlar veri kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu çalışmalar, farklı amaçlarla gerçekleştirilmiş olmakla birlikte conduit içerisindeki hava-su etkileşimini açıklayan ortak hidrolik ve geometrik parametreler içermeleri nedeniyle bütünleşik veri tabanının oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Literatürden veri aktarımı sırasında öncelikle her çalışmada raporlanan bağımsız ve bağımlı değişkenler belirlenmiştir. Deney sonuçlarının tablo halinde sunulduğu çalışmalarda sayısal değerler doğrudan alınmış; yalnızca grafiksel olarak verilen sonuçlarda ise eksen değerleri dikkate alınarak sayısallaştırılabilir gözlemler

değerlendirilmiştir. Kaynağında açık biçimde raporlanmayan veya mevcut fiziksel büyüklüklerden güvenilir biçimde hesaplanamayan herhangi bir değer varsayımsal olarak üretilmemiştir. Böylece oluşturulan veri tabanının tamamının yayımlanmış deneysel gözlemlere veya bu gözlemlerden doğrudan hesaplanabilen değişkenlere dayanması esas alınmıştır.

Farklı araştırmalarda kullanılan deney düzeneklerinin, conduit boyutlarının ve değişken gösterimlerinin birbirinden farklı olması nedeniyle veri birleştirme işleminden önce bir standardizasyon aşaması uygulanmıştır. Aynı fiziksel büyüklüğü ifade eden ancak farklı sembollerle gösterilen parametreler ortak değişken adları altında yeniden tanımlanmış, farklı birim sistemlerinde raporlanan büyüklükler ortak birim sistemine dönüştürülmüştür. Deneysel ölçek farklılıklarının etkisini azaltmak amacıyla mümkün olan durumlarda doğrudan boyutlu büyüklükler yerine Froude sayısı (Fr), hava-su debi oranı (Q_a/Q_w), akım kesit alanının conduit kesit alanına oranı (φ) ve boyutsuz conduit uzunluğu (L/D) gibi boyutsuz parametrelerin kullanılmasına öncelik verilmiştir. Bütünleşik veri tabanında başlangıçta dikkate alınan temel değişkenler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Bütünleşik veri tabanında değerlendirilen temel değişkenler

Değişken	Gösterim	Tanım	Modeldeki rolü
Froude sayısı	Fr	Atalet kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetlerine göre etkisini temsil eden boyutsuz akım parametresi	Model 1 ve Model 2 girdisi
Su debisi	Qw	Conduit içerisinden geçen su debisi	Yardımcı/temel değişken
Hava debisi	Qa	Conduit sistemine sürüklenen hava debisi	Qa/Qw hesabı
Hava-su debi oranı	Qa/Qw	Hava talebinin su debisine oranı	Model 1 girdisi / Model 2 çıktısı
Kesit alanı oranı	ϕ	Su akım kesit alanının conduit kesit alanına oranı	Model 1 girdisi
Kapak açıklık oranı	K	Kapak açıklığının conduit geometrisine göre boyutsuz ifadesi	Model 1/Model 2 girdisi
Conduit uzunluğu	L	Havalandırılan conduit bölümünün uzunluğu	Yardımcı değişken
Boyutsuz uzunluk	L/D	Conduit uzunluğunun karakteristik çapa oranı	Model 1/Model 2 girdisi
Conduit geometrisi	CG	Dairesel, dikdörtgen vb. kesit sınıfı	Model 2 girdisi
Hava giriş çapı	d	Hava giriş deliğinin karakteristik çapı	Model 2 tamamlayıcı girdisi
Hava giriş uzunluğu	HL	Hava giriş yolunun/holünün uzunluğu	Model 2 tamamlayıcı girdisi
Havalandırma verimi	E20	Standart koşullara düzeltilmiş oksijen transfer/havalandırma verimi	Model 1 çıktısı

Değişken seçiminde yalnızca istatistiksel kullanılabilirlik değil, önceki deneysel çalışmalar tarafından ortaya konulan fiziksel ilişkiler de dikkate alınmıştır. Froude sayısının conduitlerde hava sürüklenmesi ve havalandırma performansının temel belirleyicilerinden biri olduğu farklı deneysel araştırmalarda gösterilmiştir (Ünsal vd., 2008; Tuna vd., 2014). Bunun yanında hava talep oranının havalandırma verimiyle doğrusal olmayan bir ilişki gösterdiği ve belirli hidrolik koşullar altında optimum Qa/Qw değerlerinin ortaya çıkabildiği bildirilmiştir (Özkan vd., 2014). Conduit uzunluğunun hava talebi ve havalandırma üzerindeki etkisi Özkan vd. (2015) tarafından, kesit geometrisinin etkisi ise Aydın vd. (2021) tarafından incelenmiştir. Şekerci ve Tuna (2020, 2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ise hava giriş deliğinin çap ve uzunluk gibi fiziksel özelliklerinin conduit tarafından emilen hava miktarını değiştirebildiğini göstermektedir. Bu nedenle söz konusu parametreler, yeterli sayıda ortak gözlem bulunması koşuluyla modelleme sürecinde potansiyel açıklayıcı değişkenler olarak değerlendirilmiştir.

Literatürden elde edilen verilerin önemli bir özelliği, bütün araştırmalarda aynı çıktı değişkenlerinin raporlanmamış olmasıdır. Özkan vd. (2006), Ünsal vd. (2008, 2009), Tuna vd. (2014) ve Özkan vd. (2014, 2015) gibi çalışmalar oksijen transferi veya havalandırma verimini doğrudan değerlendirmeye olanak sağlayan veriler sunarken, Şekerci ve Tuna (2021) ile Aydın vd. (2021) gibi bazı araştırmalar hava debisi ve hava talep oranına daha fazla odaklanmaktadır. Bu nedenle farklı fiziksel çıktılara ait gözlemlerin tek bir bağımlı değişken altında birleştirilmesinden kaçınılmıştır.

Bu doğrultuda ana veri tabanı hedef değişkene göre iki alt veri setine ayrılmıştır. Model 1 veri seti, E20 değerinin mevcut olduğu deneysel gözlemlerden oluşturulmuş ve havalandırma/oksijen transfer veriminin tahmininde kullanılmıştır. Model 2 veri seti ise Q_a ve Q_w değerlerinin ayrı ayrı veya doğrudan Q_a/Q_w oranının raporlandığı deneysel gözlemlerden oluşturulmuş ve conduit sisteminin hava talep oranının tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Aynı deneysel gözlem gerekli değişkenleri içerdiğinde her iki veri setinde de kullanılabilmiş, ancak her model için hedef ve açıklayıcı değişkenler ayrı olarak tanımlanmıştır.

Veri tabanının oluşturulmasında ayrıca her deneysel gözleme kaynak çalışma kimliği (Study_ID) atanmıştır. Bu değişken model girdisi olarak kullanılmamış, gözlemin hangi bağımsız araştırmadan elde edildiğinin izlenmesi ve model doğrulama aşamasında çalışmalar arasındaki bağımlılığın kontrol edilmesi amacıyla tutulmuştur. Böylece aynı laboratuvar düzeneğine ait benzer gözlemlerin eğitim ve test kümelerine rastgele dağıtılmasından kaynaklanabilecek yapay yüksek tahmin performansının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Model doğrulama aşamasında Study_ID bilgisi kullanılarak belirli bir çalışmanın tüm gözlemlerinin test kümesinde bırakıldığı çalışma-temelli doğrulama yaklaşımının uygulanması öngörülmüştür.

Sonuç olarak veri hazırlama süreci; literatürden deneysel verilerin çıkarılması, değişkenlerin ortak tanımlar altında harmonize edilmesi, birim ve boyutsuz parametre standardizasyonunun gerçekleştirilmesi, fiziksel olarak uygun olmayan veya doğrulanamayan gözlemlerin dışlanması ve verilerin E20 ile Q_a/Q_w hedeflerine göre iki ayrı modelleme veri setine ayrılması aşamalarından oluşturulmuştur. Bu yaklaşım sayesinde farklı deneysel düzeneklerden elde edilen gözlemlerin fiziksel anlamları korunarak ortak bir veri yapısında değerlendirilmesi ve geliştirilecek makine öğrenmesi modellerinin tek bir laboratuvar koşulundan ziyade daha geniş bir hidrolik koşul aralığını temsil etmesi amaçlanmıştır.

Model 1 Çıktıları

Model 1 kapsamında, conduit sistemlerinde havalandırma performansını temsil eden standart oksijen transfer veriminin (E20) tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla literatürde yayımlanmış deneysel verilerden

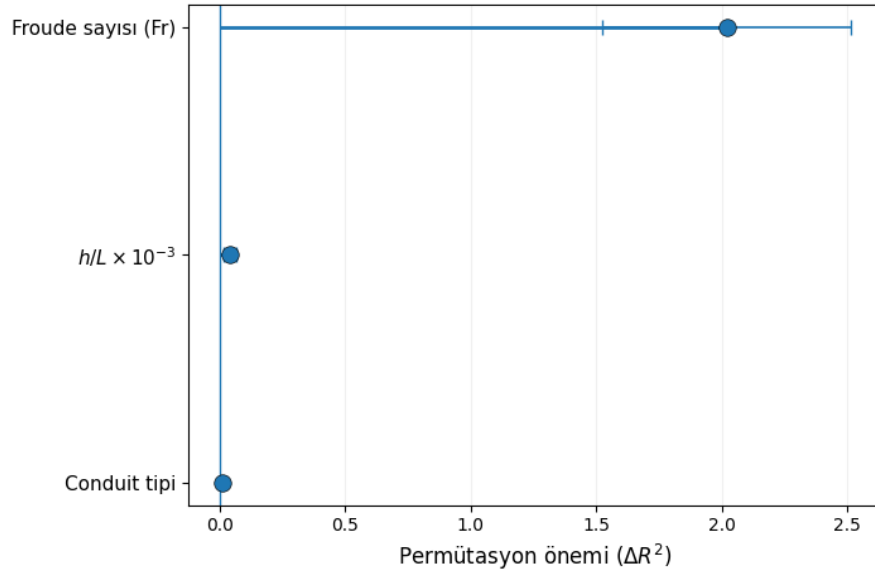
oluşturulan veri setinde 108 deney gözlemi kullanılmıştır. Model girdileri olarak Froude sayısı (Fr), boyutsuz geometrik parametre h/L ve conduit akım tipi; hedef değişken olarak ise E20 belirlenmiştir. Böylece Random Forest (RF) modeli,

$$E_{20} = \frac{C_e - C_0}{C_s - C_0}$$

Burada, E20: 20 °C standart sıcaklığa göre düzeltilmiş havalandırma verimi, C0: Havalandırma işleminden önceki başlangıç çözülmüş oksijen (DO) konsantrasyonu, Ce: Havalandırma işleminden sonraki/çıkıştaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu, Cs: İlgili koşullardaki doygunluk çözülmüş oksijen konsantrasyonudur.

Veri setinin %80'i modelin eğitilmesi, %20'si ise bağımsız test amacıyla kullanılmıştır. Model 500 karar ağacı kullanılarak eğitilmiş ve tahmin başarısı R2, RMSE ve MAE performans göstergeleri üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca modelin veri bölünmesine olan duyarlılığını değerlendirmek amacıyla 5-katlı çapraz doğrulama uygulanmıştır. Test veri setinde R2=0.938, RMSE=0.081 ve MAE=0.064 elde edilirken, 5-katlı çapraz doğrulamada ortalama R2=0.929 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kullanılan hidrolik ve geometrik değişkenlerin E20'deki değişimin önemli bir bölümünü açıklayabildiğini göstermektedir.

Şekil 1'de, deneysel olarak gözlenen E20 değerleri ile RF modeli tarafından tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. Gözlemlerin büyük bölümünün 1:1 referans doğrusu çevresinde kümelenmesi, model tahminlerinin deneysel değerlerle genel olarak yüksek uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. Nitekim test veri setinde elde edilen R2=0.938 değeri, E20'de gözlenen değişimin yaklaşık %94'ünün model tarafından açıklanabildiğine işaret etmektedir. Özellikle yüksek E20 değerlerinde gözlenen ve tahmin edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Orta ve düşük havalandırma verimi bölgesinde ise bazı gözlemlerde 1:1 doğrusundan daha belirgin sapmalar ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte RMSE ve MAE değerlerinin sırasıyla 0.081 ve 0.064 düzeyinde kalması, genel tahmin hatasının sınırlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca tahminlere ait uyum doğrusunun 1:1 doğrusuna yakın seyretmesi, RF modelinin sistematik olarak aşırı veya düşük tahmin üretme eğiliminin sınırlı olduğuna işaret etmektedir.

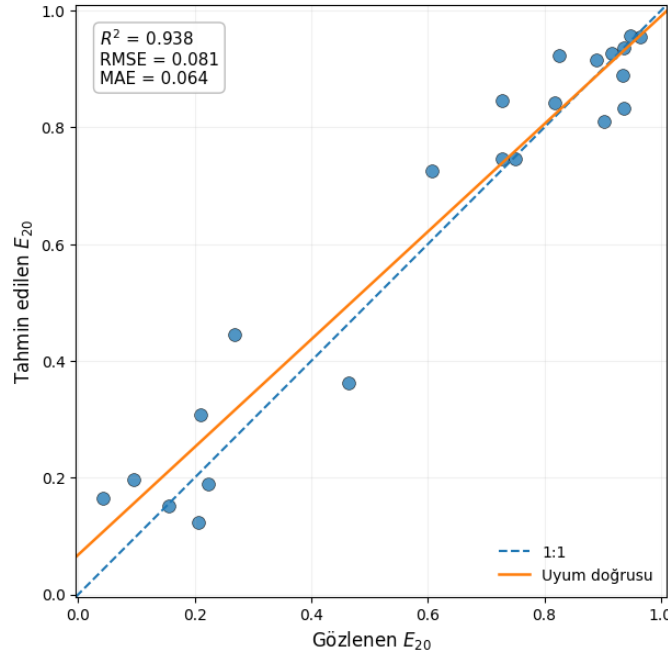


Şekil 1. Gözlenen E20 – RF tahmini E20, 1:1 çizgisi + grafiğin köşesinde R2, RMSE ve MAE

Şekil 2'de, RF modelindeki değişkenlerin tahmin performansına katkısı permütasyon önem analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Froude sayısının açık biçimde en etkili açıklayıcı değişken olduğunu göstermektedir. Fr değişkeninin rastgele bozulması model performansında belirgin bir azalmaya neden olurken, h/L ve conduit tipinin etkisinin oldukça daha düşük seviyede kaldığı görülmektedir.

Bu sonuç hidrolik açıdan anlamlıdır. Froude sayısı, akımın atalet ve yerçekimi etkileri arasındaki ilişkiyi temsil etmekte ve conduit içerisinde meydana gelen türbülans, hava sürüklenmesi ve hava-su etkileşiminin gelişiminde temel bir kontrol parametresi oluşturmaktadır. Dolayısıyla RF modelinin Fr'yi baskın değişken olarak belirlemesi yalnızca istatistiksel bir sonuç olarak değil, conduit havalandırmasının fiziksel mekanizmasıyla uyumlu bir bulgu olarak değerlendirilebilir.

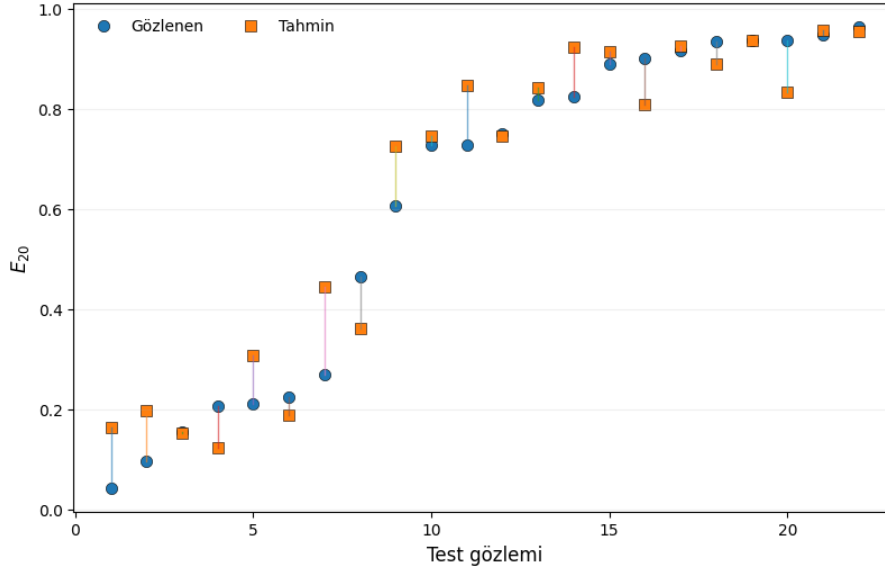
Bununla birlikte h/L ve conduit tipinin düşük önem değerleri, bu parametrelerin fiziksel olarak önemsiz olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır. Permütasyon önem analizi, söz konusu değişkenlerin Fr tarafından sağlanan bilgiye ilave olarak model tahminine ne ölçüde katkı sağladığını göstermektedir. Bu nedenle sonuçlar, mevcut veri aralığında E20'nin tahmininde temel belirleyicinin Fr olduğunu, diğer değişkenlerin ise ikincil katkı sağladığını göstermektedir.



Şekil 2. Değişken önemleri, yüzde (%) olarak yatay ve değerleri üzerinde gösterilmiş

Şekil 3'te, test veri setindeki her bir gözlem için deneysel E20 değeri ile RF tahmini birlikte gösterilmiştir. İki değer arasındaki bağlantı uzunluğunun tahmin hatasını temsil ettiği dikkate alındığında, gözlemlerin büyük bölümünde deneysel ve tahmin edilen değerler arasındaki mesafenin oldukça sınırlı olduğu görülmektedir.

Modelin özellikle yüksek havalandırma veriminin görüldüğü gözlemlerde başarılı tahminler ürettiği dikkat çekmektedir. Buna karşılık bazı düşük ve orta E20 gözlemlerinde hata miktarı nispeten artmaktadır. Bu durum, düşük havalandırma koşullarında sistem davranışının Fr , h/L ve conduit tipi dışında kalan bazı hidrolik veya geometrik parametrelerden de etkilenebileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte gözlemlerin genelindeki yakınlık, Şekil 1'de elde edilen yüksek R^2 değerini desteklemekte ve RF modelinin farklı havalandırma koşullarındaki genel eğilimi başarılı biçimde temsil ettiğini göstermektedir.



Şekil 3. Başlıksız gözlem bazlı karşılaştırma grafiği

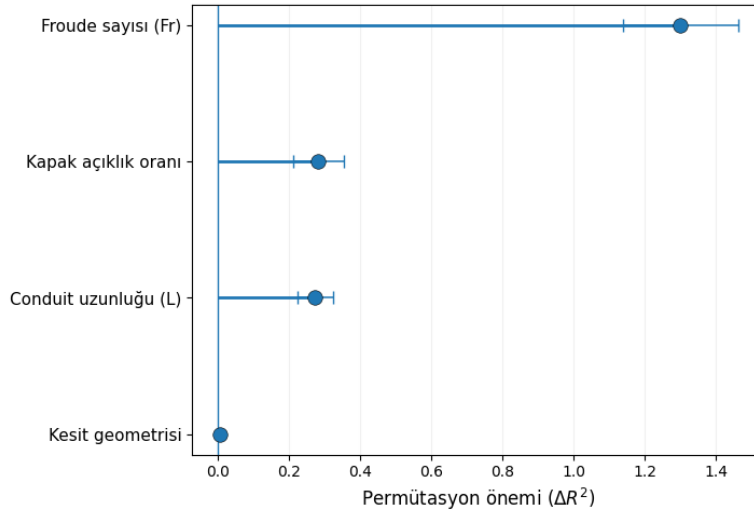
Model 2 Çıktıları

Model 2 kapsamında, conduit sistemlerinin hava emme kapasitesini temsil eden hava talep oranının (Q_a/Q_w) hidrolik ve geometrik parametrelerden hareketle tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda literatürde yayımlanan deneysel sonuçlardan sayısallaştırılan 420 gözlem kullanılmış ve hedef değişken Q_a/Q_w olarak belirlenmiştir. Model girdileri olarak Froude sayısı (Fr), kapak açıklık oranı, conduit uzunluğu (L) ve kesit geometrisi dikkate alınmıştır. Böylece Model 2 genel olarak;

$$\frac{Q_a}{Q_w} = f(Fr, K, L, CG)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada K kapak açıklık oranını, L conduit uzunluğunu ve CG conduit kesit geometrisini ifade etmektedir. Modelin oluşturulmasında Random Forest algoritması kullanılmıştır. Aynı deney serisine ait benzer gözlemlerin hem eğitim hem de test veri setinde bulunmasının model performansını yapay olarak yükseltmesini önlemek amacıyla veri ayrımı deney eğrileri/serileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 420 gözlemin 330'u eğitim, 90'ı test amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca modelin farklı veri gruplarındaki kararlılığının değerlendirilmesi amacıyla grup temelli 5-katlı çapraz doğrulama uygulanmıştır. Test veri setinde $R^2=0.886$, $RMSE=0.306$ ve $MAE=0.246$ değerleri elde edilmiştir. Beş katlı grup çapraz doğrulamasında ise ortalama $R^2=0.892$ olarak hesaplanmıştır. Test ve çapraz doğrulama sonuçlarının birbirine yakın olması, model performansının yalnızca belirli bir eğitim-test ayrımından kaynaklanmadığını ve RF modelinin hava talep oranındaki genel değişimi başarılı biçimde temsil edebildiğini göstermektedir.

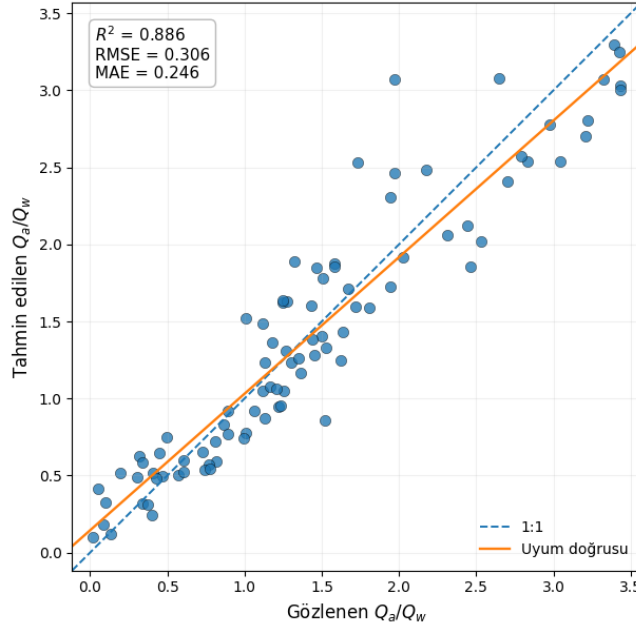
Şekil 4'te, deneysel olarak gözlenen Q_a/Q_w değerleri ile Random Forest modeli tarafından tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. Gözlemlerin büyük bölümünün 1:1 referans doğrusu çevresinde yoğunlaşması, model tarafından üretilen tahminlerin deneysel değerlerle genel olarak iyi bir uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Test veri setinde elde edilen $R^2=0.886$ değeri de bu görsel bulguyu desteklemekte ve hava talep oranındaki değişimin önemli bir bölümünün seçilen hidrolik ve geometrik parametreler kullanılarak açıklanabildiğini ortaya koymaktadır. Düşük Q_a/Q_w değerlerinde gözlenen ve tahmin edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu, hava talep oranı yükseldikçe bazı gözlemlerde sapmaların arttığı görülmektedir. Özellikle orta ve yüksek hava talep oranlarında birkaç gözlemin 1:1 doğrusundan belirgin biçimde ayrılması, yüksek hava emme koşullarında sistem davranışının daha karmaşık hale gelebildiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte uyum doğrusunun genel olarak 1:1 doğrusunu takip etmesi ve RMSE ile MAE değerlerinin sırasıyla 0.306 ve 0.246 düzeyinde kalması, modelin genel eğilimi başarılı biçimde yakaladığını göstermektedir.



Şekil 4. Random Forest modeli ile gözlenen ve tahmin edilen hava talep oranlarının (Q_a/Q_w) karşılaştırılması

Şekil 5'te, Model 2'de kullanılan bağımsız değişkenlerin Q_a/Q_w tahminine katkıları permütasyon önem analizi ile değerlendirilmiştir. Bulgular, Froude sayısının (Fr) diğer değişkenlere kıyasla açık biçimde en etkili parametre olduğunu göstermektedir. Fr değerlerinin permütasyonu model performansında en büyük azalmayı meydana getirmiş, dolayısıyla hava talep oranının tahmininde temel hidrodinamik kontrol değişkeninin Froude sayısı olduğu belirlenmiştir. Kapak açıklık oranı ile conduit uzunluğu ikinci düzeyde etkili değişkenler olarak ortaya çıkmış ve birbirlerine yakın önem seviyeleri göstermiştir. Bu bulgu, hava girişinin yalnızca akımın hidrodinamik şiddeti tarafından değil, conduit içerisindeki basınç koşullarını ve hava emme mekanizmasını

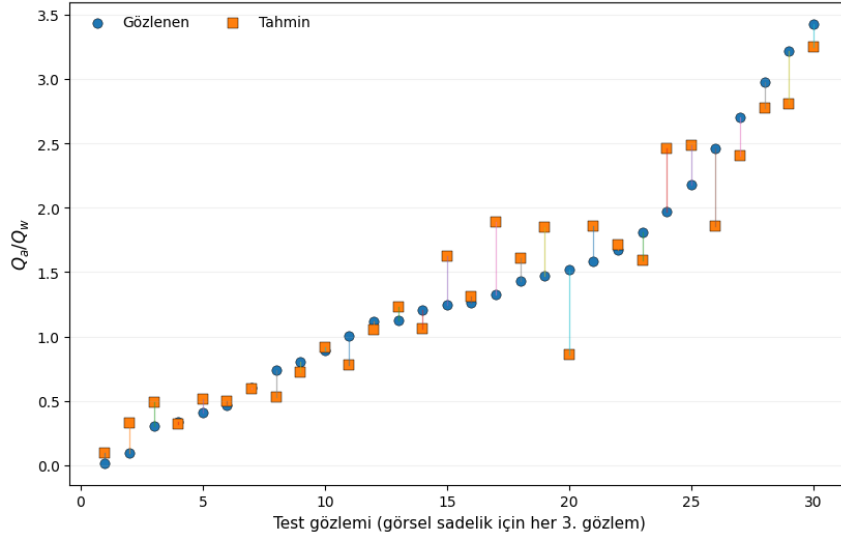
değiştiren geometrik özellikler tarafından da kontrol edildiğini göstermektedir. Kesit geometrisinin permütasyon öneminin ise diğer parametrelere kıyasla oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte bu sonuç, kesit geometrisinin hava talebi üzerinde hiçbir etkisinin bulunmadığı şeklinde değerlendirilmemelidir. Kesit geometrisinin etkisi belirli kapak açıklıkları veya hidrolik koşullar altında ortaya çıkabilir ve Fr , kapak açıklığı ve conduit uzunluğu tarafından açıklanan değişimin ardından modele sağladığı ilave bilgi sınırlı kalmış olabilir. Bu nedenle Şekil 5'in temel sonucu, mevcut veri aralığında hava talep oranının belirlenmesinde Fr 'nin baskın; kapak açıklığı ve conduit uzunluğunun ikincil; kesit geometrisinin ise koşula bağlı tamamlayıcı bir değişken olduğudur.



Şekil 5. Hava talep oranının (Q_a/Q_w) tahmininde kullanılan değişkenlerin permütasyon önem düzeyleri

Şekil 6'da, test veri setindeki gözlenen ve tahmin edilen Q_a/Q_w değerleri gözlem bazında karşılaştırılmıştır. Genel olarak RF tahminlerinin deneysel değerlerin artış eğilimini başarılı biçimde takip ettiği görülmektedir. Özellikle düşük ve orta hava talep oranlarında gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki mesafenin sınırlı olması, modelin bu çalışma aralığında yüksek tahmin kararlılığı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bazı orta ve yüksek Q_a/Q_w değerlerinde gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkların arttığı görülmektedir. Bu sapmalar Şekil 4'te 1:1 doğrusundan uzaklaşan gözlemlerle de uyumludur. Dolayısıyla model genel hava talebi davranışını başarılı biçimde temsil etmekle birlikte, belirli yüksek hava giriş koşullarında tahmin belirsizliğinin arttığı söylenebilir. Bu durum, yüksek hava emme koşullarında hava-su iki fazlı akımının

daha karmaşık hale gelmesi veya modele dahil edilmeyen ilave geometrik ve hidrolik parametrelerin etkisinin artmasıyla ilişkili olabilir.



Şekil 6. Test veri setinde gözlenen ve Random Forest modeli ile tahmin edilen hava talep oranlarının (Q_a/Q_w) gözlem bazlı karşılaştırılması

Model 1 ve Model 2 sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, Random Forest yönteminin hem havalandırma veriminin (E20) hem de hava talep oranının (Q_a/Q_w) tahmininde başarılı olduğu görülmüştür. Model 1 ve Model 2 için sırasıyla $R^2=0.938$ ve $R^2=0.886$ değerlerinin elde edilmesi, seçilen hidrolik ve geometrik parametrelerin conduit sistemlerinin hava-su etkileşimini önemli ölçüde açıklayabildiğini göstermektedir. Her iki modelde de Froude sayısının en etkili değişken olarak belirlenmesi, akım koşullarının hem hava sürüklenmesi hem de havalandırma performansı üzerindeki temel rolünü ortaya koymaktadır. Sonuç olarak iki model birlikte, conduit sistemlerindeki sürecin hidrolik koşullar → hava talebi → havalandırma performansı şeklinde bütüncül olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yüksek basınçlı conduit sistemlerinde hava-su etkileşiminin veri odaklı olarak değerlendirilmesi amacıyla literatürde raporlanan deneysel veriler bütünleştirilmiş ve Random Forest tabanlı iki ayrı tahmin modeli geliştirilmiştir. İlk modelde havalandırma verimi (E20), ikinci modelde ise hava talep oranı (Q_a/Q_w) tahmin edilmiştir. Model 1 ve Model 2 için sırasıyla $R^2=0.938$ ve $R^2=0.886$ değerlerinin elde edilmesi, makine öğrenmesi yaklaşımının conduit sistemlerinin karmaşık hava-su etkileşimini başarılı biçimde temsil edebildiğini göstermiştir.

Her iki modelde de Froude sayısının en etkili değişken olarak belirlenmesi, çalışmanın en dikkat çekici ortak bulgusudur. Bu sonuç, conduit sistemlerinde hem hava emme kapasitesinin hem de nihai havalandırma performansının esas olarak akımın hidrodinamik koşulları tarafından kontrol edildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte kapak açıklığı, conduit uzunluğu ve diğer geometrik özelliklerin özellikle hava talebi üzerinde tamamlayıcı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın temel katkısı, farklı deneysel koşullarda elde edilen literatür verilerinin yalnızca ayrı ampirik bağıntılar olarak değerlendirilmesi yerine, ortak bir veri-odaklı tahmin çerçevesinde ele alınmasıdır. Elde edilen bulgular, conduit havalandırmasının hidrolik koşullar → hava talebi → havalandırma performansı şeklinde birbirini tamamlayan bir süreç olarak modellenebileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım, yeni deney gereksinimini tamamen ortadan kaldırmamakla birlikte, mevcut deneysel bilginin daha etkin kullanılmasına ve farklı hidrolik koşullardaki conduit performansının önceden tahmin edilmesine olanak sağlayabilecek bir araç sunmaktadır.

Sonuç olarak, yüksek basınçlı conduitlerin pasif hava emme mekanizmasının veri odaklı yöntemlerle öngörülebilir olması, bu sistemlerin enerji gerektiren geleneksel havalandırma uygulamalarına tamamlayıcı bir alternatif olarak değerlendirilme potansiyelini güçlendirmektedir. Gelecek çalışmalarda daha geniş deneysel veri setlerinin modele dahil edilmesi ve farklı conduit geometrileri ile çalışma koşullarında bağımsız doğrulama yapılması, geliştirilen yaklaşımın genellenebilirliğini ve mühendislik tasarımındaki kullanımını daha ileri düzeye taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

Aydin, A. B., Baylar, A., Ozkan, F., Tuna, M. C., & Ozturk, M. (2021). Influence of cross-section geometry on air demand ratio in high-head conduits with a radial gate. *Water Supply*, 21(8), 4086–4097. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.162>

Baylar, A., & Batan, M. (2010). Usage of artificial intelligence methods in free flowing gated closed conduits for estimation of oxygen transfer efficiency. *Advances in Engineering Software*, 41(5), 729–736.

Baylar, A., Unsal, M., & Ozkan, F. (2010). Hydraulic structures in water aeration processes. *Water, Air, & Soil Pollution*, 210(1–4), 87–100. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0226-2>

Campbell, F. B., & Guyton, B. (1953). Air demand in gated outlet works. In *Proceedings of the Minnesota International Hydraulic Convention, IAHR* (pp. 529–533). Bu kaynak Aydın vd. (2021)'in kaynak zincirinde de conduit hava talebi çalışmalarından biri olarak verilmektedir.

Chanson, H., & Gualtieri, C. (2008). Similitude and scale effects of air entrainment in hydraulic jumps. *Journal of Hydraulic Research*, 46(1), 35–44. <https://doi.org/10.1080/00221686.2008.9521841>

Kalinske, A. A., & Robertson, J. M. (1943). Closed conduit flow. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 108(1), 1435–1447. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0005621>

Murzyn, F., & Chanson, H. (2008). Experimental assessment of scale effects affecting two-phase flow properties in hydraulic jumps. *Experiments in Fluids*, 45(3), 513–521. <https://doi.org/10.1007/s00348-008-0494-4>

Oveson, D. P. (2008). *Air demand in free flowing gated conduits* [Master's thesis, Utah State University]. Utah State University. <https://doi.org/10.26076/0b8b-9ff7>

Ozkan, F., Baylar, A., & Ozturk, M. (2006). Air entrainment and oxygen transfer in high-head gated conduits. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*, 159(2), 139–143. <https://doi.org/10.1680/wama.2006.159.2.139>

Ozkan, F., Demirel, I. H., Tuna, M. C., & Baylar, A. (2015). The effect of length of free-surface gated circular conduit on air-demand ratio and aeration efficiency. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(6), 1187–1192. <https://doi.org/10.2166/ws.2015.081>

Ozkan, F., Tuna, M. C., Baylar, A., & Ozturk, M. (2014). Optimum air-demand ratio for maximum aeration efficiency in high-head gated circular conduits. *Water Science and Technology*, 70(5), 871–877. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.305>

- Sharma, H. R. (1976). Air-entrainment in high head gated conduits. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 102(11), 1629–1646.
- Speerli, J., & Hager, W. H. (2000). Air-water flow in bottom outlets. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27(3), 454–462. <https://doi.org/10.1139/l99-087>
- Speerli, J., & Volkart, P. (1997). Air entrainment in bottom outlet tailrace tunnels. In *Proceedings of the 27th IAHR Congress, San Francisco, USA* (Theme D, pp. 613–618).
- Şekerci, K., & Tuna, M. C. (2020). Konduitle desteklenmiş flotasyon kolonunda hava holü çapının flotasyon performansına etkisi. *Su Kaynakları*, 5(1), 1–11.
- Şekerci, K., & Tuna, M. C. (2021). High pressure conduit: A good alternative to the air compressors used in the flotation process. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(5), 4603–4613.
- Tuna, M. C., Ozkan, F., & Baylar, A. (2014). Experimental investigations of aeration efficiency in high-head gated circular conduits. *Water Science and Technology*, 69(6), 1275–1281. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.021>
- Unsal, M., Baylar, A., Kayadelen, C., & Ozkan, F. (2014). The modeling of oxygen transfer efficiency in gated conduits by using genetic expression programming. *Journal of Engineering Research*, 2(2), 14–29. <https://doi.org/10.7603/s40632-014-0002-3>
- Unsal, M., Baylar, A., Tugal, M., & Ozkan, F. (2008). Increased aeration efficiency of high-head conduit flow systems. *Journal of Hydraulic Research*, 46(5), 711–714. <https://doi.org/10.3826/jhr.2008.3360>
- Unsal, M., Baylar, A., Tugal, M., & Ozkan, F. (2009). Aeration efficiency of free-surface conduit flow systems. *Environmental Technology*, 30(14), 1539–1546. <https://doi.org/10.1080/09593330903252232>

SU KAYIPLARINDA ALTYAPI VE TEKNOLOJİNİN ROLÜ

Dr, Ufuk YÜKSELER ^{1/} Prof. Dr., Ömerul Faruk DURSUN²

¹İller Bankası A.Ş., Erzurum Bölge Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi, ufukyukseles12@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-7233-0821>

²İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, faruk.dursun@inonu.edu.tr, [https://orcid.org/0000-](https://orcid.org/0000-0003-3923-5205)

[0003-3923-5205](https://orcid.org/0000-0003-3923-5205)

Özet

İçme suyu şebekelerinde su kayıplarının azaltılması, yalnızca eskiyen altyapının yenilenmesine değil, dağıtım sistemlerinin ne ölçüde izlenebilir ve yönetilebilir olduğuna da bağlıdır. Bununla birlikte, altyapı yaşı ile teknolojik kapasitenin su kayıpları üzerindeki rollerini geniş ölçekli saha verileri üzerinden birlikte değerlendiren çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışma, Türkiye genelindeki 1210 belediyeden elde edilen verilerden hareketle, su kayıplarındaki farklılaşmanın şebeke yaşından mı yoksa teknoloji kullanımından mı daha belirgin biçimde etkilendiğini araştırmaktadır. Belediyelerin içme suyu sistemleri altyapı yaşına göre üç grupta değerlendirilmiş; Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Bölgesel Ölçüm Alanı (DMA) ve sayısal işletme planı uygulamaları teknolojik kapasitenin göstergeleri olarak ele alınmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkiler parametrik olmayan istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir.

Bulgular, daha yeni şebekelerin teknolojik uygulamaları benimseme eğiliminin daha yüksek olduğunu ortaya koyarken, altyapı yaşındaki farklılıkların su kayıp oranlarında tek başına anlamlı bir ayrışma oluşturmadığını göstermiştir. Buna karşılık, teknoloji kullanan belediyelerde su kayıplarının daha düşük ve dağılımının daha kontrollü olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, altyapının fiziksel yaşı ile su kayıpları arasında doğrudan ve tek yönlü bir ilişki kurulamayacağını; şebekenin izlenmesi, bölümlendirilmesi ve sayısal olarak yönetilmesine yönelik teknolojik kapasitenin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, su kayıplarının azaltılmasına yönelik yatırımlarda yalnızca fiziksel şebeke yenilemesine dayanan yaklaşımlar yerine, altyapı rehabilitasyonu ile dijital yönetim araçlarının birlikte ele alındığı bütünleşik stratejilerin önemine işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Su kayıp-kaçak, İçme suyu dağıtım sistemleri, Şebeke yaşı, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi), Su yönetimi

THE ROLE OF INFRASTRUCTURE AND TECHNOLOGY IN WATER LOSSES

Abstract

Reducing water losses in drinking water distribution networks depends not only on the rehabilitation of aging infrastructure but also on the extent to which distribution systems can be effectively monitored and managed. However, studies that jointly assess the roles of infrastructure age and technological capacity in water losses using large-scale field data remain limited. This study investigates whether variations in water losses are more strongly associated with network age or technology adoption, using data collected from 1,210 municipalities across Türkiye. Municipal water distribution systems were classified into three groups according to infrastructure age, while Geographic Information Systems (GIS), District Metered Areas (DMA), and digital operational plans were considered indicators of technological capacity. The relationships among these variables were examined using non-parametric statistical methods.

The findings indicate that newer networks tend to exhibit higher levels of technology adoption, whereas differences in infrastructure age alone do not result in statistically significant differences in water loss rates. In contrast, municipalities utilizing technological tools were found to have lower water loss rates and more controlled distributions. The results suggest that water losses cannot be explained solely by the physical age of infrastructure and that technological capacity for network monitoring, sectorization, and digital management should also be considered. Accordingly, rather than relying exclusively on physical network renewal, water loss reduction strategies should integrate infrastructure rehabilitation with digital monitoring and management tools. Such an integrated approach may provide a more effective framework for improving the performance and sustainability of drinking water distribution systems.

Keywords: High-pressure conduit; aeration efficiency; air demand ratio; Froude number; Random Forest; machine learning

1. GİRİŞ

İçme suyu, insan yaşamı ve sürdürülebilir çevre açısından vazgeçilmez bir kaynak olup, güvenli ve yeterli miktarda temini tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir mühendislik ve yönetim problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan nüfus, kentleşme ve iklim değişikliğinin etkileri, mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmakta ve suyun daha etkin yönetilmesini zorunlu hale getirmektedir (Türkmen et al., 1999; Uzundumlu et al., 2016).

İçme suyu dağıtım sistemlerinde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri su kayıp-kaçaklarıdır. Bu kayıplar, hem ekonomik açıdan ciddi maliyetlere yol açmakta hem de su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını olumsuz etkilemektedir. Uluslararası literatürde, su kayıplarının çoğunlukla fiziksel kayıplardan kaynaklandığı ve etkin yönetim stratejileri ile önemli ölçüde azaltılabileceği vurgulanmaktadır (Farley & Trow, 2003; Lambert, 2002). Ayrıca dünya genelinde içme suyu şebekelerinde kayıp oranlarının birçok ülkede yüksek seviyelerde olduğu ve bu durumun su yönetimi açısından kritik bir problem oluşturduğu ifade edilmektedir (Kingdom et al., 2006; Liemberger & Wyatt, 2019).

Su kayıplarının azaltılmasına yönelik olarak son yıllarda teknoloji temelli yaklaşımların ön plana çıktığı görülmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), DMA (District Metered Area) uygulamaları, SCADA sistemleri ve akıllı su yönetim teknolojileri, şebeke performansının izlenmesi ve kaçakların erken tespiti açısından önemli avantajlar sağlamaktadır (Puust et al., 2010; Colombo et al., 2009). Özellikle DMA uygulamalarının, şebekenin alt bölgelere ayrılarak izlenmesine olanak sağlaması nedeniyle kaçakların lokal olarak belirlenmesinde etkili olduğu belirtilmektedir (Alegre et al., 2016).

Bununla birlikte, basınç yönetimi, akustik yöntemler ve optimizasyon tabanlı modelleme yaklaşımlarının da su kayıplarının azaltılmasında önemli rol oynadığı çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuştur (Değirmenci, 2025; Akdeniz, 2021; Bektaş & Kılıç, t.y.). Ayrıca, şebeke rehabilitasyonu ve yenileme stratejilerinin ekonomik analizlerle desteklenmesi gerektiği ve bu süreçlerin su kayıplarının azaltılmasında kritik olduğu vurgulanmaktadır (Yılmaz & Fırat, 2022; Yılmaz et al., 2019). Öte yandan, şebeke altyapısının yaşı ve yenilenme durumu da su kayıplarını etkileyen önemli faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Eski şebekelerde boru deformasyonları, bağlantı hataları ve bakım eksiklikleri nedeniyle kaçakların artabileceği ifade edilmektedir (Karakuş et al., 2010). Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, su kayıplarının yalnızca altyapı yaşı ile açıklanamayacağını, yönetsel ve teknolojik faktörlerin de belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır (Bozkurt, 2022; Songur, 2016).

Literatürde su kayıplarının azaltılmasına yönelik çok sayıda teknik ve model geliştirilmiş olmasına rağmen, şebeke yaşı, teknoloji kullanımı ve kayıp-kaçak oranı arasındaki ilişkinin geniş ölçekli saha verileri ile birlikte değerlendirildiği çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada Türkiye genelinde belediyelerden elde edilen kapsamlı veri seti kullanılarak şebeke yaşı, teknoloji kullanımı (CBS, DMA ve sayısal işletme planı) ve su kayıp-kaçak oranı arasındaki ilişkilerin istatistiksel yöntemlerle incelenmesi amaçlanmıştır.

2. METODOLOJİ VE VERİ

Bu çalışmada, içme suyu dağıtım sistemlerinde şebeke yaşı, teknoloji kullanımı ve su kayıp-kaçak oranı arasındaki ilişkilerin ortaya konulması amacıyla istatistiksel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Analizler, Türkiye genelinde belediyelerden elde edilen veri seti üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, şebeke yaşı ile teknoloji kullanımı arasındaki ilişkinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, şebeke yaşı kategorik değişken olarak ele alınmış ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), DMA (District Metered Area) uygulamaları ve sayısal işletme planı gibi teknoloji bileşenlerinin varlığı ile birlikte değerlendirilmiştir. Şebeke yaşı ile teknoloji kullanımı arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla ki-kare testi uygulanmıştır.

İkinci aşamada, şebeke yaş gruplarına göre su kayıp-kaçak oranlarının farklılık gösterip göstermediği analiz edilmiştir. Kayıp-kaçak oranlarının dağılımı incelendiğinde normal dağılım varsayımının sağlanmadığı görülmüş ve bu nedenle parametrik olmayan yöntemler tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, üç bağımsız grup arasında karşılaştırma yapmak amacıyla Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır.

Üçüncü aşamada ise teknoloji kullanımının su kayıp-kaçak oranı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, CBS, DMA ve sayısal işletme planı değişkenleri için ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiş ve teknolojiye sahip olan ve olmayan belediyeler arasında kayıp-kaçak oranları karşılaştırılmıştır. İki bağımsız grup arasındaki farkların analizinde parametrik olmayan bir yöntem olan Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

Tüm istatistiksel analizler %95 güven aralığında gerçekleştirilmiş olup, $p < 0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Analiz sonuçları, grafiksel gösterimler ile desteklenerek yorumlanmış ve şebeke yaşı ile teknoloji kullanımının su kayıpları üzerindeki etkileri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

3. VERİ

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Türkiye genelinde faaliyet gösteren belediyelere ait içme suyu dağıtım sistemlerine ilişkin bilgilerin derlenmesi ile oluşturulmuştur. Veriler, belediyelerin ilgili birimleri ile doğrudan

iletişime geçilerek, standartlaştırılmış bir veri toplama formu aracılığıyla elde edilmiştir. Bu kapsamda, her bir belediyeye yöneltilen sorular aracılığıyla şebeke altyapısı, işletme özellikleri ve teknoloji kullanım düzeyine ilişkin bilgiler sistematik olarak toplanmıştır.

Çalışma kapsamında toplam 1210 belediyeye ait veri değerlendirilmiş olup, bu yönüyle çalışma Türkiye genelini temsil edebilecek geniş bir örneklem büyüklüğüne sahiptir. Elde edilen veriler; şebeke yaşı, abone sayısı, su üretim ve tüketim miktarları, kayıp-kaçak oranları ile birlikte Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), DMA (District Metered Area) uygulamaları ve sayısal işletme planı gibi teknolojik bileşenlerin varlığına ilişkin değişkenleri içermektedir. Şebeke yaşı, veri setinde yer alan “Son Yapım Yılı” değişkeni esas alınarak hesaplanmış ve analiz yılı olarak kabul edilen 2026 yılına göre değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda belediyeler, altyapı yenilik düzeylerini karşılaştırmak amacıyla üç gruba ayrılmıştır: 0–10 yıl arası “yeni”, 11–20 yıl arası “orta yaşlı” ve 21 yıl ve üzeri “eski” şebekeler.

Çalışma alanı, Türkiye genelindeki farklı coğrafi ve idari özelliklere sahip belediyeleri kapsamakta olup, farklı büyüklükteki yerleşim birimlerine ait içme suyu sistemlerinin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle veri seti, hem büyükşehir hem de küçük ölçekli belediyeleri içermesi bakımından su kayıplarının farklı ölçeklerde analiz edilmesine imkân vermektedir. Elde edilen veriler üzerinde yapılan analizler ile şebeke yaşı, teknoloji kullanımı ve su kayıp-kaçak oranları arasındaki ilişkiler istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir.

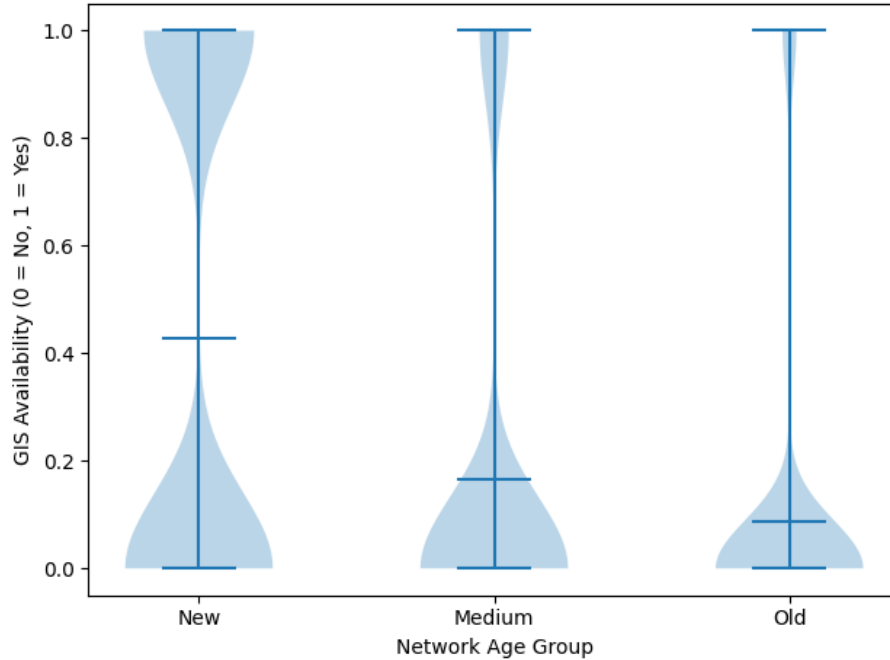
4.BULGULAR

Bu çalışmada, belediyelere ait içme suyu dağıtım sistemlerinde şebeke yaşı ile teknoloji kullanım düzeyi arasındaki ilişkinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, veri setinde yer alan “Son Yapım Yılı” değişkeni kullanılarak şebeke yaşı hesaplanmıştır. Şebeke yaşı, analiz yılı olarak kabul edilen 2026 yılı esas alınarak belirlenmiş ve belediyeler altyapı yenilik düzeylerini temsil edecek şekilde üç gruba ayrılmıştır. Bu doğrultuda, 0–10 yıl arası şebekeler “yeni”, 11–20 yıl arası şebekeler “orta yaşlı” ve 21 yıl ve üzeri şebekeler “eski” olarak sınıflandırılmıştır.

Şebeke yaş gruplarına göre teknoloji kullanım düzeyinin belirlenmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) varlığı dikkate alınmış ve analizler bu değişken üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulguların görsel olarak değerlendirilmesi amacıyla, CBS kullanımının yaş gruplarına göre dağılımı violin grafiği ile sunulmuştur.

Şekil 1 incelendiğinde, şebeke yaşı ile CBS kullanımı arasında belirgin bir ilişki olduğu görülmektedir. Yeni şebeke grubunda CBS kullanımının daha yüksek yoğunlukta olduğu, orta yaşlı şebekelerde daha dengeli bir dağılım sergilendiği, eski şebekelerde ise CBS kullanımının belirgin biçimde daha düşük seviyelerde kaldığı anlaşılmaktadır. Dağılımın özellikle yeni şebekelerde “CBS var” durumuna doğru yoğunlaşması, modern altyapı yatırımlarında sayısal yönetim sistemlerinin daha yaygın olarak benimsendiğini göstermektedir.

Buna karşılık, eski şebekelerde CBS kullanımının sınırlı olması, bu sistemlerin daha çok yeni yatırımlar kapsamında devreye alındığını ortaya koymaktadır. Bu durum, geçmişte inşa edilmiş altyapılarda teknolojik entegrasyonun yeterince sağlanamadığını ve mevcut sistemlerin büyük ölçüde geleneksel işletme anlayışı ile yönetildiğini göstermektedir.



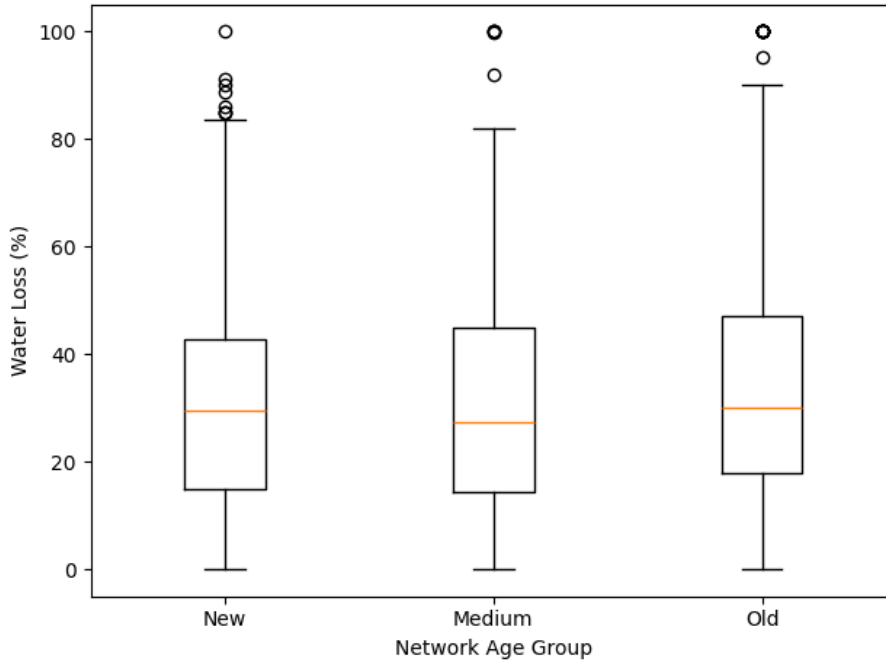
Şekil 1. Şebeke Yaş Gruplarına Göre CBS Kullanım Dağılımı

Şebeke yaşı ile CBS kullanımı arasındaki ilişkinin ortaya konulmasının ardından, şebeke yaşının su kayıp-kaçak oranı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla analiz bir adım ileriye taşınmıştır. Bu kapsamda, farklı şebeke yaş gruplarına ait kayıp-kaçak oranlarının dağılımı incelenmiş ve sonuçlar Şekil 2’de sunulmuştur. Şekil 2. Şebeke Yaş Gruplarına Göre Kayıp-Kaçak Oranı Dağılımı incelendiğinde, farklı yaş gruplarına ait kayıp-kaçak oranlarının belirli bir aralıkta yoğunlaştığı, ancak gruplar arasında keskin bir ayrışmanın olmadığı

görülmektedir. Yeni, orta yaşlı ve eski şebekelere ait dağılımlar büyük ölçüde örtüşmekte olup, medyan değerler arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır.

Bununla birlikte, eski şebekelerde kayıp-kaçak oranlarının dağılım aralığının kısmen daha geniş olduğu ve yer yer daha yüksek değerlere ulaştığı dikkat çekmektedir. Bu durum, eski altyapı sistemlerinde kayıp-kaçak oranlarının daha değişken ve kontrol edilmesinin daha zor olabileceğine işaret etmektedir. Ancak genel dağılım incelendiğinde, şebeke yaşının tek başına kayıp-kaçak oranını belirleyen baskın bir faktör olmadığı anlaşılmaktadır.

Bu bulgu, istatistiksel analiz sonuçlarıyla da uyumlu olup, şebeke yaş grupları arasında kayıp-kaçak oranı açısından anlamlı bir fark bulunmadığını göstermektedir. Dolayısıyla, su kayıplarının yalnızca fiziksel altyapı yaşı ile açıklanamayacağı, sistem yönetimi, izleme ve kontrol mekanizmaları gibi diğer faktörlerin de önemli rol oynadığı değerlendirilmektedir.



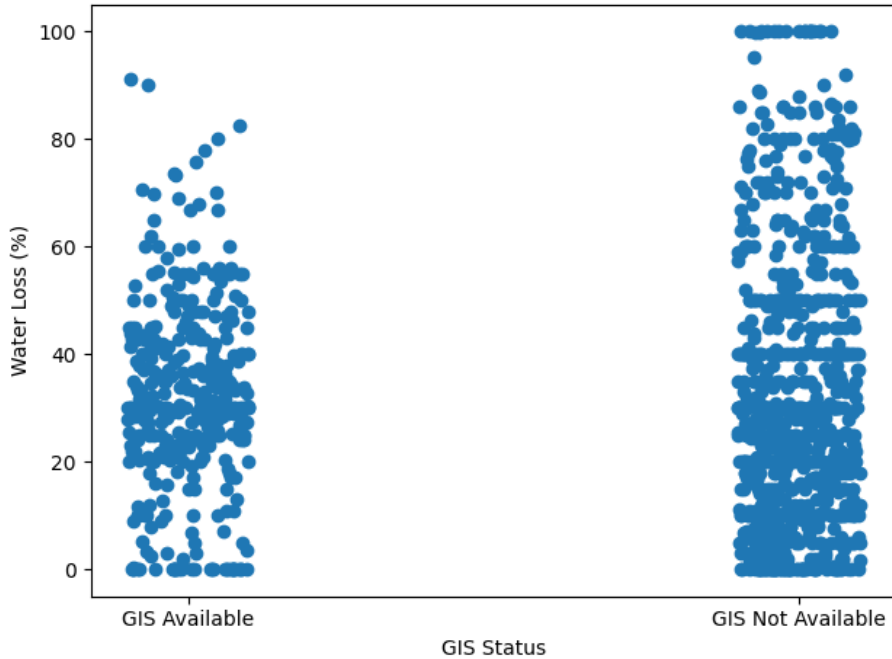
Şekil 2. Şebeke Yaş Gruplarına Göre Kayıp-Kaçak Oranı Dağılımı

Şebeke yaşının su kayıp-kaçak oranı üzerindeki etkisinin sınırlı kalması, bu kayıpların açıklanmasında teknoloji kullanımının daha belirleyici bir rol oynayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemi

(CBS) varlığına göre kayıp-kaçak oranlarının dağılımı değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur.

CBS kullanılan ve kullanılmayan belediyeler karşılaştırıldığında, kayıp-kaçak oranlarının dağılımı açısından belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. CBS kullanılan belediyelerde kayıp-kaçak oranlarının daha dar bir aralıkta yoğunlaştığı ve genel olarak daha düşük değerlere eğilim gösterdiği, buna karşılık CBS bulunmayan belediyelerde dağılımın daha geniş olduğu ve daha yüksek kayıp değerlerine ulaşıldığı dikkat çekmektedir. Bu farklılaşma, CBS kullanımının şebeke yönetimi üzerindeki etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. CBS tabanlı sistemler sayesinde şebeke bileşenlerinin konumsal olarak izlenebilmesi, arıza ve kaçak noktalarının daha hızlı tespit edilebilmesi ve bakım-onarım süreçlerinin daha etkin planlanabilmesi mümkün olmaktadır. Bu durum, su kayıplarının kontrol altına alınmasında önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Elde edilen bulgular istatistiksel analiz sonuçları ile de uyumlu olup, CBS varlığına göre kayıp-kaçak oranları arasında anlamlı bir fark bulunduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, su kayıplarının azaltılmasında yalnızca fiziksel altyapının yenilenmesinin yeterli olmadığı, aynı zamanda CBS gibi sayısal yönetim araçlarının sistemlere entegre edilmesinin kritik bir rol oynadığı değerlendirilmektedir.



Şekil 3. CBS Varlığına Göre Kayıp-Kaçak Oranı Dağılımı

5.SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye genelinde 1210 belediyeye ait içme suyu dağıtım sistemi verileri kullanılarak şebeke yaşı, teknoloji kullanımı ve su kayıp-kaçak oranı arasındaki ilişkiler istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, su kayıplarının yalnızca fiziksel altyapı özellikleri ile değil, aynı zamanda teknoloji kullanım düzeyi ile de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Analiz sonuçları, şebeke yaşı ile teknoloji kullanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunduğunu göstermiştir. Yeni şebekelerde CBS, DMA ve sayısal işletme planı gibi teknolojik bileşenlerin daha yaygın olduğu, eski şebekelerde ise bu teknolojilerin kullanım düzeyinin belirgin şekilde düşük kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, altyapı yenileme süreçlerinin aynı zamanda teknolojik dönüşüm ile birlikte ilerlediğini ortaya koymaktadır.

Buna karşın, şebeke yaş grupları ile kayıp-kaçak oranları arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, şebeke yaşının tek başına su kayıplarını açıklamada yeterli bir değişken olmadığını göstermektedir. Ancak eski şebekelerde kayıp-kaçak değerlerinin daha geniş bir aralıkta değiştiği ve sistem performansının daha değişken bir yapı sergilediği gözlenmiştir.

Teknoloji kullanımına ilişkin analizler, kayıp-kaçak oranları üzerinde daha belirgin bir etkiyi ortaya koymuştur. CBS, DMA ve sayısal işletme planına sahip belediyelerde kayıp-kaçak oranlarının daha düşük ve daha kontrollü bir dağılım sergilediği belirlenmiştir. Bu durum, veri temelli yönetim ve izleme sistemlerinin su kayıplarının azaltılmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, şebeke yaşının teknoloji kullanımını etkileyen bir faktör olduğu, teknoloji kullanımının ise su kayıpları üzerinde daha doğrudan belirleyici olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda, su kayıplarının azaltılmasına yönelik stratejilerde yalnızca fiziksel altyapı yenilemelerine odaklanmak yerine, CBS, DMA ve sayısal işletme planı gibi teknolojik bileşenlerin yaygınlaştırılmasının kritik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, T. (2021). Karstik bölgelerde bulunan içme suyu şebekelerinde fiziki su kayıplarının gürültü korelatörleri ve basınç optimizasyonu ile yönetimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1), 113–121.
- Alashan, S. (t.y.). *Su verimliliği çizelgesi*.
- Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., & Parena, R. (2016). *Performance indicators for water supply services* (3rd ed.). IWA Publishing.
- Bektaş, E., & Kılıç, Ö. (t.y.). Su dağıtım şebekelerinde fiziki kayıpların akustik yöntemle deneysel olarak incelenmesi.
- Bozkurt, C. (2022). *Su kayıp yönetimi ve kontrolü için optimizasyon tabanlı en uygun strateji modelinin geliştirilmesi* (Doktora tezi). İnönü Üniversitesi.
- Colombo, A. F., Lee, P., & Karney, B. W. (2009). A selective literature review of transient-based leak detection methods. *Journal of Hydro-environment Research*, 2(4), 212–227. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2009.02.003>
- Değirmenci, M. N. (2025). *İçme suyu dağıtım şebekelerinde sürdürülebilir basınç yönetimi: Konya örneği* (Yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (t.y.). *İçme suyu şebekelerinde görülen su kayıplarının dünyada ve ülkemizdeki durumu*.
- Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in water distribution networks: A practitioner's guide to assessment, monitoring and control*. IWA Publishing.
- Karabuğa, A., Beyhan, H., Tatar, C. Ö., Dabanlı, A., & Eren, G. (t.y.). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile içme suyu şebekesi analizleri ve planlanması: Akıllı su kayıp kaçak yönetim sistemi web uygulaması (ASUKAYIP). *Book of Proceedings*, 70.
- Karakuş, C. B., Yıldız, S., & Cerit, O. (2010). Sivas kent içme suyu şebekesindeki su kayıpları ve kayıp oranını azaltma çalışmaları. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25(1), 1–10.
- Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). *The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries*. World Bank.
- Lambert, A. (2002). International report: Water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1–20.

- Liemberger, R., & Wyatt, A. (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Supply*, 19(3), 831–837. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D., & Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7(1), 25–45. <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
- Songur, M. (2016). *İçmesuyu şebekelerindeki fiziksel kayıpları önlemeye yönelik Diyarbakır için örnek bir model geliştirilmesi* (Doktora tezi). Sakarya Üniversitesi.
- Toprak, S., Koç, A. C., Bacanlı, Ü. G., Dikbaş, F., Fırat, M., & Dizdar, A. (t.y.). İçme suyu dağıtım sistemlerindeki kayıplar.
- Türkmen, A., Tokgöz, S., & Sarptaş, A. G. H. (1999). *İçme suyu standartları ve güvenilir içme suyu*.
- Uzundumlu, A. S., Fakıoğlu, Ö., Köktürk, M., & Temel, T. (2016). Erzurum ilinde en uygun içme suyu tercihinin belirlenmesi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 30(1), 1–7.
- Yılmaz, S., & Fırat, M. (2022). İçmesuyu dağıtım sistemlerinde şebeke yenileme için ekonomik analiz hesaplama modelinin geliştirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(1), 421–432.
- Yılmaz, S., Özdemir, Ö., & Fırat, M. (2019). Gelir getirmeyen su oranının azaltılması için optimum sayaç değiştirme süresinin hesaplanması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 423–430.

SELF-SENSING CONCRETE TECHNOLOGIES FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING: SENSING MECHANISMS, APPLICATIONS, AND CURRENT CHALLENGES

Assist. Prof. Dr. Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI¹

¹Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, Construction Materials, emriyecinar@osmaniye.edu.tr [https://orcid.org/0000-0002-9435-](https://orcid.org/0000-0002-9435-2968)

2968

Abstract

Early detection of damage caused by environmental effects, repeated loading, fatigue, and reinforcement corrosion in reinforced concrete structures is critical for structural safety and maintenance planning. Conventional structural health monitoring methods generally rely on external sensors mounted on the surface or embedded within the structure and involve several limitations, including sensor-structure compatibility, restricted monitoring areas, installation costs, and long-term durability. Self-sensing concrete technology enables cement-based structural materials to function simultaneously as sensing elements through the incorporation of conductive additives. This study reviews the fundamental sensing mechanisms, conductive additives, measurement methods, and structural health monitoring applications of self-sensing concrete based on the current literature. The effects of carbon nanotubes, carbon fibers, graphene, graphene oxide, carbon black, and piezoelectric materials on electrical conductivity and sensing performance are evaluated. The reviewed findings indicate that piezoresistive behavior is the most widely used sensing mechanism and that changes in electrical resistance caused by mechanical loading can be correlated with stress, strain, and crack development. Self-sensing cementitious composites show considerable potential for crack detection, strain measurement, damage localization, and continuous real-time monitoring. Nevertheless, homogeneous dispersion of conductive additives, sensitivity to environmental conditions, long-term stability, large-scale production, standardization, and cost remain major barriers to widespread implementation. Future research should focus on environmentally compensated calibration methods, hybrid conductive additives, wireless data transmission, and artificial-intelligence-assisted assessment systems to improve the reliability and practical applicability of self-sensing concrete in smart infrastructure.

Keywords: Self-sensing concrete, smart concrete, structural health monitoring, piezoresistive behavior, conductive additives, crack detection

YAPISAL SAĞLIK İZLEMEDE KENDİNİ ALGILAYAN BETON TEKNOLOJİLERİ: ALGILAMA MEKANİZMALARI, UYGULAMALAR VE GÜNCEL ZORLUKLAR

Özet

Betonarme yapılarda çevresel etkiler, tekrarlı yükler, yorulma ve donatı korozyonu gibi nedenlerle meydana gelen hasarların erken aşamada belirlenmesi, yapı güvenliği ve bakım planlaması açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel yapısal sağlık izleme yöntemleri çoğunlukla yapı yüzeyine yerleştirilen veya yapı içerisine gömülen harici sensörlere dayanmakta; sensör-yapı uyumu, sınırlı ölçüm alanı, kurulum maliyeti ve uzun dönemli dayanıklılık bakımından çeşitli sorunlar içermektedir. Kendini algılayan beton teknolojisi ise iletken katkıların çimento esaslı matrisine eklenmesiyle yapı malzemesinin aynı zamanda bir algılama elemanı olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, kendini algılayan betonların temel çalışma mekanizmaları, kullanılan iletken katkıları, ölçüm yöntemleri ve yapısal sağlık izleme uygulamaları güncel literatür kapsamında incelenmiştir. Karbon nanotüp, karbon fiber, grafen, grafen oksit, karbon siyahı ve piezoelektrik malzemelerin elektriksel iletkenlik ve algılama performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Literatür bulguları, piezodirençli davranışın en yaygın algılama mekanizması olduğunu ve mekanik yükleme sonucu meydana gelen elektriksel direnç değişimlerinin gerilme, deformasyon ve çatlak gelişimiyle ilişkilendirilebildiğini göstermektedir. Kendini algılayan çimento esaslı kompozitlerin çatlak tespiti, deformasyon ölçümü, hasar lokalizasyonu ve gerçek zamanlı izleme bakımından önemli bir potansiyel taşıdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte katkıların homojen dağıtılması, çevresel etkilerin ölçümlere yansımaları, uzun dönemli kararlılık, büyük ölçekli üretim, standartlaşma ve maliyet konuları teknolojinin yaygınlaşmasını sınırlayan başlıca sorunlardır. Gelecekte çevresel etkileri dikkate alan kalibrasyon yöntemleri, hibrit iletken katkıları, kablosuz veri aktarımı ve yapay zekâ destekli değerlendirme sistemleri üzerine yoğunlaşılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kendini algılayan beton, akıllı beton, yapısal sağlık izleme, piezodirençli davranış, iletken katkıları, çatlak tespiti

1. INTRODUCTION

Concrete is a construction material widely used in diverse engineering systems, such as buildings, bridges, dams, and transportation infrastructure. However, cracks and losses in stiffness can develop over time in reinforced concrete elements due to loading, fatigue, environmental effects, and reinforcement corrosion. Detecting damage only at an advanced stage can increase maintenance costs and adversely affect structural safety. Therefore, structural health monitoring is a fundamental tool for assessing a structure's current condition, tracking changes in its performance, and making timely maintenance decisions (Han et al., 2017; Ubertini et al., 2017).

While traditional approaches—such as visual inspection, ultrasonic measurement, acoustic emission, and external sensor networks—provide valuable information, they are subject to limitations regarding localized measurements, the preservation of the sensor-structure interface, and requirements for cabling and maintenance. In the self-sensing concrete approach, however, the sensing function is incorporated directly into the cement-based material itself. A network formed by conductive or semiconductive additives undergoes changes under mechanical influence; these changes can be monitored through measurements of electrical resistance, resistivity, or impedance (Bekzhanova et al., 2021; Cassese et al., 2021; Zhang et al., 2016). Thus, the structural material and the sensing element are integrated into a single system.

Carbon-based additives—such as carbon nanotubes, carbon fibers, graphene, graphene oxide, and carbon black—stand out due to their high electrical conductivity and their ability to form conductive networks even at low concentrations. Meanwhile, piezoceramic elements and fiber-optic sensors can also be employed in cement-based systems, utilizing different sensing principles (Alwis et al., 2021; Chaipanich et al., 2023; Jiang et al., 2024). Although the literature documents applications ranging from the specimen scale to reinforced concrete beams and columns, the successful transfer of laboratory-scale results to field applications has not yet been fully realized. Issues such as material dispersion, the effects of moisture and temperature, electrode configuration, measurement stability, cost, and standardization remain key areas of research (Guo et al., 2023; Lian et al., 2021). The aim of this study is to comprehensively evaluate self-sensing concrete technology within the context of structural health monitoring, considering sensing mechanisms, conductive additives, measurement parameters, structural applications, and factors limiting widespread adoption. Furthermore, the study identifies common trends among existing findings and discusses priority research needs for the transition to real-world structural applications.

2. METHOD

This study was conducted as a review based on 30 publications explicitly listed in the bibliography of the provided literature survey. The source material comprises studies published between 2007 and 2025. The sources were evaluated across four thematic axes: (i) piezoresistive, piezoelectric, and impedance-based sensing mechanisms; (ii) functional components such as carbon nanotubes, carbon fibers, graphene derivatives, carbon black, and piezoceramics; (iii) applications aimed at identifying crack, strain, and damage locations; and (iv) issues regarding environmental effects, scalability, durability, cost, and standardization. As the study results were not directly suitable for a combined meta-analysis, no quantitative effect size was calculated across the varying specimen geometries, filler ratios, electrode configurations, and loading conditions. Instead, the results were synthesized through a comparative analysis at the mechanism and application levels.

Particular attention was paid during the evaluation to whether findings were obtained at the scale of laboratory specimens, embedded sensors, or structural elements. This distinction is crucial to avoid directly generalizing the high sensitivity observed in small specimens to actual structures. Furthermore, self-sensing materials and separate sensing units embedded in concrete were addressed within the same conceptual framework, although the degree of integration between the sensing element and the structural material was treated separately in the discussions.

3. SENSING MECHANISMS AND MEASUREMENT PRINCIPLES

3.1. Piezoresistive sensing

Piezoresistive sensing is the most widely used mechanism in self-sensing cement-based composites. When the content of conductive additives reaches a specific threshold level, electrical conduction paths form between particles or fibers. Under mechanical loading, changes in inter-particle distance, the number of contact points, and tunneling distance affect the total electrical resistance. While increased contact under compression can lower resistance, tension or crack opening can disrupt conductive paths, leading to an increase in resistance (Dinesh, 2022a; Horszczaruk et al., 2016; Jiang et al., 2024).

Sensing performance cannot be explained solely by the conductivity level. When the additive ratio is far below the percolation threshold, a continuous conductive network does not form; conversely, when it is far above the threshold, the initial resistance drops, but relative sensitivity to mechanical changes may decrease. Therefore, the optimal zone is the range where a balance between electrical stability and strain sensitivity is achieved (Bekzhanova et al., 2021; Guo et al., 2023). Under cyclic loading, reversible resistance change is desirable for

strain monitoring, whereas permanent resistance change can be interpreted as an indicator of damage. However, viscoelastic behavior, contact rearrangement, and moisture movement can cause signal drift.

Piezoresistive performance is typically expressed in terms of fractional resistance change and gauge factor. Fractional resistance change is defined by the relationship $FCR = (\rho - \rho_0)/\rho_0$, while the gauge factor is defined by $GF = (\Delta R/R_0)/\epsilon$. Here, ρ represents the resistivity under load, ρ_0 the initial resistivity, ΔR the change in resistance, and ϵ the strain. Although a high gauge factor indicates a stronger electrical response to small strains, direct comparison of values requires caution because electrode geometry, current type, sample size, and conditioning vary across different experiments (Roopa et al., 2022; Wang et al., 2023).

3.2. Piezoelectric and impedance-based sensing

In the piezoelectric approach, mechanical action can be converted into electrical charge, and an electric field into mechanical deformation. Lead zirconate titanate (PZT)-based units can be embedded within a cement matrix to facilitate active wave generation and passive sensing. Studies utilizing piezoceramic transducers demonstrate that changes in wave propagation and electromechanical impedance can be correlated with damage formation (Gayakwad et al., 2022; Song et al., 2007). Piezoceramic sensors have also been reported to be sensitive to damage progression during the monitoring of columns subjected to seismic loads (Liao et al., 2011).

The behavior of cement-piezoelectric composites depends on the proportion of the piezoelectric phase, the polarization state, the electrode design, and the electrical properties of the cement matrix. Numerically optimizing interdigital electrode geometries is one method for enhancing the measurable signal (Luo et al., 2017). Although these systems can perform both excitation and sensing functions, factors such as the brittleness of the PZT unit, interface reliability, and lead content must be considered when deciding on their application (Chaipanich et al., 2023; Sha et al., 2020).

3.3. Measurement setup and signal evaluation

Electrical resistance measurements can be performed using two-electrode or four-probe setups. While the two-electrode measurement is simpler, it includes electrode contact resistance. In a four-probe setup, separating the current and voltage terminals can mitigate contact effects. Electrode material, embedment depth, spacing, and continuity determine the measurement zone and signal stability. Multi-channel measurement configurations enable the monitoring of different regions along the element and the localization of damage, rather than providing a single average resistance value (Meoni et al., 2021).

Since polarization and ionic conduction effects under direct current can alter measurements over time, approaches utilizing alternating current at appropriate frequencies or varying electrical potentials have been developed. While continuous and embedded measurement solutions facilitate time-dependent monitoring of structural response, they require the raw signal to be decoupled from factors such as temperature, humidity, load history, and electrical noise (Downey et al., 2017). Therefore, a self-sensing system must be evaluated not only based on sensitivity but also against criteria such as repeatability, hysteresis, linearity, reversibility, and environmental stability.

4. CONDUCTIVE ADDITIVES AND COMPOSITE DESIGN

4.1. Carbon nanotubes and carbon fibers

Due to their high aspect ratio and electrical conductivity, carbon nanotubes can form three-dimensional conductive networks at low loading levels. Multi-walled carbon nanotubes have been more widely investigated in cement-based sensors owing to their relatively accessible costs. However, the tendency of nanotubes to agglomerate due to van der Waals interactions makes dispersion parameters—such as ultrasonic energy, surfactants, and mixing duration—critical (Jiang et al., 2024). Non-uniform dispersion can create regions of excessive conductivity while leaving the network discontinuous in other areas, thereby increasing variability between samples.

Compared to nanotubes, carbon fibers are larger in size; consequently, they can be more easily dispersed within the mixture via mechanical mixing and can establish longer conductive bridges. However, fiber agglomeration, loss of workability, and fiber orientation can affect the isotropy of the electrical response. In hybrid systems utilizing both multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and carbon fibers, the aim is for the nano- and micro-scale conductive pathways to complement one another. Roopa et al. (2020, 2022) reported that hybrid cement-based sensors can generate electrical responses sensitive to damage states under mechanical loading. While these results are promising, the optimum ratio must be determined in conjunction with the binder composition and mixing method.

4.2. Graphene derivatives and other conductive additives

Thanks to its two-dimensional structure and large specific surface area, graphene can facilitate the formation of conductive networks. Graphene oxide disperses better in aqueous media and interacts more strongly with cement hydrates due to the oxygen-containing groups on its surface; however, its oxidation level can limit electrical conductivity. Therefore, factors such as dispersion, hydration, workability, and electrical

performance must be considered collectively when determining the dosage of graphene derivatives (Bekzhanova et al., 2021; Jiang et al., 2024).

As a lower-cost option, carbon black can bridge short conductive gaps, particularly in hybrid mixtures. Although steel fibers can provide both mechanical reinforcement and electrical conductivity, issues such as corrosion and a high percolation threshold may pose disadvantages. Nickel-coated carbon fibers and conductive polymers are also among the available alternatives (Cassese et al., 2021). Material selection should be based not only on initial electrical conductivity but also on the concrete production method, intended service conditions, and the required monitoring function.

4.3. Matrix properties and hybrid design

The water-to-binder ratio, the ion content of the pore solution, the aggregate volume, and curing conditions directly affect electrical conduction. While ionic conduction may dominate at an early age, the role of the conductive additive network becomes more pronounced as drying occurs. This phenomenon causes the same mixture to exhibit varying initial resistance levels depending on age and moisture content. The dense matrix and superior mechanical properties of ultra-high-performance concrete, combined with its self-sensing capability, offer a compelling platform for critical infrastructure applications; however, parameters such as the low water-to-binder ratio, high additive content, and sensing behavior under pressure require further optimization (Guo et al., 2023; Lian et al., 2021).

A hybrid design utilizing a combination of additives can mitigate the limitations associated with using a single material. Nano-additives facilitate short-range tunneling pathways, whereas fibers can bridge longer distances. Conversely, increasing the total additive content may compromise workability and introduce mechanical defects. Therefore, four objectives must be pursued simultaneously in the composite design: an adequate conductive network, high sensing sensitivity, acceptable mechanical performance, and a feasible production cost. Table 1 summarizes the additive groups investigated in terms of these criteria.

Table 1. Main functional components used in self-sensing cement-based composites

Component	Primary function	Main advantage	Main limitation	Example references
MWCNT/CNT	Nanoscale conductive network and tunneling	High sensitivity at low contents	Agglomeration, dispersion energy, and cost	Horszczaruk et al. (2016); Jiang et al. (2024)
Carbon fiber	Long conductive bridges and mechanical contribution	Relatively easy dispersion and suitability for hybrid use	Loss of workability, orientation, and agglomeration	Roopa et al. (2020, 2022)
Graphene/GO	Two-dimensional conductive surface and matrix interaction	Large specific surface area; better aqueous dispersion for GO	Cost; conductivity dependent on oxidation and dosage	Bekzhanova et al. (2021); Jiang et al. (2024)
Carbon black	Short-range conductive links	Lower cost and suitability for hybrid systems	Loss of workability and mechanical performance at high dosage	Cassese et al. (2021)
PZT/piezoceramic	Active/passive sensing based on piezoelectricity and EMI	Combined wave-generation and sensing functions	Brittleness, interface reliability, and electrode design	Song et al. (2007); Gayakwad et al. (2022)

5. STRUCTURAL HEALTH MONITORING APPLICATIONS

5.1. Crack detection and damage localization

The disruption of the conductive network during crack formation can cause a sudden and often permanent increase in electrical resistance. This behavior is utilized to detect crack initiation and monitor the progression of damage. In a study validating self-sensing concrete nanocomposites in reinforced concrete beams, information regarding the location of damage was obtained through multiple measurement zones (Castañeda-Saldarriaga et al., 2021). Research on real-time crack detection in smart beams subjected to dynamic loading has also demonstrated that the electrical response changes in conjunction with crack development.

A single global resistance value is insufficient for damage localization; instead, the use of localized electrodes along the element, multi-channel measurement, or electrical potential mapping is required. This approach can determine not only the presence of a crack but also its approximate location; however, measurement resolution is constrained by electrode spacing, the current path, and the geometry of the element.

Electromechanical impedance and wave propagation methods also offer an alternative sensitive to local changes in stiffness (Gayakwad et al., 2022).

5.2. Strain and load monitoring

Calibrating the reversible electrical response against mechanical strain during loading enables the material to function as a distributed strain sensor. Embedded carbon nanofiber/epoxy sensors have successfully monitored strain variations in concrete components (Wang et al., 2018). Furthermore, multi-channel measurement in nano-modified cement sensors has allowed for data collection from various locations on reinforced concrete elements (Meoni et al., 2021). In these systems, it is essential to validate the calibration against loading direction, loading rate, and environmental conditions.

Signal consistency across cycles under repeated loading is significant for monitoring service loads. Conversely, the rearrangement of conductive contacts during initial loading cycles can lead to initial drift. Failure of the resistance to return completely to its initial value after the load is removed may indicate permanent deformation or the accumulation of micro-cracks. Therefore, separating the reversible and irreversible components can enable both load monitoring and damage detection to be derived from the same signal.

5.3. Beam, column, and advanced manufacturing applications

Applications of self-sensing systems at the structural element scale yield more realistic stress distributions and crack patterns than those observed in material coupons. Self-sensing zones or embedded sensors have been utilized in reinforced concrete beams to monitor flexural cracks (Castañeda-Saldarriaga et al., 2021; Yıldırım et al., 2018), while piezoceramic sensors have been used in concrete columns to track damage evolution caused by seismic excitations (Liao et al., 2011). A review of column applications highlights the potential of nanomaterial-enhanced cement composites for continuous monitoring while also identifying the need for field validation (Dinesh, 2022b).

Three-dimensional (3D) printing is a novel approach that allows for the control of sensor geometry and placement during fabrication. Research involving 3D-printed cement-based sensors embedded in reinforced concrete beams has demonstrated that these sensors and self-sensing zones are capable of monitoring structural response (Wang et al., 2023). While this approach offers the advantages of repeatable geometry and automated placement, it also presents challenges regarding the bond between printed layers, electrode connections, and scalability.

5.4. Continuous monitoring and data communication

For self-sensing concrete to evolve into a real-time structural health monitoring system, the material's response must be integrated with measurement, data transmission, and decision-making processes. Continuous solutions based on changing electrical potential demonstrate that embedded sensor networks can generate long-term data (Downey et al., 2017). Meanwhile, in-concrete backscatter networks offer an approach for wireless data transmission with low power requirements (Gong et al., 2023).

Although fiber-optic sensors operate differently from the piezoresistive mechanism of self-sensing concrete, they present a viable alternative in terms of distributed sensing, immunity to electromagnetic interference, and integration with textile-reinforced concrete. Studies have reported that fiber-optic patch sensors can be used to monitor concrete cracks and that embedded fibers hold potential for smart monitoring in textile-reinforced systems (Alwis et al., 2021; Gomes et al., 2024). In the future, employing multiple sensor types on a single structural element could facilitate distinguishing whether changes in electrical resistance stem from actual damage or from variations in temperature and humidity. Table 2 compares the primary application areas and the requirements for scaling up these technologies.

Table 2. Principal structural health monitoring applications of self-sensing systems

Application	Monitored indicator	Approach	Principal requirement
Crack initiation	Sudden or permanent resistance change	Piezoresistive composite	Stable pre-cracking reference and adequate sampling
Damage location	Regional resistance/potential or impedance change	Multiple electrodes, multichannel measurement, EMI	Calibration of electrode spacing and measurement region
Strain/load	Reversible FCR-strain relationship	Self-sensing region or embedded sensor	Repeatability, low hysteresis, and verification of loading-rate effects
Dynamic/seismic damage	Wave-propagation or impedance change	Embedded piezoceramic units	Reliable interface and frequency-domain evaluation
Continuous monitoring	Time series and threshold exceedance	Multichannel data acquisition and wireless communication	Environmental compensation, energy supply, and data management

6. TECHNICAL CHALLENGES AND RESEARCH REQUIREMENTS

6.1. Distribution, production, and reproducibility

The homogeneous dispersion of carbon-based nano-additives within the cement matrix is a fundamental prerequisite for self-sensing performance. While ultrasonic dispersion is effective at the laboratory scale, it may entail limitations regarding energy, time, and equipment requirements in high-volume concrete production.

Although surfactants improve dispersion, they can alter hydration and air content. A lack of standardization in the mixing sequence and duration leads to varying electrical responses for the same additive dosage (Horszczaruk et al., 2016; Jiang et al., 2024).

Specimen geometry and electrode placement also influence the comparability of results. Factors such as electrode contact resistance, embedment depth, and the interruption of the current path by aggregate distribution can increase measurement variability. Therefore, the electrode configuration, pre-conditioning duration, current type, and sampling frequency should be reported alongside the mix design. The absence of a standard testing protocol hinders the direct comparison of measurement parameters or FCR values across different studies (Cassese et al., 2021).

6.2. Environmental effects and long-term stability

The electrical properties of concrete are sensitive to temperature and moisture. While ion mobility in the pore solution varies with temperature, moisture loss can reduce ionic conduction. Salt ingress may lower initial resistivity, whereas carbonation, freeze-thaw cycles, and repeated wetting-drying can affect the microstructure and the continuity of the conductive network. These effects can induce changes in resistivity even in the absence of mechanical loading, potentially leading to misleading damage indications (Guo et al., 2023; Lian et al., 2021).

For long-term application, it is necessary to simultaneously measure temperature and moisture, establish reference zones, and develop environmental correction models. System reliability depends not only on the chemical stability of the conductive additive but also on factors such as electrode corrosion, cable connections, and the service life of data acquisition units. Validation studies conducted under field conditions over months or years should complement short-term laboratory loading tests.

6.3. Scaling up, cost, and standardization

Transitioning from laboratory specimens to full-scale structural elements alters mixture volume, aggregate distribution, and current flow paths. Maintaining the uniform electric field found in small specimens is difficult in large elements, and the complexity of electrode placement and cabling increases. While applying smart cement sensors locally to critical zones can reduce costs, fabricating the entire element from self-sensing material enables distributed sensing. The appropriate strategy should be selected based on the type of damage to be monitored and the specific structural zone (Ackermann, 2018; Cassese et al., 2021).

The cost of nanomaterials, quality control requirements, and specialized dispersion processes limit widespread adoption. Low-cost additives—such as carbon black—or hybrid systems can improve the balance between cost and sensitivity. However, economic evaluations must consider not only initial material costs but also life-cycle benefits, such as reduced sensor installation needs, earlier maintenance decisions, and minimized downtime. The development of standards regarding acceptance criteria, calibration methods, environmental corrections, and minimum durability requirements is crucial for translating this technology into engineering practice.

6.4. Data analytics and multifunctional systems

Continuous monitoring generates vast amounts of time-series data. Combining physics-based models with data-driven methods can be beneficial for decoupling the effects of load, temperature, humidity, and aging. Machine learning holds potential for predicting damage classes or locations based on signal patterns; however, the training data must be representative of diverse structures and environmental conditions. Otherwise, models that overfit to laboratory data may fail to yield reliable results under field conditions.

Integrating self-sensing capabilities with self-healing, energy harvesting, electromagnetic shielding, or wireless communication paves the way for multifunctional infrastructure materials (Li et al., 2008). However, an increase in the number of functions complicates material design and performance verification. The impact of each new function on mechanical strength, durability, and sensing stability must be evaluated holistically. Research priorities are summarized in Table 3.

Table 3. Priority research areas for transition to practice

Challenge area	Research need	Expected outcome
Dispersion and production	Scalable mixing, dispersion, and quality-control protocols	Lower batch-to-batch variability
Environmental effects	Multivariable calibration incorporating temperature, moisture, and ionic content	Reduced false-alarm rate
Long-term performance	Field validation under real climate and service loads	Determination of service life and maintenance interval
Scale-up	Design of electrode placement, measurement region, and cable management	Reliable signals in full-scale members
Economics	Life-cycle comparison of local sensors and full-volume smart concrete	Application-specific cost-performance selection
Data analytics	Validation of physics-based and data-driven models using independent data	Generalizable damage classification and decision support
Standardization	Common testing, reporting, and acceptance criteria	Comparability among studies and industry acceptance

7. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

The literature reviewed indicates that self-sensing cement-based composites hold significant potential for research and application in structural health monitoring. The piezoresistive mechanism relies on changes in the conductive network—formed by carbon-based additives—induced by mechanical effects, enabling the monitoring of cracks, strain, and load variations through electrical measurements. Meanwhile, piezoelectric and electromechanical impedance-based systems offer complementary options for active excitation, wave propagation, and local damage detection.

Achieving high sensitivity at the material level is not sufficient on its own; factors such as the homogeneous distribution of the conductive additive, the appropriate percolation threshold, electrode configuration, and the measurement protocol must be designed holistically. While carbon nanotubes and graphene derivatives can form effective networks at low concentrations, they present challenges regarding dispersion and cost; carbon fiber and carbon black offer more practical alternatives, whereas hybrid applications can combine conduction pathways across different length scales. The optimal mixture should not be selected solely based on the highest sensitivity factor without first defining the target damage type and service conditions.

Applications involving structural elements have demonstrated that self-sensing zones are sensitive to crack and damage development in beams and columns. However, translating laboratory-scale results to field performance requires addressing issues such as isolating environmental effects, ensuring long-term stability, and managing cabling, data communication, and quality control. Multi-channel measurement, zonal electrode placement, and the combined use of different sensor types can improve damage localization and the management of false alarms.

Four priorities are proposed for future studies. First, common test protocols detailing the steps for mixture preparation and electrical measurement must be developed. Second, long-term field experiments accounting for the effects of temperature and humidity should be conducted. Third, the full-volume smart concrete approach must be compared with the localized cement-based sensor approach in terms of life-cycle costs. Fourth, data-driven damage classification methods should be validated using independent datasets across varying structural, loading, and climatic conditions. Meeting these requirements will facilitate the transition of self-sensing concrete from an experimental material concept into a reliable engineering monitoring system.

KAYNAKLAR

- Ackermann, K. (2018). Self-sensing concrete for structural health monitoring of smart infrastructures [Doctoral dissertation, University of Rhode Island]. <https://doi.org/10.23860/THESIS-ACKERMANN-KAY-2018>
- Alwis, L. S. M., Bremer, K., & Roth, B. (2021). Fiber optic sensors embedded in textile-reinforced concrete for smart structural health monitoring: A review. *Sensors*, 21(15), 4948. <https://doi.org/10.3390/s21154948>
- Bekzhanova, Z., Memon, S., & Kim, T. Y. (2021). Self-sensing cementitious composites: Review and perspective. *Nanomaterials*, 11(9), 2355. <https://doi.org/10.3390/nano11092355>
- Cassese, P., Rainieri, F., & Occhiuzzi, C. (2021). Applications of cement-based smart composites to civil structural health monitoring: A review. *Applied Sciences*, 11(18), 8530. <https://doi.org/10.3390/app11188530>
- Castañeda-Saldarriaga, D. A., Martínez-Argüelles, M. A., & Tobón, J. I. (2021). Toward structural health monitoring of civil structures based on self-sensing concrete nanocomposites: A validation in a reinforced-concrete beam. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 15, 3. <https://doi.org/10.1186/s40069-020-00451-8>
- Chaipanich, A., Rianyai, T., & Potong, R. (2023). Piezoelectric composite cements: Towards the development of self-powered and self-diagnostic materials [Preprint]. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.00352>
- Dinesh, S. V. (2022a). Carbon-based nanomaterial embedded self-sensing cement composite for structural health monitoring of concrete beams: An extensive review. *Materials Research Proceedings*, 23, 229-238. <https://doi.org/10.21741/9781644901953-25>
- Dinesh, S. V. (2022b). Development of self-sensing cement composite using nanomaterials for structural health monitoring of concrete columns: A comprehensive review. *Materials Research Proceedings*, 23, 207-216. <https://doi.org/10.21741/9781644901953-23>
- Downey, A., D'Alessandro, A., Baquera, M., García-Macías, E., Rolfes, D., Ubertini, F., Laflamme, S., & Castro-Triguero, R. (2017). Continuous and embedded solutions for SHM of concrete structures using changing electrical potential in self-sensing cement-based composites. *Proceedings of SPIE*, 10168. <https://doi.org/10.1117/12.2261427>
- Gayakwad, H., Thiyagarajan, D., Palanisamy, J. R., Arumugam, K., Sharma, R., & Chakraborty, S. (2022). Structural damage detection through EMI and wave propagation techniques using embedded PZT smart sensing units. *Sensors*, 22(6), 2296. <https://doi.org/10.3390/s22062296>
- Gomes, H. M., Silva, R. A., & Beck, A. T. (2024). Fibre optic-based patch sensor for crack monitoring in concrete structures. *Strain*, 60(3), e12489. <https://doi.org/10.1111/str.12489>

- Gong, W., et al. (2023). Building the future: Empowering smart structures with in-concrete backscatter networks. In Proceedings of ACM MobiCom. <https://doi.org/10.1145/3603165.3607370>
- Guo, R., Jiang, B., Jian, Q., Zhou, M., Niu, D., & Hao, T. (2023). Self-sensing ultra-high performance concrete: A review. *Measurement Science and Technology*, 35(2), 022003. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ad092d>
- Han, B., Zhang, L., & Ou, J. (2017). Self-sensing concrete. In *Smart and multifunctional concrete toward sustainable infrastructures* (Chapter 6). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4349-9_6
- Horszczaruk, E., Sikora, P., Cendrowski, K., & Mijowska, E. (2016). Application of nanomaterials in production of self-sensing concretes: Contemporary developments and prospects. *Archives of Civil Engineering*, 62(4). <https://doi.org/10.1515/ace-2015-0083>
- Jiang, Z., Gu, K., She, W., Cai, J., Pan, Y., & Jiang, J. (2024). Advancing carbon nanomaterials-engineered self-sensing cement composites for structural health monitoring: A state-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 86, 109129. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109129>
- Li, Z., Zhang, D., & Wu, K. (2008). Smart concrete, sensors and self-sensing concrete structures. *Key Engineering Materials*, 400-402, 69-80. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.400-402.69>
- Lian, H., Sun, Y., Gao, X., & Sun, Y. (2021). Review of self-sensing capability of ultra-high performance concrete. *Frontiers in Materials*, 8, 746022. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.746022>
- Liao, W. I., Hsiao, J. M., Chiu, C. K., & Ho, C. H. (2011). Structural health monitoring of concrete columns subjected to seismic excitations using piezoceramic-based sensors. *Smart Materials and Structures*, 20(12), 125015. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/20/12/125015>
- Luo, J., Chung, C., & Li, S. (2017). Numerical analysis and optimization on piezoelectric properties of 0-3 type piezoelectric cement-based materials with interdigitated electrodes. *Applied Sciences*, 7(3), 233. <https://doi.org/10.3390/app7030233>
- Meoni, A., D'Alessandro, A., Materazzi, A. L., & Ubertini, F. (2021). A multichannel strain measurement technique for nanomodified smart cement-based sensors in reinforced concrete structures. *Sensors*, 21(16), 5633. <https://doi.org/10.3390/s21165633>
- Roopa, A. K., Jagannatha Reddy, H. N., & Dinesh, S. V. (2020). Smart hybrid nano composite concrete embedded sensors for structural health monitoring. *Materials Today: Proceedings*, 27, 603-609. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.071>
- Roopa, A. K., Jagannatha Reddy, H. N., & Dinesh, S. V. (2022). Development and implementation of cement-based nanocomposite sensors for structural health monitoring applications: Laboratory investigations and way forward. *Sustainability*, 14(19), 12452. <https://doi.org/10.3390/su141912452>

- Sha, F., Xu, D., Cheng, X., & Huang, S. (2021). Mechanical sensing properties of embedded smart piezoelectric sensor for structural health monitoring of concrete. *Research in Nondestructive Evaluation*, 32(2), 88–112. <https://doi.org/10.1080/09349847.2021.1887418>
- Song, G., Gu, H., & Mo, Y. L. (2007). Concrete structural health monitoring using embedded piezoceramic transducers. *Smart Materials and Structures*, 16(4), 959-968. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/16/4/003>
- Ubertini, F., Materazzi, A. L., D'Alessandro, A., & Laflamme, S. (2017). Recent advances on SHM of reinforced concrete and masonry structures enabled by self-sensing structural materials. In *Proceedings of the 4th International Electronic Conference on Sensors and Applications*. <https://doi.org/10.3390/ecsa-4-04889>
- Wang, L., Aslani, S., Sadeghian, H., & Chung, D. D. L. (2023). Structural performance of reinforced concrete beams with 3D printed cement-based sensor embedded and self-sensing cementitious composites. *Engineering Structures*, 275, 115266. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115266>
- Wang, S., Chung, D. D. L., & Chung, J. H. (2018). Strain monitoring of concrete components using embedded carbon nanofibers/epoxy sensors. *Construction and Building Materials*, 186, 367-378. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.147>
- Yıldırım, G., Sarwary, M. H., Al-Dahawi, A., Öztürk, O., Anıl, Ö., & Şahmaran, M. (2018). Piezoresistive behavior of CF-and CNT-based reinforced concrete beams subjected to static flexural loading: Shear failure investigation. *Construction and Building Materials*, 168, 266-279.
- Zhang, J., Li, Y., Du, G., & Song, G. (2016). Intrinsic self-sensing concrete for smart infrastructures. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. <https://doi.org/10.6052/J.ISSN.1000-4750.2021.06.ST02>

TOPLUMSAL GÜZELLİK ALGISI VE ÖZDEĞER İLİŞKİSİ: THE UGLY STEPSISTER FİLMİ ÜZERİNDEN GÖSTERGEBİLİMSEL ANALİZ

Öğr. Gör. Ayşenur KUŞKAPAN UÇAR

İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Sosyal Hizmet, aysenurucar@esenyurt.edu.tr , 009-0002-0427-4060

Özet

Bu çalışma, Emilie Blichfeldt'in 2025 tarihli The Ugly Stepsister filmini, toplumsal güzellik algısı ile bireysel özdeğer duygusu arasındaki ilişkiyi göstergebilimsel bir çerçevede tartışmak amacıyla incelemektedir. Grimm Kardeşler'in Külkedisi masalını üvey kız kardeş Elvira'nın bakış açısından yeniden anlatan film, beden korkusu (body horror) türünün imgeleriyle güzelliğin "doğal" değil, bedene şiddet yoluyla üretilen bir gösterge olduğunu görünür kılmaktadır. Çalışmanın kavramsal çerçevesi, Roland Barthes'ın gösterge ve mit kuramını temel almakta; bu çerçeve Naomi Wolf'un güzellik miti, Susan Bordo ve Michel Foucault'nun beden ve disiplinci iktidar okuması, Laura Mulvey'in erkek bakışı kavramı, Julia Kristeva'nın abjeksiyon kavramı ve Barbara Creed'in canavarsı-dişil kuramı ile Jack Zipes'in masal ideolojisi çözümlemesiyle desteklenmektedir. Yöntem olarak nitel göstergebilimsel çözümleme ve amaçlı örneklem kullanılmış; filmin beden, ayna, anne figürü, cam ayakkabı ve renk kontrastı gibi merkezi göstergeleri çözümlenmiştir. Bulgular, özdeğerin bağımsız bir gösterilen değil, toplumsal onay ve güzellik göstergesinin ikincil bir etkisi olarak kurulduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak film, güzellik mitini doğallıktan çıkararak, özdeğerin güzellik göstergesi yerine ikame edildiği kültürel düzeneği eleştirel biçimde görünür kılmaktadır. Çalışma, alanyazına toplumsal cinsiyet, beden ve popüler kültür çalışmalarını kesişimsel biçimde bir araya getiren bir örnek olay sunarak katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: göstergebilimsel analiz, güzellik miti, özdeğer, beden korkusu, toplumsal cinsiyet

SOCIAL PERCEPTION OF BEAUTY AND SELF-WORTH: A SEMIOTIC ANALYSIS THROUGH THE FILM THE UGLY STEPSISTER

Abstract

This study examines Emilie Blichfeldt's 2025 film *The Ugly Stepsister* in order to discuss, within a semiotic framework, the relationship between societal perceptions of beauty and individual self-worth. Retelling the Cinderella tale from the stepsister Elvira's point of view, the film uses body-horror imagery to expose beauty as a sign produced through violence upon the body rather than a natural attribute. The conceptual framework draws primarily on Roland Barthes's theory of the sign and myth, supported by Naomi Wolf's beauty myth, Susan Bordo's and Michel Foucault's reading of the body and disciplinary power, Laura Mulvey's concept of the male gaze, Julia Kristeva's abjection and Barbara Creed's monstrous-feminine, and Jack Zipes's analysis of fairy-tale ideology. A qualitative semiotic analysis with purposive sampling was employed, focusing on the film's central signs: the body, the mirror, the mother figure, the glass slipper, and colour contrast. The findings show that self-worth is constructed not as an independent signified but as a secondary effect of societal approval and the beauty sign. The study concludes that the film denaturalises the beauty myth and critically exposes the cultural mechanism through which the beauty sign is substituted for self-worth, contributing an intersectional case study to the literature on gender, the body, and popular culture.

Keywords: semiotic analysis, beauty myth, self-worth, body horror, gender

1. GİRİŞ

Emilie Blichfeldt'in 2025 tarihli Norveç yapımı *The Ugly Stepsister* (Den stygge stesøsteren), Grimm Kardeşler'in Külkedisi masalının, üvey kız kardeş Elvira'nın bakış açısından yeniden anlatılmış, beden korkusu (body horror) türüne ait bir uyarlamasıdır. Film, klasik masalın "güzellik ödüllendirilir, çirkinlik cezalandırılır" ekonomisini yüzeye çıkararak, bu ekonominin kadın bedeni üzerindeki fiziksel ve psikolojik tahribatını görünür kılar. Bu çalışmanın amacı, filmi göstergebilimsel bir çerçevede okuyarak, toplumsal güzellik algısının bireyin özdeğer duygusuyla nasıl bir gösterge zinciri içinde eklemelendiğini tartışmaktır. Çalışmanın önemi, güzellik ve özdeğer arasındaki ilişkiyi soyut bir toplumsal eleştiri olarak değil, popüler bir kültürel metnin somut göstergeleri üzerinden, disiplinlerarası bir kavramsal çerçeveye ortaya koymasından kaynaklanmaktadır.

1.1. Kuramsal Çerçeve

Bu çalışmanın temel kavramsal zemini, Roland Barthes'ın (1957/1972) gösterge ve mit kuramıdır. Barthes'a göre mit, ikinci dereceden bir göstergebilimsel sistemdir: birinci düzeydeki dil-nesnesi (gösteren + gösterilen = gösterge), ikinci düzeyde yeni bir gösteren olarak işlev görür ve tarihsel/kültürel bir anlamı "doğal" ve "sorgulanamaz" hale getirir. Barthes bu süreci, burjuva kültürünün tarihsel olanı doğallaştırma eğilimi olarak tanımlar (Barthes, 1957/1972). Bu çerçevede "güzellik", doğal bir olgu gibi sunulan ama aslında tarihsel-ataerkil bir değişim ekonomisinin ürünü olan bir mit olarak okunabilir.

Bu temel çerçeveye dört tamamlayıcı kuramsal hat eklenmektedir. Birincisi, Naomi Wolf'un (1990) "güzellik miti" kavramıdır; Wolf, güzellik standardının kadınları itaatkâr kılan bir toplumsal kontrol mekanizması olarak işlediğini ve bu standardın doğal değil, tarihsel ve ekonomik çıkarlarla üretildiğini öne sürer. İkincisi, Susan Bordo'nun (1993) beden ve toplumsal düzenleme üzerine çalışması, kadın bedeninin kültürel normların yazıldığı bir yüzey olarak kavramsallaştırılmasına imkân tanır; bu okuma, Michel Foucault'nun (1975/1977) disiplinci iktidar ve beden politikaları kuramına dayanır: Foucault'ya göre modern iktidar, bedeni doğrudan bir güç kaynağı olarak değil, sürekli özdenetim ve normalleştirme yoluyla düzenlenen bir nesne olarak üretir.

Üçüncüsü, Laura Mulvey'in (1975) "erkek bakışı" (male gaze) kavramı, filmdeki ayna ve onay arayışı sahnelerinin çözümlenmesinde merkezi bir araç sunar: Mulvey'e göre klasik anlatı sinemasında kadın figürü, erkek bakışının nesnesi olarak kurulur ve kadının kendilik algısı bu bakış aracılığıyla dolayımlanır. Dördüncüsü, Julia Kristeva'nın (1980/1982) abjeksiyon kavramı ve Barbara Creed'in (1993) bunu korku sinemasına uyarladığı "canavarı-dışıl" (monstrous-feminine) kuramı, filmin beden korkusu imgelerini (kan, doku, bedensel sıvı) çözümllemek için kullanılmaktadır; Creed'e göre korku filmlerinde kadın bedeni, toplumsal

olarak bastırılmış olanın (abject) geri dönüşünün mekânı hâline gelir. Son olarak, Jack Zipes'in (2006) masal ideolojisi üzerine çalışması, Külkedisi anlatısının güzellik-erdem-ödül bağlantısını kuran ideolojik işlevini tarihselleştirmek için referans alınmaktadır.

Bu beş kaynaktan türetilen ortak varsayım şudur: güzellik, bireysel bir zevk meselesi değil, iktidar ilişkileri içinde üretilen ve bedene kazınan bir gösterge sistemidir; özdeğer ise bu sistemin ürettiği ikincil bir etkidir. İzleyen bölümler, filmin somut göstergelerini bu beş kavramsal eksen üzerinden okumaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada nitel göstergebilimsel çözümleme yöntemi kullanılmıştır. Çözümlemenin kuramsal zemini, Barthes'ın (1957/1972) gösteren/gösterilen ayrımı ve birinci/ikinci düzey anlamlandırma (düz anlam/yan anlam-mit) modelidir. Veri kaynağı, filmin kendisi ve filme ilişkin kamuya açık eleştiri ve tanıtım materyalleridir; çalışma doğrudan alıntı içermemekte, olay örgüsü ve sahne bilgisi bu kaynaklardan derlenmektedir.

Çözümleme birimi olarak, filmin güzellik-özdeğer ilişkisini en yoğun biçimde taşıyan beş motif amaçlı örneklem yoluyla seçilmiştir: beden, ayna, anne figürü, cam ayakkabı ve renk paleti/görsel kontrast. Her motif, kavramsal çerçevede belirtilen kuramsal hatlardan biri veya birkaçıyla ilişkilendirilerek (kavramsal üçgenleme) okunmuş; bulgular bölümünde bu okumalar sistematik biçimde sunulmuştur. Çözümlemenin sonunda, tekil bulgular bir gösterge zinciri modelinde sentezlenmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde filmin beş merkezi göstergesi -beden, ayna, anne figürü, cam ayakkabı ve renk kontrastı-kavramsal çerçevede belirtilen kuramsal hatlar temelinde çözümlenmekte; bulgular bölümünün sonunda bu göstergelerin birlikte oluşturduğu gösterge zinciri modeli bir tabloyla özetlenmektedir.

3.1. Beden: Ham Madde Olarak Gösterge

Elvira'nın bedeni, filmin merkezi göstergesidir. Anlatı boyunca burnun çekiçle kırılması, kirpiklerin dikilmesi, bağırsağa şerit solucan yumurtası yutulması gibi sahneler, güzelliğin doğal bir gösterilen değil, kanlı bir üretim süreci olduğunu ortaya koyar. Bu sahneler, Kristeva'nın (1980/1982) abjeksiyon kavramıyla okunabilir: beden sınırlarının ihlali (kan, doku, sıvı), öznenin bastırdığı ama tamamen dışlayamadığı bir "aradalık" durumunu sahneye taşır. Creed'in (1993) korku sineması okumasında olduğu gibi, kadın bedeni burada da toplumsal olarak bastırılanın geri döndüğü bir yüzey işlevi görür. Aynı zamanda Bordo'nun (1993) ve Foucault'nun (1975/1977) çerçevesinde, bedenin cerrahi/fiziksel müdahaleyle "düzeltilmesi", disiplinci iktidarın bedeni norm etrafında biçimlendirme pratiğinin abartılı bir sahnelenişi olarak görülebilir.



Şekil 1. Beden: gösterge olarak dikiş izi (temsili illüstrasyon)

3.2. Ayna ve Bakış: Özdeğerin Dışsallaşması

Ayna motifi, özdeğerin içsel değil dışsal bir kaynaktan devşirildiğini gösteren bir göstergedir. Elvira kendi değerini aynadaki yansımasından değil, annesinin onayından ve Prens'in potansiyel bakışından okur. Bu sahne, Mulvey'in (1975) erkek bakışı kavramıyla doğrudan örtüşür: Mulvey'e göre kadın karakter, anlatı içinde bakılan/arzu edilen bir nesne olarak kurulur ve kadının kendilik algısı bu dışsal bakışın onayına bağımlı hâle gelir. Elvira "olmak" değil, "arzu edilecek biri gibi görünmek" ister; bu, filmin en temel göstergebilimsel önermesidir: özdeğer, bağımsız bir iç gösterilen değil, dışsal bir onay göstergesinin yansımasıdır.



Şekil 2. Ayna: özdeğerin dışsal kaynağı (temsili illüstrasyon)

3.3. Anne Figürü: Miti Aktaran Kurum

Üvey anne Rebekka, güzellik mitinin kurumsal taşıyıcısıdır. Kızını cerrahi ve diyet yoluyla "değerli" kılma çabası, Wolfun (1990) tarif ettiği kuşaklararası aktarım mekanizmasının somutlaşmış bir örneğidir: güzellik standardı, bireysel bir tercih değil, anne-kız ilişkisi aracılığıyla yeniden üretilen bir toplumsal zorunluluktur. Anne burada gösterge sisteminin hem kurbanı hem de failidir; kendisi de aynı mite tabi olduğu için, bu miti

kızına şefkat kisvesi altında aktarır — Wolfun (1990) analiz ettiği, güzellik mitinin kadınları birbirine karşı bir denetim ağına dönüştürme dinamiğiyle örtüşen bir örüntüdür.

3.4. Cam Ayakkabı: Bedenin Sığdırılamazlığı

Klasik masaldaki cam ayakkabı, orijinal öyküde de "doğru" bedeni "yanlış" bedenden ayıran bir ölçüm aracıdır (Grimm versiyonunda üvey kardeşler ayak parmaklarını keserler). Zipes'in (2006) masal ideolojisi çözümlemesine göre, geleneksel masal biçimi güzellik-erdem-ödül arasında doğrudan bir nedensellik kurarak bu değerleri "doğal" bir ahlaki düzen gibi sunar. Filmde bu gösterge, ölçünün bedene değil, bedenin ölçüye uydurulması gerektiği fikrini abartılı biçimde somutlaştırarak Zipes'in işaret ettiği ideolojik düzeneği tersine çevirir ve görünür kılar: gösterilen (kadının "uygunluğu") sabittir, bedenin ona uyum sağlaması beklenir — tam tersi değil.



Şekil 3. Cam ayakkabı: bedenin ölçüye sığdırılması (temsili illüstrasyon)

3.5. Renk Paleti ve Görsel Kontrast

Film, masalsı pastel tonlar ile cerrahi/organik iğrençlik (kan, kusmuk, çürüme) arasında keskin bir görsel kontrast kurar. Bu kontrast, Creed'in (1993) abjeksiyon temelli korku sineması okumasıyla örtüşür: fantastik/masalsı kod (pastel, ışık, müzik) toplumsal güzellik idealinin sunumunu, bedensel/gerçekçi kod (kan, doku, sıvı) ise bu idealin bastırılmış maliyetini temsil eder. Görsel kompozisyonun bu iki kodu aynı karede sürekli çarpıştırması, seyirciyi mitin idealize edici yüzeyiyle onun bastırdığı gerçeklik arasında konumlandırır.



Şekil 4. Sunum/maliyet kontrastı: pastel kod ile bedensel kod (temsili illüstrasyon)

3.6. Güzellik-Özdeğer İlişkisinin Göstergebilimsel Modeli

Filmin kurduğu gösterge zinciri, kavramsal çerçevede özetlenen kuramsal hatların bir sentezi olarak Tablo 1'de özetlenmektedir. Bu zincirde özdeğer, bağımsız bir gösterilen değil, güzellik göstergesinin ikincil bir etkisi olarak konumlanır. Elvira'nın trajedisi tam olarak buradadır: özdeğerini üretebileceği tek kanal olarak dışsal güzellik göstergesini görür ve bu kanalın tükenmez taleplerine bedenini feda eder. Filmin final sahnesi — ayağı ayakkabıya zorla sığdırma girişimi — bu zincirin mantıksal sonucudur: gösterge sisteminin tükenmez talebi, bedenın fiziksel sınırlarını aşınca şiddete dönüşür.

Tablo 1. Güzellik-özdeğer ilişkisini oluşturan gösterge zinciri

Aşama	Gösterge / Kavram
1. Toplumsal onay	Erkek bakışı (Mulvey, 1975)
2. Güzellik miti	Barthes (1957/1972); Wolf (1990)
3. Bedene kazınan disiplin	Foucault (1975/1977); Bordo (1993)
4. Özdeğer	Elvira'nın kendini algılayışı

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

The Ugly Stepsister, Barthes'ın (1957/1972) mit kuramı ile Mulvey (1975), Wolf (1990), Bordo (1993), Foucault (1975/1977), Kristeva (1980/1982), Creed (1993) ve Zipes'in (2006) kavramsal katkılarının birlikte okunmasıyla, güzellik mitini doğallıktan çıkaran ve onu üreten toplumsal-ataerkil mekanizmayı görünür kılan bir göstergebilimsel eleştiri sunar. Filmin temel tezi, özdeğerin güzellik göstergesine içkin olmadığı, tam tersine güzellik göstergesinin özdeğer yerine ikame edildiği bir kültürel düzenek kurulduğudur. Beden korkusu türünün somut, tiksindirici imgeleri, bu ikamenin soyut toplumsal eleştirisini duyusal ve unutulmaz bir düzeye taşımanın aracı işlevi görür.

Bulgular tartışıldığında, çalışmanın birtakım sınırlılıkları göz önünde bulundurulmalıdır. İlk olarak, göstergebilimsel çözümleme doğası gereği yorumsamacıdır ve tekil bir film örneğine dayanmaktadır; bu nedenle bulgular, beden korkusu türünün veya masal uyarlamalarının tamamına genellenemez. İkinci olarak, çalışma metin-merkezli bir okuma sunmakta olup, izleyicinin filmi fiilen nasıl aldığına (alımlama) ilişkin ampirik veri içermemektedir; dolayısıyla önerilen gösterge zincirinin izleyici deneyimindeki karşılığı doğrudan sınanmamıştır. Üçüncüsü, kavramsal çerçevede bir araya getirilen kuramlar (Barthes, Wolf, Bordo, Foucault, Mulvey, Kristeva, Creed, Zipes) farklı disiplinlerden ve dönemlerden gelmekte olup, bu kavramsal üçgenleme zenginlik sağlarken bazı kuramsal gerilimleri de (örneğin psikanalitik ve toplumsal-yapısalcı yaklaşımlar arasındaki farklar) geri planda bırakmış olabilir.

Bu sınırlılıklar doğrultusunda ileride yapılacak çalışmalar için şu öneriler sunulabilir: (1) İzleyicilerle yapılacak nitel alımlama araştırmaları, önerilen gösterge zincirinin gerçek izleyici deneyimindeki karşılığını sınayabilir; (2) The Ugly Stepsister, diğer Külkedisi uyarlamaları veya beden korkusu türündeki başka filmlerle karşılaştırmalı olarak incelenerek bulguların tür-genelinde geçerliliği test edilebilir; (3) güzellik-özdeğer ilişkisi, farklı kültürel bağlamlarda üretilmiş masal uyarlamaları üzerinden kültürlerarası bir karşılaştırmayla zenginleştirilebilir; (4) sosyal hizmet ve ruh sağlığı alanında çalışanlar için, medya okuryazarlığı ve beden imgesiyle ilişkili önleyici/koruyucu müdahale programlarının tasarımında bu tür göstergebilimsel çözümlemelerden yararlanılması önerilmektedir.

Not: Bu analiz filmin kamuya açık eleştirisi ve tanıtım materyallerinden derlenen olay örgüsü bilgisine ve aşağıda listelenen göstergebilimsel/kuramsal kaynaklara dayanmaktadır; doğrudan alıntı içermez. Belgedeki görseller filmde kareler değil, analiz için üretilmiş özgün temsili illüstrasyonlardır.

KAYNAKLAR

- Barthes, R. (1972). *Mythologies* (A. Lavers, Çev.). Hill and Wang. (Orijinal eser 1957'de yayımlanmıştır)
- Bordo, S. (1993). *Unbearable weight: Feminism, Western culture, and the body*. University of California Press.
- Creed, B. (1993). *The monstrous-feminine: Film, feminism, psychoanalysis*. Routledge.
- Foucault, M. (1977). *Discipline and punish: The birth of the prison* (A. Sheridan, Çev.). Pantheon Books.
(Orijinal eser 1975'te yayımlanmıştır)
- Kristeva, J. (1982). *Powers of horror: An essay on abjection* (L. S. Roudiez, Çev.). Columbia University Press.
(Orijinal eser 1980'de yayımlanmıştır)
- Mulvey, L. (1975). Visual pleasure and narrative cinema. *Screen*, 16(3), 6–18.
<https://doi.org/10.1093/screen/16.3.6>
- Wolf, N. (1990). *The beauty myth: How images of beauty are used against women*. William Morrow.
- Zipes, J. (2006). *Why fairy tales stick: The evolution and relevance of a genre*. Routledge.

KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA DİJİTAL RESTORASYONUN ÖNEMİ

Dr., Merve DENİZ DEMİREL¹

¹Bağımsız Araştırmacı, Mimarlık, deniz_merve13@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-6341-0264

Özet

İnsanoğlu tarihsel süreç boyunca kendi tarihi, mimari ve kültürel özelliklerini kentlere aktarmıştır. Söz konusu kentler ise birer devinim halinde olup daima bir gelişim ve değişim içerisinde olmuştur. Zamanla nesilden nesile aktarılmış ve bu sayede pek çok değerler bünyesinde biriktirmiştir. Zamanla evrensel bir nitelik kazanarak tüm insanlığın ortak mirası haline gelmiştir. Dolayısıyla topluma dair bilgiler içeren, insanlığın birlik ve beraberlik duygusunu güçlendiren ve gelecek kuşaklara aktarılan somut ve somut olmayan değerlere kültürel miras denilmiştir. Zira korunarak gelecek kuşaklara aktarılmalrı önem arz etmektedir. Günümüzde teknolojinin getirdiği dijitalleşme süreciyle birlikte yeni uygulamaların sayısı artmıştır. Böylelikle kültürel mirasın belgelenmesi, korunması, sergilenmesi için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı kültürel miras değerlerinin korunmasında dijital restorasyonun önemini vurgulamaktır. Bu kapsamda kapsamlı bir literatür taraması yapılarak kavramsal çerçeve oluşturulmuş ardından dijital restorasyon uygulamaları örneklerle anlatılmıştır. Bu sayede günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte gelen dijitalleşme sürecinin restorasyon uygulamalarına yeni bir anlam kazandırdığı ve kültürel mirasın korunmasında önemli bir yere sahip olduğu anlaşılmıştır. Nitekim bu kapsamda günümüzde çeşitli uygulamaların olduğunu belirtmekte fayda vardır. 3 boyutlu rekonstrüksiyon, AR (Artırılmış Gerçeklik), VR (Sanal Gerçeklik), mobil uygulamalar bunlardan bazılarıdır. Bu sayede kültürel miraslara erişmek, kayıt altına almak, depolamak daha mümkün olmaktadır. Teknoloji ile birlikte kültürel mirasın dijitalleşmesi, muhafaza edilmesi, arşivlenmesi daha kolaylaşmıştır. Zira bu teknolojiler sayesinde restorasyon ve onarım çalışmaları da genişlemiştir. Bunun yanı sıra dijital restorasyon, kültürel mirasın özgün haline ve işlevine kavuşması amacıyla dijital teknolojilerle yapılmaktadır. Dijital tarayıcılar, Photoshop, AutoCAD, Lightroom, 3D Modelleme gibi çeşitli yazılımlarla yapılmaktadır. Mirasın fiziki durumu, bozulmaları ve hasar türleri tespit edilerek veriler toplanmaktadır. Toplanan veriler ise 3D Modelleme ve Fotogrametri gibi tekniklerle dijital ortama aktarılmaktadır. Bu bağlamda günümüzde dijitalleşme ile birlikte önemli bir yöntem olduğunu söylemek mümkündür.

Anahtar kelimeler: Kültürel miras, koruma, dijital restorasyon, teknoloji

THE IMPORTANCE OF DIGITAL RESTORATION IN THE PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE

Abstract

Throughout history, humanity has imbued cities with its historical, architectural, and cultural characteristics. These cities are dynamic entities, constantly undergoing development and change. Over time, they have been passed down from generation to generation, accumulating a wealth of values along the way. Eventually, they acquired a universal quality, becoming the common heritage of all humanity. Consequently, the term "cultural heritage" refers to tangible and intangible values—containing knowledge about society and fostering a sense of human unity and solidarity—that are transmitted to future generations. Preserving these assets and passing them on to the future is of great importance. In recent times, the process of digitalization driven by technological advancements has led to a proliferation of new applications. Various applications have thus been developed for the documentation, preservation, and exhibition of cultural heritage. This study aims to highlight the importance of digital restoration in preserving cultural heritage values. To this end, a comprehensive literature review was conducted to establish a conceptual framework, followed by an explanation of digital restoration practices illustrated with examples. The study demonstrates that the digitalization process accompanying technological progress has imbued restoration practices with new meaning and established a significant role for them in cultural heritage preservation. Indeed, it is worth noting the variety of applications currently available, such as 3D reconstruction, AR (Augmented Reality), VR (Virtual Reality), and mobile applications. These tools make it easier to access, record, and store cultural heritage. Technology has facilitated the digitalization, preservation, and archiving of cultural heritage, while also expanding the scope of restoration and repair efforts. Furthermore, digital restoration utilizes digital technologies to restore cultural heritage assets to their original state and functionality. Processes are carried out using various software tools such as digital scanners, Photoshop, AutoCAD, Lightroom, and 3D modeling applications. Data is gathered by identifying the physical condition, deterioration, and types of damage affecting the heritage asset. This collected data is then transferred to a digital environment using techniques such as 3D modeling and photogrammetry. In this context, it can be said that this represents a significant method in the era of digitalization.

Keywords: Cultural heritage, conservation, digital restoration, technology

1. GİRİŞ

Kentler, tarihsel süreç boyunca insanlığın yaşamsal faaliyetlerinin devam ettirdiği bir yer olmuştur. Her toplum kendi mimari, tarihi ve kültürel özelliklerini aktarmıştır. Dolayısıyla tarih boyunca sürekli bir biçimde değişip gelişmişlerdir. Toplumların kentlere aktardığı özellikler zamanla evrensel bir değer kazanarak tüm insanlığın ortak mirası olmuştur. Zira sosyal ve doğal çevrenin bütünselliği ile toplumun maddi ile manevi değerleri kültür kavramını meydana getirmiştir. Söz konusu kavram, gelecek kuşaklara aktarıldığında miras niteliğine ulaşmaktadır. Bu bağlamda kültürel miras, topluma dair bilgiler içeren, bireylerin birlik ve beraberlik duygusunu kuvvetlendiren ve gelecek nesillere aktarılması gereken somut ile somut olmayan değerlere kültürel miras denilmektedir (Can, 2009). Birer belge niteliğinde oldukları için korunarak gelecek kuşaklara aktarılmalrı önem arz etmektedir (Tweed & Sutherland, 2007). Nitekim geçmiş ile gelecek arasında köprü kurdukları, toplumların kültürel ve tarihi özelliklerini yansıttıkları ve kişilerin yaşamlarından kesitler sundukları için toplum tarafından tarih boyunca korunmak istemişlerdir.

18. yüzyılda Fransız İhtilali ile halk, kral ve çevresine karşı biriken kin ile nefretini yapıları yıkarak çıkartmıştır. Ancak bunun yapılarla bir ilgisinin olmadığını fark edince korumak istemiştir. İlk kapsamlı koruma çalışmaları ise 19. yüzyılda Viollet-le-Duc'ün öncülüğünde olmuş olup yapıların ilk yapıldıkları zamana göre 'Üslup Birliğine Varma' olgusuyla yapılması gerektiği savunulmuştur. Fakat William Morris ve John Ruskin tarafından ise bu duruma kesinlikle karşı çıkılmış ve 'Romantik Görüş' olgusu ile restorasyon yapılmaması vurgulanmıştır. Bu dönemde Luca Beltrami tarafından 'Tarihi Restorasyon' ile Camillo Boito tarafından 'Çağdaş Restorasyon' fikirleri öne sürülmüştür (Ahunbay, 2009). Sanayi Devrimi ardından gelen I. Dünya Savaşı ile tarihi ve doğal yerler yıkılmıştır. Bu yıkımları önlemek amacıyla 1931'de Mimarlar ve Teknisyenlerin I. Uluslararası Konferansı düzenlenmiş olup restorasyon kuralları kabul edilmiş, 1933'te ise Atina Anlaşma imzalanarak tarihi yapıların bir bütün olarak korunmasının gerekli olduğu ifade edilmiştir. 1946'da II. Dünya Savaşı sonrasında yıkılan yerlerin onarımı ve yeni bir yıkımın önüne geçmek için Birleşmiş Milletler tarafından UNESCO, 1959 senesinde ise kültür varlıklarının korunması ve onarılması amacıyla ICCROM kurulmuştur. Tüm bu gelişmeler kalıcı bir çözüm sağlayamamış olup ilk kalıcı ve çağdaş koruma anlayışı 1964 yılında düzenlenen II. Mimarlar ve Teknisyenler Konferansı'nda Venedik Tüzüğü'nün kabulüyle olmuştur. Böylelikle tek yapıdan bütüncül korumaya geçilerek tarihi çevreyi koruma önemli bir olgu durumuna gelmiştir. 1965 yılında tarihi çevrelerin, anıtların ve sitlerin korunması amacıyla ICOMOS kurulmuştur (ICOMOS, 2021). 1970'lerden sonra tarihi yapıların korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması amacıyla

dünya miras listeleri oluşturulmaya başlanmış, 1975 yılı Avrupa Mimari Miras Yılı' kabul edilmiştir. 1981 yılında Burra Tüzüğü yayınlanmış ve tarihi çevrelerin korunmasında alan yönetiminin önemi vurgulanmıştır. 1990 senesinde ICAHM arkeolojik mirasın korunması ve yönetilmesi; 1993'te Avrupa Arkeologlar Birliği (EAA) kültürel miras alanlarının korunumu, onarım ve geleceğe aktarımı gayesiyle kurulmuştur (Thomas vd., 2021).

Günümüzde teknolojik ilerlemeler ile gelen dijitalleşme süreci kültürel mirasın korunması, belgelenmesi, sergilenmesi ve gelecek kuşaklara aktarılmasında etkili olmuştur. Kültürel miraslara erişmek, kayıt altına almak, depolamak daha mümkün bir hale gelmiştir. Bununla birlikte kültürel mirasın dijitalleşmesi, muhafaza edilmesi, arşivlenmesi kolaylaşmış, restorasyon ve onarım çalışmaları genişlemiştir. 3 boyutlu rekonstrüksiyon, AR (Artırılmış Gerçeklik), VR (Sanal Gerçeklik), mobil uygulamalar gibi çeşitli uygulamalar önem kazanmıştır. Bu çalışmanın amacı kültürel miras değerlerinin korunmasında dijital restorasyonun önemini vurgulamaktır. Bu kapsamda kapsamlı bir literatür taraması yapılarak kavramsal çerçeve oluşturulmuş ardından dijital restorasyon uygulamaları örneklerle anlatılmıştır.

2. KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA DİJİTAL RESTORASYONUN ÖNEMİ

Kültürel miras değerlerinin korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması, çevresel faktörler, doğal afetler, vandalizm gibi nedenlerle zorlaşmaktadır. Dolayısıyla bu değerlerin korunması için belgelenmesi ve korumaya dair planların geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda uygun belgeleme çalışmaları ile yapının sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Nitekim teknolojinin ilerlemesiyle gelen dijitalleşmeyle beraber yeni çözümler ortaya çıkmıştır. Çizim, fotoğraflama gibi geleneksel yöntemlerin yanında daha hızlı ve detaylı yöntemler geliştirilmiştir. Bu sayede verilerin toplanması, üç boyutlu modellerin oluşturulması, teknik çizimlerin yapılması ve detaylı verilerin arşivlenmesi yapılmaktadır. 3D modeller ve lazer tarama, insansız hava araçları (İHA), HBIM (Historic Building Information Modeling), fotogrametri, CBS, sanal/artırılmış gerçeklik, yapay zekâ söz konusu dijital yaklaşımlardandır.

Fotogrametri, mimari objeye ait görsel veriler, objenin geometrik tanımını, düzlemsel ve uzaysal konumunu, büyüklüğünü, şeklini, doku bilgilerini, ayrıntılarını öğrenmeye yarayan bir tekniktir (Korumaz vd., 2011). Bu kapsamda rölöve ve cephelerinin çıkarılması, tarihi ve arkeolojik alanların belirlenmesi, koruma imar planlarının yapımı, belgeleme çalışması, onarım sonrası yapının özgünlüğü, şehir ve bölge planlama çalışmaları, maket yapımı, yapıların eğilme, bükülme, çökme ya da kayma hareketlerinin ve deformasyonlarının belirlenmesi, yenileme çalışması gibi konularda faydalanılmaktadır (Yılmaz vd., 2007). Bu bağlamda tarihi

yapıların onarımında ve yeniden inşasında kullanılan en yaygın tekniklerden biri olduğunu söylemek mümkündür.

3D modeller ve lazer tarama, bir objenin 3D modelinin oluşturulmasında önemli bir tekniktir. Zira 3D modelleme, bir nesnenin bilgisayar ortamında 3 boyutlu temsilidir. Günümüzde kültürel mirasın dijital ortamda arşivlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu tekniğin düşük maliyetli, taşınabilir ve esnek olması önem arz etmektedir. Bununla birlikte sonuçlar gerçek modele yakın olup bütün detayların modellenmesi önem arz etmektedir (Remondino & El-Hakim, 2006). Ayrıca lazer tarayıcılar fotogrametrik yöntemle nazaran daha doğru sonuç vermektedir. Ancak uygun noktalar ölçülmediği durumlarda yanlış durumlar gözlenmektedir (Almagro & Vidal, 2007). Bu bağlamda kültürel mirasın 3D modelinin yüksek çözünürlüklü, erişilebilir ve paylaşılabılır olması, dijital envanterinin olması gibi özellikleri taşıması beklenmektedir (Remondino & El-Hakim, 2006).

İnsansız hava araçları ile havadan veriler toplanmaktadır. Havadan alınan görüntülerle özellikle çatı ve çevre analizinde kullanılmaktadır. Arazilerin zorlu olduğu yerleşimlerde tarihi yapıların detaylı bir biçimde haritalaması yapılmaktadır. Kullanımı kolay ve hızlı olduğu için tercih edilmektedir (Halaç vd., 2023). Artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) teknolojileri ile yapı sanal ortamda keşfedilmektedir. Gerçekliği yüksek olup etkileşimli bir deneyim sağlamaktadır. Turizm, eğitim, restorasyon gibi amaçlarda kullanılmaktadır. Nitekim AR teknolojisi, çevrede algılanan fiziki unsurlara ait işitsel, görsel ve dokunsal bilgileri bilgisayar ortamında hazırlanan 3B modellerle zenginleştirmekte ve farklı bir gerçeklik algısı sunmaktadır (Uslu & Uysal, 2020). Böylelikle bir nesne tekrardan oluşturulabilmekte ve artırılmış gerçeklik uygulamalarında sanal içerik olarak kullanılabilir (Boboc vd., 2019).

HBIM (tarihi yapı bilgi modellemesi), tarihi yapıların modellenmesi olarak tanımlanmakta olup nokta bulutlarından BIM geometrisi oluşturan araçlardır (Murphy, 2012). Söz konusu araçlar, fotogrametri ile lazer taramadan elde edilen verilerle çalışmaktadır (Yılmaz vd., 2007). Böylelikle yapının modellenme çalışmaları hızlandırılmakta ve hata payı aza indirilmektedir. HBIM'in çalışma prensibinde öncelikle fotogrametri ile lazer taramadan veriler alınıp toplanmakta ve işlenmektedir. Ardından yapıya ait tarihsel ayrıntılar kaynaklardan taranmakta ve tarihi parametrik nesneler tasarlanmaktadır (Kömürcü & Benli Yıldız, 2021). En son ise proje üretilmektedir. Nitekim HBIM teknolojisi sayesinde üç boyutlu modeller, planlar, kesitler ve detaylar üretmek mümkün olmaktadır (Murphy vd., 2013).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzamsal verileri sunmak, değiştirmek, depolamak, görselleştirmek, analiz etmek, yönetmek ve optimize etmek amacıyla kullanılan bir teknolojidir. Nitekim kültürel mirasın

korunmasında büyük veri oluşturmaları anlamında önemli bir çağdaş yöntemdir. Tarihi çevrelerin dokümantasyonu, analizi, risk haritaları, planlar, değerlendirilmesi, uygulama ve yönetimi, kültürel mirasın yönetimi gibi süreçlerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte envanterlerin dijital ortama aktarılmasında da rol oynamaktadır (Durmuşlar & Akyüzler Levi, 2024).

Bu bağlamda değerlendirdiğimizde, kültürel mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılması ve bunun doğru tekniklerle yapılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda kullanılan teknolojik araçlar önem arz etmektedir. Nitekim bu araçlar sayesinde kültürel mirasın belgelenmesi doğru bir biçimde yapılmaktadır. Zira fotogrametri ve lazer tarama gibi teknikler ile yapının cepheleri, strüktürel elemanları, malzeme özellikleri, bozulma durumları üç boyutlu bir biçimde kaydedilmektedir. Zira sadece iki boyutlu belgelemekten öte yapının dijital bir kopyası oluşturulmaktadır. Bunun yanı sıra yapının zaman içerisindeki değişimi, çatlakların gelişimi, bozulmaları, malzeme kayıpları, nem bölgeleri, karşılaştırılabilmektedir. Özellikle sel, deprem, yangın, iklim değişikliği nedeniyle meydana gelen hasarların takip edilmesinde önemlidir. Bunun yanı sıra müdahale kararlarının sınırlı arşiv belgeleri ile yapılmasının önüne geçilmektedir. Yapının farklı veri grupları aynı dijital ortamda bir araya getirilmekte böylelikle yapının onarım öncesi tarihi ve fiziki gibi özelliklerin beraber değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca günümüzde olmayan ya da büyük anlamda hasar görmüş yapıların geçmiş durumları araştırılabilmektedir. Eski fotoğraflar, rölöveler, arşiv belgeleri ve haritalar ile birlikte dijital rekonstrüksiyonların oluşturulması mümkündür. İlaveten afet sonrasında kültürel mirasın korunmasında rol oynamaktadırlar. Deprem bölgelerinde dijital belgeleme ve yapıların afet öncesi durumlarının kaydedilmesi önem arz etmektedir. Nitekim yapının afet öncesinde oluşturulmuş üç boyutlu modeli sayesinde afet sonrasında hasar tespiti yapıp karşılaştırılması yapılarak onarım planlaması oluşturulmaktadır. Bunun yanı sıra yok olmuş tarihi yapıların dijital kayıtlarının oluşturulması ile kültürel miras dijital olarak gelecek kuşaklara aktarılabilmektedir. Ayrıca artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve 3B modeller ile kültürel mirasa erişim arttırılmaktadır. Nitekim araştırmacılar, ziyaretçiler ve öğrenciler fiziki anlamda tarihi bölgeye gitmeden de ziyaret edebilmektedir.

3. SONUÇ

Kentler, tarihsel süreç boyunca insanoğlunun yaşamını idame ettirdiği bir yer olup bünyesinde pek çok medeniyetin izlerini barındırmaktadır. Bu açıdan bakıldığında bir devinim halinde olup sürekli bir değişim ve gelişim içerisinde olmuşlardır. Her toplum kendine ait izler bırakmış ve zamanla bu izler evrensel bir nitelik kazanarak tüm insanlığın ortak mirası olmuştur. Bu mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılması ise önem

arz etmektedir. Zira tarih boyunca günümüze gelene değin çeşitli koruma çalışmaları yapılmıştır. Günümüzde ise teknolojinin ilerlemesi ve dijitalleşme ile kültürel mirasın korunması, belgelenmesi, sergilenmesi ve gelecek kuşaklara aktarılması mümkün olmuştur. Çizim, fotoğraflama gibi geleneksel yöntemlerin yanında daha hızlı ve detaylı yöntemler geliştirilmiştir. 3D modeller ve lazer tarama, insansız hava araçları (İHA), HBIM (Historic Building Information Modeling), fotogrametri, CBS, sanal/artırılmış gerçeklik, yapay zekâ söz konusu dijital yaklaşımlardandır.

Bu çalışma boyunca kültürel miras değerlerinin korunmasında dijital restorasyonun öneminin vurgulanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda kapsamlı bir literatür taraması yapılarak kavramsal çerçeve oluşturulmuş ardından dijital restorasyon uygulamaları örneklerle anlatılmıştır. Bu bağlamda kültürel mirasın belgelenmesinde ve korunarak gelecek kuşaklara aktarılmasında önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte tarihi yapıların zaman içerisindeki değişimlerinin takip edilmesinde, daha doğru onarım kararlarının verilmesinde, yok olmuş ya da hasar görmüş kültürel mirasın tekrardan anlaşılmasında, afet sonrasında kültürel mirasın korunmasında, kültürel mirasın dijital bir biçimde gelecek nesillere aktarılmasında, kültürel mirasa erişimin artırılmasında rol oynamaktadır. Dolayısıyla bu çalışma sayesinde günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte gelen dijitalleşme sürecinin restorasyon uygulamalarına yeni bir anlam kazandırdığı ve kültürel mirasın korunmasında önemli bir yere sahip olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Ahunbay, Z. (2009). *Tarihi çevre koruma ve restorasyon*. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Almagro, A., & Vidal, A. (2007). Traditional drawings versus new representation techniques. In *XXI International CIPA Symposium*, Athens, Greece.
- Boboc, R. G., Duguleană, M., Voinea, G. D., Postelnicu, C. C., Popovici, D. M., & Carrozzino, M. (2019). Mobile augmented reality for cultural heritage: Following the footsteps of Ovid among different locations in Europe. *Sustainability*, 11(4), 1167. <https://doi.org/10.3390/su11041167>
- Can, M. (2009). *Kültürel miras ve müzecilik*. Kültür ve Turizm Bakanlığı.
- Durmuşlar, F., & Akyüz Levi, E. (2023). Kültürel mirasın korunmasında coğrafi bilgi sistemlerinin rolü. In *16th International İstanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering, Architecture, and Mathematical Sciences Proceedings Book*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10776102>
- Güleç Korumaz, A., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel mirasın belgelenmesinde dijital yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 67–83.
- Halaç, H. H., Şahin, Ş., & Çatpınar, R. (2023). Tarihi yapılarda algısal bütünleme yöntemi olarak drone teknolojisi. *The Journal of Academic Social Science*, 140, 33–55. <https://doi.org/10.29228/ASOS.69014>
- ICOMOS. (1964). *Venedik Tüzüğü: Tarihi anıtların ve sitlerin korunması ve restorasyonu için uluslararası tüzük*. <https://www.icomos.org/venicecharter2004/turkish.pdf>
- Kömürcü, E., & Benli Yıldız, N. (2021). Historic building information modelling (HBIM). In *Proceedings of the 4th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism (ICCAUA-2021)*. <https://doi.org/10.38027/ICCAUA2021TR0072N25>
- Murphy, M. (2012). Historic building information modelling (HBIM): For recording and documenting classical architecture in Dublin 1700 to 1830. In *Handbook of research on emerging digital tools for architectural surveying, modeling, and representation* (pp. 233–273). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-8379-2.ch007>
- Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2013). Historic building information modelling: Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006>
- Remondino, F., & El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D modelling: A review. *The Photogrammetric Record*, 21(115), 269–291.

- Thomas, L., Middleton, J., & Phillips, A. (2003). *Guidelines for management planning of protected areas*. IUCN. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/pag-010.pdf>
- Tweed, C., & Sutherland, M. (2007). Built cultural heritage and sustainable urban development. *Landscape and Urban Planning*, 83(1), 62–69.
- Uslu, A., & Uysal, M. (2020). Kültürel mirasın etkileşimli keşfi için mobil artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme teknolojilerinin kullanılması: Sfenks heykeli örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(6), 1024–1031.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M., Güleç, S. A., & Dülgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 428–433. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.07.004>

JASPERWARE VE PORTLAND VAZOSU ÜZERİNDEN WEDGWOOD SERAMİKLERİNİN İNCELENMESİ

Arş. Gör. Dr. Serap ERDOĞAN

Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik ve Cam Bölümü, Seramik,
serdogan@marmara.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-7858-4526>

Özet

Bu çalışma, 18. yüzyıl İngiliz seramik endüstrisinin öne çıkan figürlerinden toplumsal dinamikleri bağlamında incelemeyi amaçlamaktadır. Eliza Meteyard (1865, 1873), N. Hudson Moore (1909), William Burton (1922) ve Llewellynn Jewitt (1865) tarafından ortaya konan tarihsel veriler ışığında, Wedgwood'un geliştirdiği Jasperware, Queen's Ware ve Black Basalt gibi yeniliklerin yalnızca teknik başarılar olarak değerlendirilemeyeceği savunulmaktadır. Söz konusu ürünler, Pierre Bourdieu'nün (1984) ayırım kuramında tanımladığı anlamda sembolik sermaye nesneleri olarak ele alınmaktadır. Bu çerçevede çalışma, Wedgwood'un dönemin yaygın estetik anlayışını endüstriyel disiplinle birleştirmesinin, yükselen burjuvaziye nasıl bir toplumsal meşruiyet alanı sunduğunu çözümlemektedir.

Seramik formlarının kimyasal ve teknik gelişimi, fabrika düzeninin kurulması ve üretimin standartlaştırılması, ürünlerin toplumsal değerini biçimlendiren temel etkenler olarak değerlendirilmektedir. Deneyisel yöntemlerle elde edilen malzeme çeşitliliği, iş bölümüne dayalı çalışma düzeni ve kalite denetimi, Wedgwood ürünlerinin hem güvenilir hem de ayırt edici bir marka kimliği kazanmasını sağlamıştır. Çalışmada, Queen's Ware'in orta sınıfa ulaşılabilir bir soyluluk izlenimi sunarken, en üst düzey parçalara erişimin kontrollü tutulduğu kademeli bir tüketim hiyerarşisi kurduğu ortaya konmaktadır. Böylece ürün yelpazesi, farklı toplumsal katmanların kendi konumlarını görünür kılabilirdiği bir simgesel düzene dönüşmüştür.

Çalışma ayrıca Wedgwood' un şahsında zanaatkarlık ile sanayicilik rollerinin iç içe geçtiğini ve bu ilişkinin üretimin toplumsal anlamını belirlediğini vurgulamaktadır. Portland Vazosunun oluşum süreci de bu bağlamda incelenmekte; söz konusu eserin seçkinlik düzenini nasıl yeniden yapılandığı tartışılmaktadır. Sınırlı sayıda üretim ve erişimin denetlenmesi yoluyla antikitenin sembolik değeri, yeni bir toplumsal sınıfa aktarılmış, klasik miras zengin kesimin kültürel dağarcığına katılmıştır.

Nitel araştırma yaklaşımına uygun biçimde yürütülen çalışmada veriler, amaçlı örneklem yoluyla belirlenen birincil ve ikincil kaynaklardan elde edilmiştir. Çözümleme, sembolik sermaye, habitus ve ayırım kavramları çerçevesinde, materyalist ve fenomenolojik bir bakış açısıyla gerçekleştirilmiştir. Bulgular, Wedgwood seramiklerinin 18. yüzyılın sosyoekonomik dinamikleri içinde bireyin toplumsal konumunu

belirleyen ve görünür kılan en etkili maddi kültür nesneleri arasında yer aldığını göstermektedir. Bu doğrultuda Wedgwood' un üretim pratiği, teknik yenilik ile toplumsal ayırım mekanizmalarının iç içe geçtiği, tüketim kültürünün erken bir örneği olarak değerlendirilmektedir. Çalışmanın, seramik tarihi yazımına ve maddi kültür araştırmalarına, formların yalnızca işlevsel ve estetik değil, aynı zamanda toplumsal ilişkileri kuran ve sürdüren araçlar olduğunu gösteren disiplinler arası bir katkı sunması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Josiah Wedgwood, Jasperware, Sembolik Sermaye, Sınıfsal Ayırım, Tüketim Kültürü, Seramik Sanatı.

AN EXAMINATION OF WEDGWOOD CERAMICS THROUGH JASPERWARE, AND THE PORTLAND VASE

Abstract

This study aims to examine the production strategies of Josiah Wedgwood a prominent figure in the 18th-century British ceramics industry within the context of the social dynamics of the era in which his products emerged. In light of historical data presented by Eliza Meteyard (1865, 1873), N. Hudson Moore (1909), William Burton (1922), and Llewellynn Jewitt (1865), it is argued that innovations developed by Wedgwood such as Jasperware, Queen's Ware, and Black Basalt cannot be regarded merely as technical achievements. These products are treated as objects of symbolic capital, in the sense defined by Pierre Bourdieu (1984) in his theory of distinction. Within this framework, the study analyzes how Wedgwood's synthesis of the prevailing aesthetic sensibilities of the time with industrial discipline offered a sphere of social legitimacy to the rising bourgeoisie.

The chemical and technical evolution of ceramic forms, the establishment of a factory system, and the standardization of production are identified as key factors shaping the social value of the products. Material diversity achieved through experimental methods, a workflow based on the division of labor, and quality control enabled Wedgwood products to acquire a brand identity that was both reliable and distinctive. The study demonstrates that while Queen's Ware offered the middle class an impression of accessible nobility, it also established a tiered consumption hierarchy in which access to the most exclusive pieces was carefully controlled. Thus, the product range evolved into a symbolic order through which different social strata could make their positions visible.

The study further highlights how the roles of craftsmanship and industrialism were intertwined in the person of Wedgwood and how this relationship defined the social significance of production. The creation process of the Portland Vase is also examined within this context, discussing how the piece restructured the order of distinction. Through limited production and controlled access, the symbolic value of antiquity was transferred to a new social class, and the classical heritage was incorporated into the cultural repertoire of the wealthy.

Conducted using a qualitative research approach, the study derived data from primary and secondary sources selected via purposive sampling. The analysis was carried out from materialist and phenomenological perspectives, framed by the concepts of symbolic capital, habitus, and distinction. The findings indicate that Wedgwood ceramics were among the most influential material culture objects in defining and making visible an

individual's social position within the socioeconomic dynamics of the 18th century. Accordingly, Wedgwood's production practice is viewed as an early example of consumer culture, where technical innovation and mechanisms of social distinction were inextricably linked. The study aims to contribute to the historiography of ceramics and material culture research by demonstrating that forms are not merely functional and aesthetic, but also serve as instruments that establish and sustain social relations.

Keywords: Josiah Wedgwood, Jasperware, Symbolic Capital, Class Distinction, Consumer Culture, Ceramic Art

1. GİRİŞ

Seramik sanatı, insanlık tarihinin en ilkel kil kaplarından en rafine porselen takımlarına uzanan, üretildiği dönemin üslup özelliklerine göre biçimlenen ve o dönemin toplumsal dinamiklerini yansıtan kendine özgü bir dile sahiptir. Seramik medeniyetin anahtarlarından biri olarak ele alındığında, sanatın yüksek formlardaki üretimlerinin her çağda hâkim kültürün ilerisinde konumlandığı ve doğuştan yetenekli ya da eğitilmiş bireyler aracılığıyla zihinsel alışkanlıkların kuşaklar arası aktarımını sağlayan kültürel bir taşıyıcı işlevi gördüğü söylenebilir.

18. yüzyıl İngiliz seramik sanatında Josiah Wedgwood'un üretim süreci belirgin biçimde öne çıkmaktadır. Wedgwood'un eserlerinde zanaat ile sanatın birlikteliğinin yanı sıra endüstriyel gelişim dinamiklerinin ve tarihsel olayların izdüşümlerini okumak da mümkündür (Jones, 2023; Smiles, 1894). Görsel 1'de Josiah Wedgwood'un Victoria ve Albert Müzesi'nde bulunan portresi yer almaktadır (Görsel 1).



Görsel 1. *Josiah Wedgwood I'in portresi, 1782, Victoria ve Albert Müzesi (Victoria and Albert Museum, t.y.-c).*

İngiltere'nin çömlekçilik bölgesi olarak anılan Staffordshire, Sanayi Devrimi ile birlikte üretim olanakları bakımından önemli bir gelişim göstermiş ve doğal kil kaynaklarının bolluğu sayesinde seri üretime geçmiştir (Jewitt, 1865). Köklü bir çömlekçilik geleneğinden gelen Wedgwood, fiziksel kısıtlılıklarını entelektüel bir avantaja dönüştürerek üretimin mekaniğinden çok kimyasına ve formun rasyonelliğine odaklanan stratejist bir tasarımcı kimliği geliştirmiştir. Aristokratik estetiği endüstriyel disiplinle birleştirerek burjuvaziye toplumsal bir meşruiyet sunan Wedgwood, Jasperware ve Queen's Ware gibi yenilikleriyle hem lüksün demokratikleşmesine katkıda bulunmuş hem de yeni bir seçkinlik hiyerarşisi inşa etmiştir. Görsel 2'de Wedgwood'a ait Queen's Ware bir yağlık yer almaktadır. Eser, Josiah Wedgwood'un 1760'larda geliştirdiği ve Kraliçe Charlotte'un himayesinin ardından "Queen's Ware" adını alan krem rengi seramik bünyeden üretilmiş bir sofa takımının

parçasıdır (Burton, 1922; Salisbury Museum, t.y.). Kompozisyonun merkezindeki ananas motifi, 18. yüzyıl Avrupa'sında egzotik lüksün ve misafirperverliğin simgesi olarak kabul görmüş; bu durum nesneyi salt işlevsel bir sofa gerecinden toplumsal statüyü temsil eden bir prestij nesnesine dönüştürmüştür. Sırsız görünümü andıran yumuşak, ten rengi yüzey, heykelsi formun ve plastik değerlerin ön plana çıkmasını sağlamakta; pençe biçimli ayaklar ise antik mobilya geleneğine gönderme yaparak eserin klasik referanslarını pekiştirmektedir. Bu bağlamda eser, Wedgwood'un sanayi üretimini zanaat inceliği ve dönemin beğeni anlayışıyla uzlaştırma çabasının karakteristik bir örneği olarak okunabilir (Görsel 2).



Görsel 2. *Wedgwood Queen's Ware yağlık, 1785 (Salisbury Museum, t.y.).*

2. JOSIAH WEDGWOOD: ENDÜSTRİYEL AYDINLANMA VE SERAMİK SANATININ DÖNÜŞÜMÜ

Josiah Wedgwood'un yaşamı, 18. yüzyıl İngiltere'sinde zanaat temelli üretimin rasyonel-endüstriyel bir sisteme evrilmesinin tarihsel bir örneğidir. 1730 yılında Staffordshire'da dünyaya gelen Wedgwood, bölgenin köklü çömlekçilik geleneğine sahip bir aileye mensuptur (Jewitt, 1865; Meteyard, 1865). Onun yaşamı, aynı zamanda fiziksel bir engelin entelektüel bir avantaja nasıl dönüşebileceğini göstermektedir. On bir yaşında geçirdiği çiçek hastalığının sağ dizinde bıraktığı kalıcı hasar, Wedgwood'un çömlekçi çarkında bedensel emek harcamasını olanaksız kılmış; bu durum onu üretimin kendisinden çok kimyasına, formun estetiğinden çok rasyonelliğine odaklanan bir tasarımcı kimliğine yöneltmiştir (Smiles, 1894, s. 125).

1750’li yıllarda Thomas Whieldon ile kurduğu ortaklık, Wedgwood’un deneysel yönteminin olgunlaştığı dönemdir. Bu süreçte Wedgwood, geleneksel yöntemlerin ötesine geçerek seramik bünyelerini ve sır formüllerini sistematik biçimde test etmeye başlamıştır (Meteyard, 1865, s. 130). 1759’da Burslem’de kendi atölyesini kurduğunda yalnızca bir üretici olarak değil, aynı zamanda bir malzeme bilimci gibi hareket etmiştir. Bu dönemdeki en büyük yeniliği, porselene yönelik lüks tüketim eğilimine alternatif olarak geliştirdiği, dayanıklılık ile estetik zarafeti bir araya getiren krem rengi seramik (creamware) olmuştur (Burton, 1922, s.103). Bu buluş, seramiğin sınıfsal sınırlarını esneten ilk büyük teknik atılım olarak değerlendirilebilir. Görsel 3’te yer alan çay takımı, Wedgwood’un krem rengi seramik üretiminin erken evresine ait karakteristik bir örnektir. Demlik, şekerlik, sütlük ile fincan ve tabaktan oluşan bütünlüklü set, 18. yüzyıl İngiltere’sinde çay içme pratiğinin toplumsal bir ritüele dönüşmesini ve buna bağlı olarak ortaya çıkan standart sofraya takımı talebini yansıtmaktadır. Kapak tepeliklerindeki çiçek biçimli kabartma tutamaklar ile ağız kenarlarını çevreleyen kalıp dekorlu yivli bordürler rokoko beğenisinin doğalcı ve plastik süsleme anlayışını sürdürürken, formların sade ve dengeli oranları ile süslemenin sınırlı alanlarda tutulması neoklasik ölçülülüğe doğru bir geçişe işaret etmektedir. Eser, Wedgwood’un yükselen orta sınıfa yönelik seri üretim stratejisini ve estetik niteliği ticari işlevsellikle bağdaştırma çabasını açıkça ortaya koymaktadır (Görsel 3).



Görsel 3. Josiah Wedgwood, krem rengi çay seti, 1762, Victoria ve Albert Müzesi (Victoria and Albert Museum, t.y.-c).

Wedgwood’un yaşamındaki asıl kırılma noktası, 1769 yılında Thomas Bentley ile kurduğu ortaklık kapsamında faaliyete geçirdiği Etruria fabrikasıdır (Meteyard, 1865, s. 131). Etruria, yalnızca bir üretim tesisi değil, Aydınlanma düşüncesinin fabrika sistemine uygulanmış biçimidir. Wedgwood, fabrikada iş gücünü rasyonel bölümlere ayırarak üretimi standartlaştırmış ve her işçinin tek bir işleme odaklanarak hata payını en aza

indirdiği, insan emeğini adeta makineleştiren bir disiplin mekanizması kurmuştur (Adamson, 2013, s. 107). Bu dönemde geliştirdiği Basaltware ve Jasperware, Wedgwood’un teknik mükemmeliyetçiliğinin doruk noktasını temsil etmektedir (Burton, 1922, s. 133).

Wedgwood’un pirometreyi geliştirmesinin ardından 1783’te Royal Society üyeliğine seçilmesi, zanaatın bilimsel meşruiyet kazanmasının simgesi olarak değerlendirilebilir (Smiles, 1894, s. 210). Görsel 4’te yer alan madalyon, Wedgwood’un kölelik karşıtı hareketin etkin bir destekçisi olarak tasarladığı “Am I Not a Man and a Brother?” (Ben de bir insan ve kardeş değil miyim?) mührüdür (Victoria and Albert Museum, t.y.-d). Mühür, Wedgwood’un sanatı toplumsal bir propaganda ve etik bilinç aracı olarak nasıl kullandığını göstermektedir. Açık renk zemin üzerine siyah kabartma tekniğiyle işlenmiş jasperware madalyonda, zincirlenmiş hâlde diz çökmüş ve ellerini yakarırcasına kaldırmış bir Afrikalı figür betimlenmektedir (Görsel 4).



Görsel 4. Josiah Wedgwood, kölelik karşıtı madalyon, 1787, Victoria ve Albert Müzesi (Victoria and Albert Museum, t.y.-d).

Wedgwood’un etkisiyle Staffordshire, bir çömlekçilik bölgesi olarak uluslararası ün kazanmış ve hem Avrupa saraylarına hem de orta sınıfa yönelik üretim yapar hâle gelmiştir. Wedgwood’un mirası, taklit edilmesi güç bir kalite anlayışı ve nesneler üzerinden kurgulanan küresel bir prestij yapısıdır (Jones, 2023, s. 120).

Wedgwood’un kişisel öyküsü, sanayileşmenin çok daha kapsamlı ve karmaşık tarihsel sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Günümüzde “niteliksizleşme” ya da “yeniden nitelik kazanma” gibi kavramlarla tartışılan zanaat–sanayi ilişkisine bakıldığında, tarihsel süreçte zanaatın kimi zaman sanayiye direnerek varlığını sürdürdüğü, kimi zaman ise sanayinin yarattığı yeni taleplerle daha da derinleştiği görülmektedir.

Bu dönüşümün en somut örneklerinden biri, Wedgwood’un bir yandan kusursuz işleyen makineler arzularken öte yandan modelleme ve kalıpcılık gibi üst düzey beceri gerektiren alanlara büyük yatırımlar yapması arasındaki çelişkidir. Sanayileşme dönemi boyunca pek çok işçi yüksek becerilere sahip olsa da herkes Wedgwood’un sunduğu nitelikli çalışma ortamlarına erişememiştir. Ancak bu ilişki yalnızca teknik bir üretim

meselesi değil, aynı zamanda söz konusu üretim biçimlerine ilişkin süregelen toplumsal algılar ve inanç sistemleriyle de ilgilidir. İngiliz kültürel belleğinde sanayileşme iki farklı kutupta temsil edilmektedir: Bir yanda maddi refah artışını vurgulayan iktisat tarihçilerinin başarı anlatısı, diğer yanda ise kırsal yaşamdaki dönüşümleri ve makineleşmenin yol açtığı yozlaşmayı eleştiren edebi ve sosyolojik yaklaşımlar yer almaktadır.

3. WEDGWOOD İMALATININ DOĞUŞU

İmalatın doğuş süreci, yeni teknolojilerin keşfiyle birlikte yeni nesnelere duyulan ilginin artması ve bu talebi karşılayacak üretim modellerinin hayata geçirilmesi biçiminde ilerlemiştir. Josiah Wedgwood ve ortağı Thomas Bentley, bu dönüşümün merkezinde yer alan figürler olarak yükselen gelir düzeylerini ve yeni biçimlenen tüketici beğenilerini ustalıkla çözümleyerek kendilerini bu ticari yapı içinde konumlandırmışlardır (Meteyard, 1865, s. 305). Wedgwood'un endüstriyel alandaki başarısı genellikle bu ekonomik koşulların bir sonucu olarak değerlendirilir. Bu çerçevede buhar gücünün kullanımı ve doğa bilimlerinin üretime entegre edilmesi gibi teknolojik gelişmelerin yanı sıra ulaşımı kolaylaştıran kanal projeleri, istikrarlı ticaret hukuku sistemleri ve hızla genişleyen küresel pazarlar, Wedgwood'un yükselişini olanaklı kılan temel yapı taşları olarak sunulmaktadır.

4. WEDGWOOD, İMALAT VE SANAYİLEŞME

Josiah Wedgwood, zanaat ve imalat tarih yazımında merkezi bir figür olarak kabul edilmekle birlikte, bu rolü genellikle zanaatkâr kimliğiyle değil, girişimci ve bilim insanı kimliğiyle üstlenmiş olarak sunulur. Bu algının temelinde, Wedgwood'un üretim aşamasında tezgâh başındaki fiziksel pratiği terk ettiğine ilişkin hatalı varsayım ile zanaatın yalnızca el işçiliğiyle sınırlı olduğu düşüncesi yatmaktadır. 19. yüzyılda Meteyard (1865) ve Smiles (1894) gibi biyografi yazarları, Wedgwood'u kaba zanaat pratiğini rasyonel bir sanat ve endüstriyel liderlik düzeyine taşıyan kahraman bir figür olarak sunmuşlardır. Smiles'a (1894) göre Wedgwood'un başarısı, üretimin belirsiz ve pürüzlü unsurlarını ortadan kaldırarak düzenli bir yapı kurmasında yatmaktadır. Modern çalışmalarda da benzer bir eğilimle Wedgwood; pazarlama, maliyet muhasebesi ve fabrika disiplini gibi alanlarda devrim yaratan bir "Endüstriyel Aydınlanma" temsilcisi ve seri üretimin öncüsü olarak konumlandırılmaktadır (Adamson, 2013, s. 108).

Glenn Adamson (2013), *The Invention of Craft* adlı eserinde zanaatın imalat karşısındaki gerilemesini Wedgwood üzerinden çözümleyerek seri üretimin gerektirdiği standartlaşmanın zanaatkârın örtük bilgisini nasıl dışladığını tartışır. Adamson'a (2013) göre Wedgwood, zanaatın doğasını bilimsel yöntemlerle kamusalılaştırarak kişisel avantaj elde etmiş ve kendi faaliyetlerini el değmeden yürütülen tasarım ve teknik deney süreçleriyle sınırlandırarak zanaatı "ötekileştirmiştir". Ancak Wedgwood'un kariyeri boyunca sırlar ve

malzemeler üzerindeki bilimsel araştırmalarının yanı sıra bizzat çömlek formları üretmeye devam etmesi, bu hâkim anlatıyı sarsmaktadır. Onun el yapımı seramik üretimindeki ısrarı yalnızca nostaljik bir uğraş değil, aksine onu riskin kaçınılmazlığıyla yüzleştiren ve imalat çabasının merkezine yerleşen bir yapım tutumudur.

Wedgwood'un çömlekçilik ve deney süreçlerinde kaplar, kesin bir mükemmellik dayatmasından çok deneme ve keşif sürecinin ürünü olarak ortaya çıkar. Dolayısıyla endüstriyel üretimin katı disiplinine karşın Wedgwood'un imalat süreci, zanaatın varlığını sürdürdüğü ara boşlukları bünyesinde barındırmaktadır.

5. WEDGWOOD'UN KULLANDIĞI TEKNİKLER ÜZERİNE

Wedgwood'un başarılı bir ticari işletmeyi yönetirken imalat süreçlerine karşı sorgulayıcı ve zaman zaman mesafeli bir tutum sergilediği görülür. Wedgwood, malzemelerin, formların ya da kullanım amaçlarının sunduğu dirençle karşılaştığında bunu bir engel olarak görmek yerine bu dirençten ve sürecin belirsizliğinden entelektüel bir haz duymuştur. Sonucu önceden kestirilemeyen deneylere duyduğu bu sürekli ilgi, onun verimlilik odaklı endüstriyel kimliğini hem destekleyen hem de sarsan “zanaat riski” ile derin bağına ortaya koymaktadır.

Wedgwood, ham maddelerin sunduğu renk çeşitliliğini ve kilin sınırsız biçim alma kapasitesini evrensel güzelliği yeniden üretmek için büyük bir fırsat olarak nitelendirmiştir. Güzelliği yalnızca aktaran edilgen bir araç olmak yerine o güzelliğin bizzat “yaratıcısı” olma fikrini, ruhu besleyen ve haz veren bir süreç olarak tanımlamıştır. Bu bağlamda malzemenin sunduğu açık olasılıklara odaklanan Wedgwood, saksılardan vazolara, zarif çay takımlarından henüz tasarlanmamış sayısız forma uzanan geniş bir üretim yelpazesi öngörmüştür. Bu yaklaşım, onun imalatı denetimci ve kapalı bir sistem olarak değil, sınırsız bir olanaklar alanı olarak kavradığını göstermektedir.

Malzemelerle kurulan bu yoğun ilişki, Wedgwood'un kariyerinin sonuna dek önemini korumuştur. Wedgwood, özellikle Portland Vazosu'nun kopyalanması sürecindeki gecikmeleri ateşin bileşimler üzerindeki denetlenemez ve öngörülemeyen etkilerine bağlamıştır (Meteyard, 1873). Ateşin yarattığı hem cezbedici hem de belirsiz sonuçlarla mücadele eden Wedgwood, imza rengi hâline gelen mavinin siyahla uyumunu yakalamak için sayısız deneme gerçekleştirmiştir. İlk pişirimlerde ortaya çıkan mikro çatlaklar ve malzemenin farklı tepkileri karşısında daha kolay bir çözüm olan düz siyahı tercih etmek yerine mavinin kimyasını araştırmayı sürdürmüştür.

Wedgwood'un seramik üretimindeki en belirgin farkı, geleneksel usta-çırak ilişkisine dayalı deneme-yanılma yöntemini sistematik bir laboratuvar araştırmasına dönüştürmüş olmasıdır. Moore (1909), Wedgwood'un kariyeri boyunca gerçekleştirdiği 10.000'den fazla deneyi titizlikle kayıt altına aldığını vurgular.

Form kavramı, tarihsel kullanım modellerini bünyesinde barındırması nedeniyle mekânsal olduğu kadar zamansal bir boyuta da sahiptir. Josiah Wedgwood, üretim formlarını belirleme sürecinde geçmişe ait desen kitaplarından, metal ve ahşap nesnelerden ve özellikle geleneksel seramiklerden esinlenmiştir (Jones, 2023). John Flaxman ve Henry Webber gibi yetenekli tasarımcılarla birlikte antik vazo ve heykellerin estetik dilini kavramaya yönelik yoğun bir çalışma yürütmüştür (Meteyard, 1873, s. 412).

Jasperware, seramik tarihinde bir dönüm noktasıdır. Baryum sülfatın bünyeye katılmasıyla elde edilen bu malzeme, sertliği ve gözeneksiz yapısıyla porselene rakip olmuştur (Burton, 1922, s. 141). Jasperware'in mat mavi yüzeyindeki beyaz rölyefler yalnızca bir bezeme ögesi değil, aynı zamanda klasik Batı kültürüne ve antikiteye duyulan aşinalığın bir göstergesidir.

Wedgwood, Portland Vazosu'nda beyaz kabartmaları yer yer kâğıt inceliğine indirerek ışık ve gölge oyunları ile bir derinlik yanılsaması yaratmıştır. Vazo hem heykel hem de resim etkisi sunan bir yüzey anlayışıyla biçimlendirilmiştir. Wedgwood, estetik kaygıların ticari öngörülerle birleştiği bir noktayı temsil eder; zira vazonun farklı tüketici kitlelerinin beğenisine ve bütçesine hitap edecek varyasyonlarını tasarlamıştır. Bu aşamada nesne, Wedgwood'un teknik ve sanatsal birikimi sayesinde estetik değerini dışa vururken aynı zamanda seri üretimin getirdiği ticari kalıpların içine yerleşmektedir. Formlar standartlaştırılmış ticari ürünlere dönüştükçe zanaat geri plana itilse de Wedgwood'un üretim pratiği içinde özgün bir varlık alanı bulmaya devam etmiştir.

Wedgwood'un "Egyptian Black" olarak da bilinen siyah bazalt (black basalt) üretimi, antik dönem bronz ve taş heykellerine rakip olacak biçimde kurgulanmıştır. Demir ve mangan oksitlerin yoğun kullanımıyla elde edilen bu siyah bünye, sır gerektirmeyen, kendiliğinden mat bir görünüme sahiptir (Burton, 1922, s. 140).

Jasperware'in en karakteristik özelliği olan beyaz kabartmalar, aplike rölyef yöntemiyle üretilmiştir. Beyaz kil figürler ayrı kalıplarda basılıp ardından balçık yardımıyla ana gövdeye yapıştırılmaktaydı. Bu aşamadaki en büyük teknik güçlük, iki farklı kilin, yani renkli gövde ile beyaz figürün fırında aynı oranda küçülmesini sağlamaktı (Burton, 1922, s. 148). Küçülme ve genleşme katsayıları uyuşmadığında figürler gövdeden ayrılmakta ya da çatlamaktaydı. Dolayısıyla bu süreç yalnızca sanatsal beceri değil, aynı zamanda ciddi bir malzeme bilgisi gerektiriyordu.

- Alçı kalıpların hazırlanması: Kilden modellenen figürler yüksek ayrıntılı alçı kalıplara aktarıldı. Bu kalıpların keskinliği, figürlerdeki kas yapısı ve yüz ifadesi gibi anatomik ayrıntıların korunması açısından büyük önem taşıyordu.
- Uygulama hassasiyeti: Beyaz kil kalıplara bastırılarak figürler elde edilir, ardından deri sertliğindeki ana gövdeye yapıştırılırdı. İşlemin en güç kısmı, figürlerin kenarlarını ana gövdeyle pürüzsüz biçimde kaynaştırmaktı.

Wedgwood, Portland Vazosu ve benzeri üst düzey parçaların üretiminde “engine-turning lathe” adı verilen mekanik bir torna tezgâhı kullanmıştır (Jones, 2023, s. 105). Bu tezgâh, seramik üretiminde makineleşmenin en erken ve en gelişkin örneklerinden biridir.

Portland Vazosu’nda figürlerin kenarlarındaki yarı saydamlık etkisini pekiştirmek için torna ve özel çelik modelaj kalemleri kullanılmıştır. Beyaz kil kazınarak inceltilmiş, böylece alttaki koyu mavinin beyazın altından belli belirsiz görünmesi sağlanmıştır. Bu işlem, seramiğe cam benzeri bir derinlik kazandıran mekanik bir müdahaledir.

Jasperware yalnızca bir seramik türü değil, seramik bünyenin bütünüyle renklendirildiği bir stoneware (taş bünye) yeniliğidir. Wedgwood, Jasperware formülünde baryum sülfat minerali kullanmıştır. Bu mineral, seramiğe ipeksi bir doku kazandırırken kobalt mavisi ve diğer metalik oksitlerin bünye içinde homojen biçimde dağılmasını sağlamıştır. Elde edilen malzeme asitlere karşı dayanıklıdır.

Wedgwood’un ilk büyük teknik başarısı olan krem rengi seramiğin geliştirilmesi, bir “beyazlık ve hafiflik” arayışının ürünüdür. Wedgwood, Cornwall’dan getirttiği kaolin ve silis bileşimini kullanarak porselenin zarafetini çömleğin dayanıklılığıyla birleştirmiştir (Burton, 1922, s. 95). Bu süreçte geliştirilen şeffaf kurşun sırrı, yüzeyde çatlamayı önleyerek seramiğe hem hijyenik hem de estetik bir nitelik kazandırmıştır.

Siyah bazalt, seramik sanatında sinterleşme (pişirim sırasında yoğunlaşma) çabasının bir sonucudur. Bünye karışımına eklenen yüksek orandaki demir ve mangan oksit, gövdenin pişirildiğinde metalik bir tınıya sahip olacak kadar sertleşmesini sağlar.

Wedgwood’un teknik dehasının doruk noktası olarak kabul edilen Jasperware’de baryum sülfatın seramik bünyede kullanılması, malzemeye bilinen pürüzsüzlüğünü ve renklendirme kabiliyetini kazandırmıştır (Burton, 1922). Yüksek baryum sülfat içeriği, pişirim sonrasında son derece sert bir yapının elde edilmesini sağlamış; ince kesitlerde ise ışığı geçiren, yarı saydam bir görünüm ortaya çıkarmıştır. Wedgwood, özellikle mavi renk için Saksonya’dan getirttiği yüksek kaliteli kobalt oksitlerini kullanmıştır.

Wedgwood, fırın içindeki sıcaklığı ölçmek amacıyla seramik bir pirometre geliştirmiştir. Bu cihaz, fırına yerleştirilen kil test parçalarının ısı karşısındaki küçülme oranını esas alarak sıcaklığı ölçmektedir. Bu yenilik sayesinde Wedgwood, seramik bünyenin camlaşma derecesini denetim altına almış ve üretim serileri arasında tutarlı bir kalite düzeyi yakalamıştır.

Özgün bir Wedgwood Portland Vazosu’nu kopyalarından ayıran en belirgin özellik, beyaz kabartmalara dokunulduğunda hissedilen serin ve kadifemsi dokudur. Taklit vazolarda ise yüzey daha pürüzlü ve dokuludur (Moore, 1909, s. 49). Özgün Jasperware vazoların yüzeyi pürüzsüz, renkleri ise daha parlaktır; Wedgwood üretimindeki “ipeksi doku” bu üreticiye özgü teknik bir üstünlük olarak öne çıkar. Taklit Portland vazoları kimyasal olarak incelendiğinde, baryum sülfat oranının daha düşük olduğu ve kuvars gibi daha ucuz ham maddelerin kullanıldığı görülür. Bu durum taklit parçalarda zamanla yüzeyde beyaz tozlanmaya yol açarken, özgün Wedgwood Portland vazoları iki yüz yılı aşkın bir sürenin ardından dahi dokularını korumaktadır.

Wedgwood, Etruria fabrikasının laboratuvarında yürüttüğü analiz ve araştırmalarla teknik başarıyı sağlamış, seramik üretimini bölümlere ayırarak bir montaj hattı mantığı kurmuştur. Bu bölümler çamur hazırlayıcılar, kalıpcılar, fırıncılar ve ressamalar biçiminde birbirinden ayrılmıştır (Adamson, 2013, s. 109).

Wedgwood, Etruria fabrikasını yalnızca bir üretim merkezi olarak değil, aynı zamanda bir toplumsal disiplin alanı olarak tasarlamıştır. Burada uygulanan iş bölümü, işçilerin “makineleşmiş” düzeninden son ürünün “aristokratik” zarafetine uzanan bir süreklilik sunmaktaydı. Taklitçiler yalnızca biçimi kopyaladıkları için bu bütünlüğü hiçbir zaman yakalayamamış; Wedgwood ise nesneye içkin “sınıfsal ruhu” korumuştur. Wedgwood’un bilimsel aletleri üretim sürecine dâhil etmesi, hata payını en aza indirerek “kusursuz statü nesneleri” üretmesini sağlamıştır.

Wedgwood vazoları bizzat denetlemiş; figürlerdeki en küçük bir kayma ya da tornalamadaki bir hata durumunda parçayı imha etmiştir. Bu tutum, Portland Vazosu’nu sıradan bir ticari üründen ulusal bir prestij nesnesine dönüştürmüştür.

Josiah Wedgwood, üretim anlayışında “kullanım” kavramına stratejik ve felsefi bir önem atfetmiştir. İmalatını işlevsel ve dekoratif olmak üzere iki ana kategoriye ayıran Wedgwood, bu ayrımın kuramsal geçerliliğini kariyeri boyunca sorgulamıştır.

Wedgwood, dönemin diğer lüks üretimlerindeki göz kamaştırıcı zenginliğe karşı kendi siyah Etrüsk ve Grek vazolarının sunduğu sade dinginliği bir alternatif olarak görmüştür. Onun bezeme anlayışı, yüzeysel bir görkemden çok nesneyi eline alıp dikkatle inceleyen izleyiciye seslenen bir incelik barındırmaktadır. Bu

noktada ss eřyaları dahi mimari ve eęitici bir iřlev kazanmaktadır. rneęin Phaeton kabartması gibi mitolojik sahneler insan becerisinin sınırlarını hatırlatırken, klelik karřıtı madalyonlar gibi alıřmalar Wedgwood'un zgrlk siyasi grřlerini estetik bir form aracılıęıyla orta sınıfın gndelik yařamına tařımıřtır (Meteyard, 1873; Victoria and Albert Museum, t.y.-d).

6. PORTLAND VAZOSU

Wedgwood'un Portland Vazosu zerindeki ısrarlı alıřması yalnızca teknik bir meydan okuma deęil, aynı zamanda antikitenin sembolik sermayesini endstriyel aęın ykselen sınıfına devretme giriřimidir. Bu vazo, Bourdieu'c (1984) anlamda beęeninn retim aralarına sahip olmanın toplumsal hiyerarřide nasıl bir stnlk saęladığıнын maddi bir manifestosudur.

Portland Vazosu'nun reproduksiyon sreci, Wedgwood'un teknik dehasını sınıfsal bir stnlk kanıtına dnřtrdę en u noktadır. Grsel 5'te, Josiah Wedgwood'un Roma İmparatoru Augustus dnemine ait cameo camından Portland Vazosu'nu jasperware teknięiyle yeniden yorumladığı ve ilk bařarılı rneklerini 1790'da tamamladığı nl kopya yer almaktadır. Eser, koyu zemin zerindeki beyaz kabartmaların Roma cameo camının katmanlı etkisini seramikte yakalayabilmesi aısından dnemin en iddialı teknik bařarılarından biri olarak kabul edilmektedir. Yzeyde, bir aęacın altında uzanmıř bir kadın figr ve onu evreleyen figrler yer almaktadır. Wedgwood'un bu vazoyu firmasının amblemi hline getirmesi de eserin antik mirası modern retim kapasitesiyle buluřturan kurumsal bir kimlik manifestosu iřlevi grdęn ortaya koymaktadır (Grsel 5)



Grsel 5. *Portland Vazosu, 1789, Victoria ve Albert Mzesi Koleksiyonu (Jones, 2023, s. 75).*

Josiah Wedgwood'un Portland Vazosu projesindeki bařarısının temelinde, seramięi geleneksel bir zanaat olarak deęil, bir kimya disiplini olarak ele alması yatar. Moore (1909), Wedgwood'un binlerce deneyi kapsayan not

defterlerinin modern malzeme biliminin ilk sistematik kayıtları arasında yer aldığını vurgular. Bu bölümde Portland Vazosu'nun özgün dokusunu ve rengini sağlayan kimyasal altyapı çözümlenmektedir.

Portland mavisi (The Portland Blue): Moore (1909), Wedgwood'un özgün vazodaki camın derinliğini yakalamak için kobalt ve manganez oksitleri alışılmadık oranlarda karıştırdığını belirtir. Bu karışım, pişirildiğinde yalnızca yüzeyde kalmayıp malzemenin bütün dokusuna nüfuz eden bir gece mavisi tonu üretmiştir.

Baryum sülfatın rolü: Jasper bünyesine eklenen yüksek orandaki barit, malzemenin pişirim sırasındaki direncini artırmıştır. Bu katkı, seramiğe ipeksi bir doku ve ışığı yansıtma özelliği kazandırmıştır (Burton, 1922, s. 147).

Ball clay (plastik kil): Devonshire ve Dorset'ten getirilen bu kil, karışıma plastiklik kazandırır.

Çakmak taşı: Kalsine edilmiş ve öğütülmüş çakmak taşı, seramiğin yapısal iskeletini oluşturarak yüksek sıcaklıklarda formun bozulmasını engeller.

Boyutsal hesaplamalar ve küçülme payı: Jasper kilinin fırında yaklaşık %25 oranında küçüldüğü bilinmektedir.

Gölgelendirme teknikleri: Beyaz kabartma figürlerin kenarları inceltilmiş, böylece alttaki koyu mavinin figürlerin içinden hafifçe görünmesi sağlanmıştır. Bu teknik, seramiğe üç boyutlu bir derinlik kazandırmıştır.

Aplikasyon: Beyaz figürler ayrı kalıplarda basıldıktan sonra deri sertliği kıvamındayken gövdeye balçık ile yapıştırılıyordu. Moore (1909), bu aşamadaki en büyük riskin hava kabarcıkları olduğunu belirtir. En küçük bir hava boşluğu, pişirim sırasında figürün patlamasına ya da gövdeden ayrılmasına neden olmaktadır.

Pişirim ve pirometre denetimi: Vazo, Wedgwood'un geliştirdiği pirometre ile yakından izlenen bir sıcaklık eğrisiyle pişirilmiştir.

Kobalt oksit: Moore (1909), Wedgwood'un en saf kobalt oksitleri kullandığını aktarır.

Manganez dioksit: Özgün cam vazodaki siyahımsı derinliği taklit etmek için kobaltın yanına manganez eklenmiştir. Bu karışım, seramiğin ışığı yansıtmak yerine soğurmasını sağlayarak mat bir görünüm sunmuştur.

Görsel 6'da Wedgwood'un koyu mavi jasperware tekniğiyle üretilmiş ve metal menteşeli kapakla tamamlanmış sürahisi yer almaktadır (Victoria and Albert Museum, t.y.-b). Gövdeyi çevreleyen uçan Eros figürü, ağaç motifi ve sütunlu geçit sahnesinden oluşan beyaz kabartmanın Portland Vazosu ikonografisinden uyarlandığı görülmektedir. Kabartmaların sürahi gövdesinin kavisli yüzeyine uyarlanması, bezemenin farklı formlar arasında modüler biçimde yeniden kullanılabildiğini ortaya koyarken metal kapak ve yüksek kulp gibi işlevsel öğeler eseri pratik kullanım amacıyla bütünleştirmektedir. Sürahi, Wedgwood'un antik mirası sanayi üretimi

yoluyla popülerleştirme stratejisinin ve neoklasik beğenin Viktorya dönemi ev kültürü içindeki sürekliliğinin anlamlı bir örneği olarak değerlendirilebilir (Görsel 6).



Görsel 6. *Portland sürahisi, yaklaşık 1846–1900, Victoria ve Albert Müzesi (Victoria and Albert Museum, t.y.-b).*

Josiah Wedgwood’un 18. yüzyıl seramik endüstrisindeki etkisi yalnızca rasyonel üretim teknikleri ve teknolojik yeniliklerle sınırlı değildir; onun asıl başarısı, nesneleri toplumsal birer sınıflandırma aracına dönüştürerek bunu rasyonel bir pazar stratejisi olarak kurgulamasında yatmaktadır. Wedgwood, Sanayi Devrimi ile zenginleşen ancak aristokratik kültürel mirastan yoksun olan yükselen orta sınıfın varlığını fark etmiş ve bu sınıfa ihtiyaç duyduğu kültürel meşruiyeti seri üretim nesneleri aracılığıyla sunmuştur.

Görsel 7’de Wedgwood’un en prestijli jasperware üretimlerinden biri olan ve kapağındaki kanatlı at figürü nedeniyle “Pegasus Vazosu” olarak da anılan eser yer almaktadır (Jones, 2023, s. 63). Gövdede işlenen şiir ve sanatın ölümsüzlüğü teması, ilhamın ve şiirsel yaratıcılığın simgesi olan Pegasus figürüyle ikonografik bir bütünlük kazanmaktadır. Açık mavi zemin üzerindeki beyaz kabartmalar ile akantus ve palmet motifleriyle bezeli kaide ve yivli omuz bölümü, antik mermer rölyeflerin etkisini seramiğe aktarmaktadır (Görsel 7).



Görsel 7. *Jasperware vazo (Pegasus Vazosu), 1786, Victoria ve Albert Müzesi (Jones, 2023, s. 63).*

Görsel 8’de yer alan eser, Wedgwood’un 1768 civarında geliştirdiği siyah bazalt (black basalt) bünyeyile üretilmiştir (Burton, 1922; Victoria and Albert Museum, t.y.-a). “Michelangelo Lambası” olarak da anılan formun kaidesinde, sırtlarında hazneyi taşıyan ve kas yapısı belirgin üç erkek figürü yer almaktadır; bu figürler Michelangelo’ya atfedilen bir bronz modele dayanmaktadır. Figür betimlemesindeki dinamik gerilim, klasik taşıyıcı figür motifini yeniden yorumlamaktadır. Haznenin çevresindeki fitil ağızları, gövdedeki akantus ve yaprak kabartmaları ile kapak üzerindeki figürlü tepelik, işlevsel bir aydınlatma aracını heykelsi bir anlatıma dönüştürerek dekoratif sanatlar ile güzel sanatlar arasındaki sınırı bilinçli biçimde bulanıklaştırmaktadır. Eser, Wedgwood’un yalnızca antik Yunan ve Roma’dan değil, Rönesans mirasından da beslenen eklektik neoklasik repertuvarını ve bazalt malzemeyle bronz etkisini seramikte yakalama konusundaki teknik ustalığını belgeleyen önemli bir örnek olarak değerlendirilebilir (Görsel 8).



Görsel 8. *Basaltware, Michelangelo Lambası, 1780, Victoria ve Albert Müzesi (Victoria and Albert Museum, t.y.-a).*

Kraliçe Charlotte'un himayesinde "Kraliçe'nin Çömlekçisi" unvanını almasıyla başlayan süreçte Wedgwood, aristokratik beğeniyi standartlaştırarak orta sınıfa bir soyluluk yanılsaması pazarlamıştır (Meteyard, 1865; Smiles, 1894).

Portland Vazosu örneğinde görüldüğü üzere sınırlı sayıda üretim ve abonelik sistemi, en üst düzey parçalara erişimi seçkinlerle sınırlandırmış; böylece ürün yelpazesinin alt ve üst uçları arasında kademeli bir ayırım düzeni kurulmuştur.

Bu değerlendirmeler, Wedgwood seramiklerinin 18. yüzyılın sosyoekonomik dinamikleri içinde sınıfsal geçişkenlikleri estetik bir disiplin altına alan ve "iyi beğeni"yi kurumsallaştıran maddi kültür nesneleri olarak okunabileceğini göstermektedir.

7. SONUÇ

Josiah Wedgwood'un 18. yüzyıl İngiltere'sinde gerçekleştirdiği üretim devrimi, seramik teknolojisinde yalnızca teknik bir kırılma yaratmakla kalmamış, aynı zamanda tüketim kültürünün toplumsal bir katmanlaşma aracı olarak yeniden yapılandırılmasında öncü bir rol oynamıştır.

Wedgwood'un başarısının temelinde, seramiği geleneksel bir zanaat olmaktan çıkarıp rasyonel bir pazar stratejisi ve kimya disiplini olarak yeniden kurgulaması yatmaktadır. Pierre Bourdieu'nün (1984) ayırım kuramı çerçevesinden bakıldığında Jasperware ve Queen's Ware gibi yenilikler, ekonomik sermayenin kültürel ve simgesel sermayeye dönüştürülmesi sürecinin tarihsel bir ön örneği olarak görülebilir. Özellikle Portland Vazosu projesi, antikitenin sembolik sermayesini endüstriyel çağın yükselen sınıfına devretme girişimi olarak,

beğenin üretim araçlarına sahip olmanın toplumsal hiyerarşide nasıl bir üstünlük sağladığını somut biçimde ortaya koymaktadır.

Wedgwood, aristokratik estetiği endüstriyel disiplinle birleştirerek burjuvaziye yalnızca bir nesne değil, bir “meşruiyet” satmıştır. Etruria fabrikası, seramiğin pişirildiği bir mekân olmanın ötesinde modern tüketim kültürünün inşa edildiği bir laboratuvar işlevi görmüştür. Kraliçe Charlotte’un himayesiyle kazanılan “Kraliçe’nin Çömlekçisi” unvanı, aristokratik beğeniyi standartlaştırarak orta sınıfa bir “soyluluk yanılsaması” sunmuş; bu durum lüksün demokratikleşmesi gibi görünse de aslında katı bir tüketim hiyerarşisini beraberinde getirmiştir.

Sonuç olarak Wedgwood seramikleri, bireyin toplumsal konumunu belirleyen, sınıfsal geçişkenlikleri estetik bir disiplin altına alan ve “iyi beğeni”yi kurumsallaştıran en etkili maddi kültür nesneleri arasında kabul edilmelidir. Wedgwood’un kurduğu bu sınıfsal ayırım mekanizması, günümüzde dahi koleksiyon değerini ve özgünlük ölçütlerini belirleyen temel unsurlardan biridir. Vazoların altına basılan “WEDGWOOD” damgası yalnızca üreticiyi değil, nesnenin ait olduğu estetik sınıfı ve sahibinin bu sınıfa katılımını onaylayan sosyolojik bir mühürdür. Jewitt’in (1865) vurguladığı gibi bu tarih, insanlığın entelektüel gelişimindeki ilerlemeyi örneklemekte ve mülkiyetin ötesinde bir kültürel sermaye mirası bırakmaktadır. Wedgwood’un mirası, malzeme kalitesi ile toplumsal statü arasındaki kopmaz bağın en somut kanıtlarından biri olarak literatürdeki yerini korumaktadır.

KAYNAKLAR

- Adamson, G. (2013). The invention of craft. Bloomsbury Academic.
- Bourdieu, P. (1984). Distinction: A social critique of the judgement of taste (R. Nice, Çev.). Harvard University Press.
- Burton, W. (1922). Josiah Wedgwood and his pottery. Cassell and Company.
<https://www.scribd.com/document/654303663/JosiahWedgwoodandHisPottery-10632628>
- Jewitt, L. (1865). The Wedgwoods: Being a life of Josiah Wedgwood. Virtue Brothers. https://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1865_Jewitt_Wedgwoods_A4726.pdf
- Jones, C. (2023). Wedgwood: Craft & design. Thames & Hudson.
- Meteyard, E. (1865). The life of Josiah Wedgwood: From his private correspondence and family papers. Hurst and Blackett. <https://archive.org/details/lifeofjosiahwedg00mete>
- Meteyard, E. (1873). Wedgwood and his works: A selection of his plaques, cameos, medallions, vases, etc., from the designs of Flaxman and others. Bell and Daldy.
<https://archive.org/details/wedgwoodhisworks00mete>
- Moore, N. H. (1909). Wedgwood and his imitators. Frederick A. Stokes Company.
<https://archive.org/details/wedgwoodhisimita00moor>
- Salisbury Museum. (t.y.). Wedgwood Queensware cruet [Müze koleksiyonu kaydı].
<https://salisburymuseum.org.uk/collections/wedgwood-queensware-cruet/>
- Smiles, S. (1894). Josiah Wedgwood, F.R.S.: His personal history. John Murray.
- Victoria and Albert Museum. (t.y.-a). The Michelangelo lamp [Müze koleksiyonu kaydı].
<https://collections.vam.ac.uk/item/O8149/the-michelangelo-lamp-lamp-josiah-wedgwood-and/>
- Victoria and Albert Museum. (t.y.-b). Portland jug [Müze koleksiyonu kaydı].
<https://collections.vam.ac.uk/item/O308439/portland-jug-jug-and-cover-josiah-wedgwood-and/>
- Victoria and Albert Museum. (t.y.-c). Wedgwood: An introduction. <https://www.vam.ac.uk/articles/wedgwood-an-introduction>
- Victoria and Albert Museum. (t.y.-d). Wedgwood's abolition journey. <https://www.vam.ac.uk/blog/museum-life/wedgwoods-abolition-journey>

PROPAGANDA YÖNTEMİ OLARAK VIDEO OYUNLARI: 2013-2023 YILLARI ARASINDAKİ POPÜLER VIDEO OYUNLARININ İNCELENMESİ

Arş. Gör. Gökçe ÖZTURAN¹ / Doç. Dr. Cengiz ŞAHİN²

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Dijital Oyun Tasarımı Bölümü, Dijital Oyun Tasarımı,
gokce.ozturan@aybu.edu.tr, 0009-0006-3774-6430

²Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Görsel İletişim Tasarımı Bölümü, Görsel İletişim Tasarımı,
cengizsahin@aybu.edu.tr, 0000-0002-8348-0913

Özet

Video oyunları, dijital çağın en popüler eğlence biçimlerinden biri hâline gelmiştir; ancak bu oyunlar, yalnızca birer eğlence aracı olmanın ötesinde, oyuncuları belirli fikirlere, değerlere ve inançlara yönlendirebilen güçlü birer iletişim aracı olarak da değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, 2013-2023 yılları arasında popüler olan video oyunlarının hangi ideolojileri ve düşünceleri yaymayı amaçladığı ve bu oyunların propaganda yöntemi olarak nasıl kullanıldığı incelenmiştir. Söz konusu yıllarda internet erişimi ve akıllı telefon kullanımının yaygınlaşması ve dijital oyunların daha geniş kitlelere ulaşması nedeniyle araştırmanın kapsamı bu dönemle sınırlandırılmıştır. Çalışmanın kuramsal çerçevesi ludoloji alanı üzerinden kurulmuş ve Aarseth'in (2003) oyunların karakterizasyonu için önerdiği oynanış, oyun yapısı ve oyun dünyası boyutları temel alınmıştır. İçerik analizi yöntemiyle incelenen Death Stranding, Call of Duty: Modern Warfare, Battlefield 1, Cyberpunk 2077, FIFA 16, BioShock Infinite, Atomic Heart ve Red Dead Redemption 2 oyunları bizzat oynanmış, ayrıca oyun kayıtları izlenmiştir. Oyunlar; karakter, hikâye, oyun mekaniği ve görsel tasarım boyutları açısından analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre propaganda unsurlarının üç farklı biçimde ortaya çıktığı görülmüştür. Ürün yerleştirme ve tanınmış oyuncuların kullanımı yoluyla kurulan ticari propaganda; kurmaca ülkeler, düşman temsilleri ve savaş anlatıları aracılığıyla aktarılan siyasi propaganda; afişler, sloganlar ve distopik mekân tasarımı üzerinden verilen toplumsal ve tarihsel mesajlar. Bu mesajların yalnızca hikâye katmanında değil, oyuncunun eylemlerini belirleyen kurallar ve mekanikler aracılığıyla da iletildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak video oyunlarının sadece eğlenceli bir deneyim sunmadığı, aynı zamanda oyunculara çeşitli ideolojiler ve değerler hakkında bilgi aktardığı gözlemlenmiştir. Oyuncuların, ebeveynlerin ve oyun geliştiricilerinin söz konusu mesajların farkında olmaları ve bu mesajları eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirmeleri önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Propaganda, video oyunları, dijital oyunlar, oyun tasarımı, ludoloji

VIDEO GAMES AS A METHOD OF PROPAGANDA: AN EXAMINATION OF POPULAR VIDEO GAMES BETWEEN 2013 AND 2023

Abstract

Video games have become one of the most popular forms of entertainment of the digital age; however, beyond being merely entertainment tools, they are also regarded as powerful communication tools that can direct players towards certain ideas, values and beliefs. In this study, the ideologies that popular video games released between 2013 and 2023 aimed to disseminate and their use as a method of propaganda have been examined. As internet access and smartphone use became widespread in these years and digital games reached wider audiences, the scope has been limited to this period. The theoretical framework has been built upon the field of ludology, and the dimensions of gameplay, game structure and game world proposed by Aarseth (2003) for the characterisation of games have been taken as a basis. *Death Stranding*, *Call of Duty: Modern Warfare*, *Battlefield 1*, *Cyberpunk 2077*, *FIFA 16*, *BioShock Infinite*, *Atomic Heart* and *Red Dead Redemption 2*, examined through the content analysis method, were played first-hand and their gameplay recordings were watched. The games have been analysed in terms of character, story, game mechanics and visual design. According to the findings, propaganda elements have been observed to emerge in three forms. Commercial propaganda established through product placement and the use of well-known actors; political propaganda conveyed through fictional countries, representations of the enemy and war narratives; and social and historical messages given through posters, slogans and dystopian environment design. These messages have been found to be transmitted not only in the story layer but also through the rules and mechanics that shape the player's actions. Consequently, video games have been observed to convey information about various ideologies and values rather than merely offering an enjoyable experience. Players, parents and game developers being aware of these messages and evaluating them from a critical perspective is of importance.

Keywords: Propaganda, video games, digital games, game design, ludology

1. GİRİŞ

Video oyunları, dijital çağın en popüler ve etkili eğlence biçimlerinden biri hâline gelmiştir. Çocuklar ve yetişkinler arasında geniş bir kitleye ulaşan bu oyunlar, eğlence aracı olmanın ötesinde büyük bir kültürel etkiye sahiptir. Bununla birlikte video oyunları, güçlü birer propaganda aracı da olabilmektedir. Oyuncuları belirli fikir ve inançlara yönlendirebilen bu etki; oyunun tasarımının, karakterlerinin, hikâyesinin ve hatta oynanışının bir sonucu olarak ortaya çıkabilir. Bu nedenle 2013-2023 yılları arasında popüler olan video oyunlarının hangi değerleri, ideolojileri veya düşünceleri yaymayı amaçladığını anlamak önem taşımaktadır. Bu anlayış, video oyunlarının propaganda aracı olarak nasıl kullanıldığının daha iyi kavranmasına katkı sağlayacaktır.

Söz konusu on yıllık dönemde video oyunları hem teknolojik hem de kültürel açıdan önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Bu dönem, teknolojik gelişmelerin hız kazandığı ve video oyunlarının daha geniş kitlelere ulaştığı bir dönem olmuştur. Artan internet erişimi ve akıllı telefon kullanımı, oyunların daha geniş bir kitleye ulaşmasını sağlamış; bu da video oyunlarının propaganda aracı olarak kullanılma potansiyelini artırmıştır.

1.1. Propaganda, Video Oyunları ve Ludoloji

Propaganda, belirli bir ideoloji, düşünce veya görüşün yaygınlaştırılması ve desteklenmesi amacıyla kullanılan bir iletişim biçimidir. Bilgi ve argümanların belirli bir amaç doğrultusunda seçilip şekillendirildiği bu süreç, genellikle kişilerin veya toplulukların düşüncelerini, inançlarını ve eylemlerini belirli bir yönde etkilemeyi amaçlar. Propaganda; siyasi, sosyal, dinî ve ticari amaçlarla kullanılabilirdiği gibi farklı iletişim araçları ve kültürel ürünler aracılığıyla da gerçekleştirilebilir. Doğrudan mesajlar, görsel imgeler, semboller ve medya etkinliklerinin yanı sıra popüler kültür ürünleri, özellikle geniş kitlelere ulaşma potansiyeline sahip video oyunları, propaganda mesajlarının aktarılmasında kullanılabilen araçlar arasında yer almaktadır (Erad, 2018).

Video oyunlarının geniş kitlelere ulaşması ve oyuncuların oyun dünyasıyla etkileşim içerisinde olması, bu ortamların yalnızca eğlence amacıyla değil, aynı zamanda çeşitli düşünce ve mesajların aktarılmasında da kullanılabilesini mümkün kılmaktadır. Video oyunları, çocukların ve gençlerin sosyal etkileşim normlarını öğrendikleri, davranışlarını düzenleyebildikleri ve duygusal ve gelişimsel sorunlarla baş edebildikleri bir etkinlik olarak tanımlanabilir. Oyunlar, gerçek yaşam ile hayal dünyası arasında bir bağ kurarak bireylerin sosyal sorumluluklarına ilişkin bakış açılarını genişletmelerine yardımcı olabilir. Tamamen isteğe dayalı olan oyunlar, bireylere birtakım duyguları deneyimleme ve kendi dışında biri gibi olma veya hissetme olanağı sunar (Koral & Alptekin, 2023). Bu özellikleri, video oyunlarının oyuncular üzerinde çeşitli düşünsel ve davranışsal etkiler oluşturabilen bir iletişim ve etkileşim ortamı olarak ele alınmasını mümkün kılmaktadır. Nitekim

Eğlence Yazılımları Derneğinin 2022 raporuna göre ABD’de 215,5 milyon kişi aktif olarak dijital oyun oynamaktadır. Oyuncuların %52’si erkek, %48’i kadın olup en kalabalık yaş grubunu %36 ile 18-34 yaş aralığı oluşturmaktadır. Aynı rapora göre Amerikalıların %66’sı haftada en az bir saat oyun oynamaktadır (Entertainment Software Association, 2022). Bu yaygın kullanım, video oyunlarının içerdiği mesajların ve temsil biçimlerinin incelenmesini önemli hâle getirmektedir.

Video oyunlarının içerdiği mesajların, temsil biçimlerinin ve oyuncuyla kurduğu etkileşimin anlaşılabilmesi için oyunların sistematik olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu noktada ludoloji, video oyunlarını inceleyen ve analiz eden bir disiplin olarak öne çıkmaktadır (Juul, 2004). Ludoloji; oyunların tasarımını, oynanışını, etkileşimlerini, hikâye anlatımlarını ve oyunlar aracılığıyla iletilen mesajları inceler. Bu disiplin, oyunların teknik ve estetik yönlerinin yanı sıra kültürel, sosyal ve psikolojik etkilerini de araştırır. Oyunlar ve oyun oynama deneyimine ilişkin daha kapsamlı bir anlayış geliştirmek amacıyla bilgisayar bilimleri, psikoloji, sosyoloji, sanat ve edebiyat gibi farklı disiplinlerin yöntem ve yaklaşımlarından yararlanır. Ayrıca oyunların eğitim, öğrenme, sosyal etkileşim ve propaganda gibi çeşitli amaçlarla nasıl kullanıldığını da ele alır (Karadeniz, 2017). Bu yönüyle ludoloji, video oyunlarında yer alan mesajların, ideolojik unsurların ve oyuncular üzerindeki olası etkilerin incelenmesi için uygun bir kuramsal çerçeve sunmaktadır.

2. YÖNTEM

Ludoloji alanının önde gelen temsilcileri Espen Aarseth, Jesper Juul, Markku Eskelinen ve Gonzalo Frasca, hikâyeler ile oyunların benzer yönleri olmasına rağmen temelde farklı olduklarını ve mevcut disiplinlerin kuramsal araçlarının oyun analizi için yetersiz kaldığını belirtmiştir (Karadeniz, 2017). Aarseth (2003), oyunların nitelendirilebilmesi için üç boyutun incelenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu boyutlar şunlardır:

- Oynanış: Oyuncuların eylemleri ve ilişkileri,
- Oyun yapısı: Oyunun kuralları ve simülasyonu,
- Oyun dünyası: Kurgusal içerik.

Bu boyutları analiz etmek için üç yöntem bulunmaktadır: oyun geliştiricileriyle görüşmek, başkalarının oyun kayıtlarını izlemek ve oyunu bizzat oynamak. Aarseth (2003), üç yöntemin de geçerli olduğunu; bununla birlikte ilk ikisiyle desteklendiğinde üçüncü yöntemin en etkili yöntem olduğunu belirtmiştir.

Video oyunları propaganda amacıyla kullanıldığında, oyunun özgün unsurları (karakterler, hikâye, oyun mekanikleri, görsel tasarım) bir ideolojiyi yayabilir ve oyuncunun algısını etkileyebilir. Bu durum, oyunların eğitim, öğrenme, sosyal etkileşim ve propaganda gibi çeşitli amaçlarla kullanılabileceğini göstermektedir.

Dolayısıyla propaganda ile ludoloji arasındaki etkileşim, video oyunu araştırmaları için değerli bir çerçeve sunmaktadır. Bu çerçevede 2013-2023 yılları arasında yayımlanan, geniş oyuncu kitlelerine ulaşmış ve farklı türleri temsil eden sekiz oyun incelemeye alınmıştır (Tablo 1). Oyunlar bizzat oynanmış, içerik analizine tabi tutulmuş ve ilgili kavramlar ışığında propaganda açısından değerlendirilmiştir.

Tablo 1. İncelenen video oyunları

Oyun	Geliştirici / Yayıncı	Yıl	Tür	İncelenen unsur
Death Stranding	Kojima Productions / Sony Interactive Entertainment	2019	Aksiyon-macera	Ürün yerleştirme, ünlü oyuncu
Call of Duty: Modern Warfare	Infinity Ward / Activision	2019	Birinci şahıs nişancı	Oryantalist temsil
Battlefield 1	EA DICE / Electronic Arts	2016	Birinci şahıs nişancı	Tarihsel anlatının romantize edilmesi
Cyberpunk 2077	CD Projekt Red / CD Projekt	2020	Rol yapma	Ünlü oyuncu, özdeşleşme
FIFA 16	EA Canada / EA Sports	2015	Spor simülasyonu	Kapak tasarımı, saha içi reklamlar
BioShock Infinite	Irrational Games / 2K Games	2013	Birinci şahıs nişancı	İdeolojik afiş ve görseller
Atomic Heart	Mundfish / Focus Entertainment	2023	Birinci şahıs nişancı	Sovyet propaganda estetiği
Red Dead Redemption 2	Rockstar Games	2018	Aksiyon-macera	Karakter diyalogu üzerinden siyasi eleştiri

3. BULGULAR

3.1. Death Stranding

Death Stranding, Kojima Productions tarafından geliştirilen ve Sony Interactive Entertainment tarafından PlayStation 4 için 8 Kasım 2019'da, Microsoft Windows için ise 14 Temmuz 2020'de yayımlanan, başrolünde Norman Reedus'un yer aldığı bir aksiyon-macera oyunudur. Oyunda Sam Porter Bridges adlı karakterin, "Death Stranding" olarak adlandırılan felaketin ardından ölümler ile yaşayanlar arasındaki sınırın bulanıklaştığı bir dünyada hayatta kalma ve dağılmış insan topluluklarını yeniden birleştirme mücadelesi anlatılır. Oyun, Sam'in bu görevi başarıyla tamamladığı noktada sona erer (Kojima Productions, 2019).

Death Stranding oyununda Monster Energy içeceği belirgin biçimde öne çıkar. Ana karakter Sam, dayanıklılığını (stamina) yeniden kazanmak için Monster Energy içeceğini tüketir (Şekil 1). Gerçek bir markanın bir oyunda bu denli açık ve sürekli biçimde kullanılması nadir görülen bir durumdur ve modern propagandanın bir örneği olarak değerlendirilebilir. Monster Energy'nin oyun içindeki yerleşimi, oyunculara sürekli olarak markaya maruz kalma ve onunla etkileşim kurma fırsatı sunar. Bu durum, markanın tanınırlığını

artırabilir ve oyuncuların markayla olumlu bir ilişki kurmasını teşvik edebilir. Oyuncular, oyun sırasında çeşitli markalarla etkileşime girebilir ve bu markalarla olumlu bir ilişki geliştirebilir. Bu örnek, markaların kendi mesajlarını ve ürünlerini tanıtmak için video oyunlarını nasıl kullanabileceğini ve video oyunları ile markaların birlikteliğinin propaganda açısından nasıl işlevselleştirilebileceğini göstermektedir.

Şekil 1. Death Stranding oyununda Sam Porter Bridges'in Monster Energy içeceğini içtiği sahne



Norman Reedus'un başrolde yer alması da bir tür propaganda olarak görülebilir. Reedus, özellikle The Walking Dead dizisi sayesinde geniş bir hayran kitlesine sahip, tanınmış bir oyuncudur. Reedus'un oyunda yer alması, oyunun tanıtımı ve pazarlaması için önemli bir araç olmuş; oyunun ana karakteri Sam'i canlandırması, oyuna yönelik ilgiyi ve merakı artırmıştır. Bu durum, oyuncuları oyunla daha fazla etkileşim kurmaya ve oyunu daha uzun süre deneyimlemeye teşvik eder. Ayrıca oyuncular genellikle tanınmış ve sevilen bir oyuncunun yer aldığı bir yapımın kaliteli ve eğlenceli olacağını düşündüğünden, bu durum oyunun itibarını da güçlendirebilir.

Dolayısıyla bir oyun, belirli bir oyuncunun veya ünlünün yer alması sayesinde algısını ve itibarını artırabilir. Bu da Death Stranding'in belirli bir mesajı yaymak ya da belirli bir markayı veya ürünü tanıtmak için etkili bir araç olabileceğini göstermektedir.

3.2. Call of Duty: Modern Warfare

Call of Duty: Modern Warfare, Infinity Ward tarafından geliştirilen ve 2019 yılında Activision tarafından yayımlanan birinci şahıs nişancı oyunudur. Oyunda, çoğunlukla bir SAS veya CIA operatörü olarak dünya genelinde tehlikeli görevlerin tamamlanması gerekir. Oyun; kimyasal silahları ele geçirmeyi ve terör saldırılarını durdurmayı hedefleyen görevleri, düşman hatlarına sızmayı, rehine kurtarmayı ve yoğun çatışmalarda hayatta kalmayı içerir. Hızlı düşünme ve refleks gerektiren oyun, oyuncuların düşmanlarına karşı zafer kazanması ve dünyayı güvende tutmasıyla sona erer (Infinity Ward, 2019).

Call of Duty: Modern Warfare; 18 yaş sınırı ile kötü dil kullanımı, şiddet ve oyun içi satın alma etiketleriyle piyasaya sürülmüş, çıkışıyla birlikte hikâyesi ve oynanışı nedeniyle tartışmalara yol açmıştır. Oyunda Urzikstan adlı kurgusal bir Orta Doğu ülkesinin yer alması, bu tartışmaların merkezinde bulunmaktadır. Söz konusu kurgusal ülke, seride terörizmin ve iç çatışmaların yaygın olduğu bir bölge olarak resmedilmiştir (Şekil 2,3 ve 4). Oyunda Müslümanlar ve Araplar, üstü kapalı bir genelleme ile yoksulluk, cehalet ve geri kalmışlık içinde silah kullanmaya yatkın, terörist toplumlar ve terörle özdeşleştirilen bir dinin mensupları olarak temsil edilmektedir (Kahraman & Fidan, 2022).

Şekil 2. Urzikstan haritası



Şekil 3. Urzikstan bayrağı



Şekil 4. Urzikstan'da oyun içi ortam



Serinin tamamı göz önünde bulundurulduğunda, karşıtlığın yine oryantalist bir bakışla Doğu-Batı çatışması üzerinden kurulduğu ve Batı hegemonyasının sergilendiği görülmektedir. Bu tür tasvirler, oyunda özellikle Afganistan ve genel olarak Orta Doğu hakkında olumsuz bir anlatı ve propaganda oluşturmaktadır. Hikâyenin, oyuncuların Orta Doğu'ya ve bölgedeki sorunlara ilişkin anlayışlarını nasıl etkilediği de önemli bir konudur. Oyuncular, bu oyun deneyimleri aracılığıyla bölge hakkında yanıltıcı ve genelleyici bir bakış açısı edinebilir. Bu durum, oyuncuların Orta Doğu'ya ilişkin genel algılarını ve anlayışlarını şekillendirebilir. Sonuç olarak oyunun, toplumun genel bakış açısını etkilediği söylenebilir.

3.3. Battlefield 1

Battlefield 1, EA DICE tarafından geliştirilen ve Electronic Arts tarafından 21 Ekim 2016’da piyasaya sürülen birinci şahıs nişancı oyunudur. Oyuncular; İtalyan Alpleri’nde bir İtalyan özel kuvvetler askeri, Arap çölünde Bedevi bir kadın savaşçı ve Fransa’da Amerikalı bir pilot dâhil olmak üzere çeşitli karakterleri yönetir. Her hikâye, oyuncuların düşman hatlarının gerisine sızmasını, savaş alanında hayatta kalmasını ve düşmanlarına karşı zafer kazanmasını gerektirir (EA DICE, 2016). Oyun, oyuncuların çeşitli görevleri tamamladıkça ve savaşın seyrini değiştirdikçe I. Dünya Savaşı’nın olaylarını deneyimlemesini sağlar.

Battlefield 1’de propaganda açısından özellikle dikkat çeken bölüm, Arap Yarımadası’nda geçen “Nothing Is Written” (Hiçbir Şey Yazılı Değildir) adlı savaş hikâyesidir. Bedevi savaşçı Zara Ghufan’ın gözünden anlatılan bu bölümde, genellikle “Arabistanlı Lawrence” olarak anılan tarihî figür Thomas Edward Lawrence da yer almaktadır (Şekil 5).

Şekil 5. Battlefield 1 oyununun fragmanından kesitler



Lawrence, I. Dünya Savaşı’nın kaotik günlerinde Osmanlı İmparatorluğu’na karşı başlatılan Arap İsyanı’nda etkin rol oynamış ve bu süreçte İngiliz hükümetinin çıkarlarını gözetmiştir. Oyunda Lawrence ve desteklediği Arap İsyanı olumlu bir biçimde resmedilir. Oyuncular, İngilizlerin ve Arapların Osmanlı İmparatorluğu’na karşı

birleşik bir cephe oluşturduğu çarpıcı bir senaryonun içine çekilir. Bu durum, Lawrence'ın bir kahraman gibi gösterilmesine ve Arap İsyanı'nın meşru ve haklı bir mücadele olarak betimlenmesine yol açar. Oyun, oyuncularını Lawrence ve Arap İsyanı ile özdeşleşmeye teşvik ederken bu tarihî olaylara belirli bir bakış açısı sunar. Bu bakış açısı, İngiliz ve Arap çıkarlarını olumlu biçimde ön plana çıkarırken Osmanlıları düşman olarak betimler. Böylece tarih hakkındaki yerleşik anlayışlar ve genel kabul görmüş anlatılar yeniden şekillendirilebilir. Oyunun tarihî olayları romantize etme ve basitleştirme eğilimi, oyuncuların bu olayları ve figürleri belirli bir bakış açısıyla görmelerine neden olur ve özellikle genç oyuncuların tarih anlayışlarını belirgin biçimde etkileyebilir.

3.4. Cyberpunk 2077

Cyberpunk 2077, CD Projekt Red tarafından geliştirilen ve 2020 yılında CD Projekt tarafından yayımlanan, Night City adlı şehirde geçen bir rol yapma oyunudur. Oyuncular, geçmişte oyuncu tarafından seçilebilen, V adlı paralı bir askeri yönetir. V, bir soygun sırasında ele geçirdiği ve dijital bir bilinç kopyası taşıyan deneysel biyoçip "Relic"i'nin bedenine yerleşmesiyle, efsanevi rock müzisyeni ve şirket karşıtı eylemci Johnny Silverhand'ın dijital hayaletiyle aynı bedeni paylaşmak zorunda kalır. Oyun, V'nin çipin yol açtığı ölümcül süreci durdurma çabasını konu alır. Her seçim ve eylem, V'nin kaderini ve Night City'nin geleceğini etkiler; oyun, oyuncunun seçimlerine bağlı olarak farklı sonlarla tamamlanır (CD Projekt Red, 2020).

Cyberpunk 2077'de Johnny Silverhand karakterini Keanu Reeves canlandırmaktadır. Reeves'in canlandırdığı karakter, oyuncuları karakterle empati kurmaya ve onunla özdeşleşmeye teşvik etmektedir. Bu durum, oyunun mesajlarını daha etkileyici ve ikna edici hâle getirmiştir. Oyunun hikâyesine, karakterlerine ve dünyasına derinlemesine dalan oyuncular (Şekil 6 ve Şekil 7), oyunun sunduğu ideolojileri ve değerleri daha kolay benimseyebilir. Bu durum, oyunun propaganda potansiyelini önemli ölçüde artırabilmektedir.

Şekil 6. Night City



Şekil 7. Cyberpunk 2077 oyununun fragmanından kesit



3.5. FIFA 16

FIFA 16, EA Canada tarafından geliştirilen ve EA Sports tarafından yayımlanan bir futbol simülasyonu oyunudur. Oyun, oyuncuların dünyanın dört bir yanından gerçek futbol kulüplerini ve millî takımları yönetmesine olanak tanır; Premier League, La Liga, Serie A ve Bundesliga gibi dünyanın üst düzey futbol liglerini içerir. Oyun modları arasında kariyer modu, hızlı maç modu ve çevrim içi çok oyunculu mod bulunmaktadır (EA Canada, 2015).

FIFA 16’da çeşitli pazarlama ve propaganda stratejileri kullanılmaktadır. Bu stratejilerin en belirgin örneklerinden biri, ünlü futbolcuların oyun kapaklarında yer almasıdır. Bu futbolcular genellikle geniş bir hayran kitlesine sahip olduğundan ve tanınırlıkları oyunun popülerliğini ve prestijini artırabildiğinden, söz konusu uygulama bir propaganda stratejisi olarak değerlendirilebilir. Bu strateji, oyuncuları tanınmış futbolcularla ve dolayısıyla oyunla daha güçlü bir bağ kurmaya teşvik eder; oyunun satışlarını ve oyuna yönelik genel ilgiyi artırabilir. Bunun yanı sıra sahadaki reklamlar da modern bir propaganda biçimi olarak görülebilir (Şekil 8). Bu reklamlar, oyuncuların oyun sırasında belirli markalara sürekli olarak maruz kalmasına neden olur; bu durum markaların tanınırlığını artırır ve oyuncuların bu markalarla olumlu bir ilişki kurmasını kolaylaştırır.

Şekil 8. Oyun içinde sahada yer alan reklamlar



FIFA 16’nın belirli ülkelere özel kapaklar hazırlaması (Şekil 9) da önemli bir propaganda stratejisi olarak kabul edilebilir. Bu strateji, belirli bir ülkede veya bölgede oyunun popülerliğini ve satışlarını artırmayı hedefler. Oyunun o bölgedeki oyuncularla daha güçlü bir bağ kurmasını ve oyuncuların oyunla daha fazla etkileşime girmesini sağlar. Özelleştirilmiş kapaklar, oyuncuların kendi kültürlerini ve değerlerini oyunda yansıtılmış olarak görmelerine yardımcı olur; bu da oyunun genel cazibesini ve popülerliğini artırabilir.

Şekil 9. Türkiye için hazırlanan özel FIFA 16 kapağı ve reklamı



3.6. BioShock Infinite

BioShock Infinite, Irrational Games tarafından geliştirilen, yaratıcı yönetmenliğini Ken Levine'in üstlendiği ve 26 Mart 2013'te 2K Games tarafından yayımlanan birinci şahıs nişancı oyunudur. Oyunun ana karakteri, eski bir Pinkerton ajanı ve özel dedektif olan Booker DeWitt'tir. Booker, uçan şehir Columbia'da tutsak tutulan Elizabeth adlı genç kadını bulup getirmekle görevlendirilmiştir. Görevini tamamlamak için Columbia'nın farklı bölgelerini dolaşır ve çeşitli düşmanlarla yüzleşir. Oyun boyunca Booker ile Elizabeth arasında güçlü bir bağ oluşur; Elizabeth, düşmanlarla mücadelede ve engellerin aşılmasında Booker'a yardımcı olur. Oyunun sonunda Booker ve Elizabeth, Columbia'nın lideri Zachary Hale Comstock'u yenmeyi başarır. Ancak ardından Comstock'un, Booker'ın farklı bir gerçeklikteki versiyonu olduğu ve Elizabeth'in aslında Booker'ın kızı olduğu ortaya çıkar. Booker, geçmişteki hatalarını telafi etmek ve Comstock'un hiç var olmamasını sağlamak için kendi hayatını feda eder (Irrational Games, 2013).

Oyunun başında Booker DeWitt, Amerikan tarihinin romantize ve idealize edilmiş bir versiyonunu temsil eden uçan şehir Columbia'ya doğru yolculuğa çıkar. Ancak oyun ilerledikçe Columbia'nın parlak ve idealize edilmiş yüzünün altında yatan gerçekler yavaş yavaş ve etkileyici bir biçimde ortaya çıkar. Columbia, dış dünyayla bağlantısı olmayan, diktatörlükle yönetilen ve ırkçılıkla damgalanmış bir toplumun temsilidir (Şekil 10).

Şekil 10. BioShock Infinite oyun içi ortam, görseller ve afişler



Oyun, Columbia'nın hikâyesi aracılığıyla ideolojik aşırılıkların tehlikelerini ve baskıcı rejimlerin sonuçlarını gözler önüne serer. Böylece oyunculara bu konular hakkında daha fazla bilgi edinme ve daha derinlemesine düşünme fırsatı sunar. Oyunda karşılaşılan pek çok afiş ve görsel, idealize edilmiş Amerikan rüyasını temsil eden Columbia'yı ve bu rüyanın altında gizlenen karanlık gerçekleri gösterir (Zimnoch, 2015). Afişler genellikle "Peygamber" (The Prophet) olarak anılan lider Comstock'u bir kurtuluş simgesi olarak sunar ve Columbia halkında ona karşı derin bir saygı ve bağlılık duygusu uyandırmayı amaçlar. Buna karşılık Columbia'nın düşmanları genellikle tehditkâr ve korkunç biçimde tasvir edilir; bu da bu düşmanlara karşı bir düşmanlık duygusunun oluşmasını teşvik eder. Oyunda rastlanan birçok görsel, Columbia'nın ırkçılık ve ayrımcılıkla damgalanmış toplumunu yansıtır. Örneğin bazı afişler, Columbia'nın beyaz ırkın üstünlüğüne inandığını ve diğer ırkları aşağı gördüğünü açıkça ortaya koyar.

Oyun, oyunculara Amerikan tarihinin ve ideolojisinin çoğunlukla görmezden gelinen karanlık yüzlerini gösterir ve onları bu konular üzerinde düşünmeye teşvik eder. Amerikan rüyası olarak bilinen idealin aslında baskı ve eşitsizlik üzerine kurulu olduğunu eleştirel bir biçimde ortaya koyar. Oyun, geniş kitlelerce kabul görmüş olsa da Amerikan ideolojisinin herkes için adil ve özgür bir dünya vaat etmediğini belirgin bir şekilde gösterir.

3.7. Atomic Heart

Atomic Heart, Rus kökenli oyun stüdyosu Mundfish tarafından geliştirilen ve 21 Şubat 2023'te yayımlanan tek oyunculu birinci şahıs nişancı oyunudur. Oyun, teknolojinin ileri düzeyde geliştiği ve Sovyetler Birliği'nin güçlü kaldığı alternatif bir evrende geçer. Oyuncular, bir teknoloji üretim tesisinde isyan eden robotlar ve klonlarla mücadele eden, "P-3" kod adlı Sovyet ajanını yönetir. P-3'ün görevi, isyanın nedenini bulmak ve isyanı durdurmaktır. Oyunun sonu, oyuncunun yaptığı seçimlere göre değişir (Mundfish, 2023).

Atomic Heart, Sovyet propagandasının çeşitli unsurlarıyla doludur. Oyun, alternatif bir tarih anlatısı sunar ve bu anlatıda Sovyetler Birliği'nin ırkçılık, milliyetçilik ve totalitarizm üzerine kurulu propagandası yoğun biçimde kullanılır. Bu propaganda, oyun dünyasındaki posterler, semboller ve atmosfer aracılığıyla oyunculara sunulur (Şekil 11). Gelişmiş teknolojiye sahip bir Sovyetler Birliği'nde geçen oyunun dünyası, Sovyet propagandasının estetik unsurlarıyla örülüdür.

Şekil 11. Atomic Heart oyun içi ortam, görseller ve afişler



Oyuncular, bu propaganda unsurlarıyla sürekli karşı karşıya kalırken aynı zamanda bu unsurların toplum üzerindeki etkisini ve propagandanın nasıl kullanıldığını gözlemleme fırsatı bulur. Oyuncular, oyunda yer alan mesajları kabul etmeyi ya da reddetmeyi seçebilir ve bu seçimler oyunun farklı sonlarla bitmesini sağlar.

Oyun, popülerlik kazandıkça Rus propagandası yaydığı gerekçesiyle eleştirilmiş ve satışının durdurulması talep edilmiştir. Ukrayna Başbakan Yardımcısı ve Dijital Dönüşüm Bakanı Mykhailo Fedorov, oyunu “Rus dijital propagandasının yepyeni bir seviyesi” olarak nitelendirmiş ve Sony, Microsoft ve Valve’a gönderdiği mektuplarla oyunun satışının yasaklanmasını istemiştir (AIN.UA, 2023).

Sonuç olarak Atomic Heart, Sovyet propagandasını ve komünizmi ele almakta ve bu konuları düşündürücü bir hikâye anlatımı içinde sunmaktadır. Oyun, propaganda ve ideolojinin etkilerini ve bunların toplum ve bireyler üzerindeki rolünü anlama konusunda oyunculara değerli bir perspektif sunar.

3.8. Red Dead Redemption 2

Red Dead Redemption 2, Rockstar Games tarafından geliştirilip 2018 yılında yayımlanan ve 1899 yılında Amerika’nın Vahşi Batı’sında geçen bir aksiyon-macera oyunudur. Oyuncular, bir suç çetesinin üyesi olan Arthur Morgan’ı yönetir. Çete, federal ajanlar ve ödül avcıları tarafından takip edilirken Arthur, çete içindeki sadakat, idealizm ve hayatta kalma arasında denge kurmak zorundadır. Oyun, Arthur’un çete lideri Dutch van der Linde’nin idealizmine olan inancını yitirmesini ve çetenin dağılmasını konu alır. Arthur, çete üyelerini ve ailelerini korumak için hayatını riske atar; ancak Dutch’ın giderek artan paranoyası ve hırsı çetenin sonunu hızlandırır. Arthur’un ölümü ve çetenin çöküşü, serinin ilk oyunu olan Red Dead Redemption’ın hikâyesine zemin hazırlar. İlk oyun, eski çete üyesi John Marston’ın ailesini korumak için eski çete arkadaşlarının peşine düştüğü bir hikâyeyi anlatır (Rockstar Games, 2018).

Red Dead Redemption 2’deki Uncle karakteri, çetenin yaşlı, tembelliğiyle bilinen ve çoğunlukla hafife alınan hikâye anlatıcısıdır. Kendi hikâyesi ve geçmişi olan Uncle, çeşitli görev ve hikâyelerde yer alır, oyuncuya rehberlik eder ve genel hikâye ile karakterler hakkında bilgiler sunar.

Uncle karakteri, ABD’nin Filipinler’e müdahalesini eleştiren bir diyaloga sahiptir (Şekil 12). Bu diyalog, oyunun kurgusal Vahşi Batı dünyasının ötesine geçerek oyuncuları gerçek dünya siyaseti hakkında düşünmeye teşvik eder. Böylece Uncle karakterinin, sıradan bir yan karakter olmanın ötesinde, daha büyük tarihî ve siyasi meselelere dikkat çeken bir rol üstlendiği görülmektedir. Uncle’ın bu eleştirisi, oyunun hikâyesine ABD’nin Filipinler’e müdahalesinin haklı olup olmadığına ilişkin tartışmayı da ekler.

Şekil 12. Uncle karakterinin Filipinler ile ilgili yorum yaptığı sahneden oyun içi kesit



Bu durum, oyun deneyimine tarihsel ve siyasi bir boyut katar; oyuncuların söz konusu tarihî olay hakkında bilgi sahibi olmasını ve kendi görüşlerini oluşturmasını sağlar. Bu da oyunun yalnızca bir eğlence aracı olmadığını, aynı zamanda eğitici bir değer taşıdığını göstermektedir. Bu eleştiri, ABD'nin dış politikasına ve genel olarak emperyalizme karşı örtük bir propaganda olarak da görülebilir. Uncle karakterinin eleştirisi aracılığıyla oyuncular, Amerikan dış politikasının olumsuz yönlerini göz önünde bulundurmaya teşvik edilir. Öte yandan bu eleştiri, oyuncuların kendi siyasi görüşlerini ve değerlerini sorgulamasına da imkân tanır. Bu durum, video oyunlarının siyasi farkındalığı artırma ve oyuncuların tarihsel olaylar hakkında daha bilinçli olmasını sağlama potansiyelini ortaya koymakta; oyunun, oyuncuların düşünce biçimlerini ve değerlerini etkileyebilecek güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

Siyasi eleştiriler ve yorumlar, özellikle genç oyuncular üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bu tür içerikler, genç oyuncuları siyasi konular hakkında daha fazla düşünmeye ve kendi görüş ve değerlerini geliştirmeye teşvik edebilir. Ayrıca video oyunları, genç oyuncuların farklı siyasi görüşleri ve değerleri anlamalarına ve bunlara saygı duymalarına yardımcı olabilir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Video oyunları, propaganda aracı olarak etkin biçimde kullanılabilir. Oyunlar genellikle belirli ideolojileri ve değerleri oyunculara aktarır ve oyuncuları bu konular hakkında düşünmeye teşvik eder. Bu etkileşim çoğunlukla oyunun atmosferi, hikâyesi, karakterleri ve oyun mekanikleri aracılığıyla gerçekleşmektedir. Oyuncular, oyun sırasında propaganda unsurlarını kabul edebilir veya reddedebilir; bu tercih

genellikle oyuncunun kişisel değerleri, inançları ve düşünceleriyle bağlantılıdır. Ancak ideolojik unsurların kabul edilmesi ya da reddedilmesi de oyun deneyiminin ve hikâyenin bir parçasıdır.

Oyunlar, oyunculara eleştirel düşünme becerilerini kullanma ve çeşitli siyasi ve sosyal konular hakkında derinlemesine düşünme fırsatı sunar. Bu da oyunların yalnızca birer eğlence aracı olmadığını, aynı zamanda eğitici bir değer taşıdığını göstermektedir. Video oyunları, özellikle genç oyuncular üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve onların siyasi farkındalığını artırabilir. Bununla birlikte video oyunları, belirli bir ideolojiyi veya değeri anlatma ve yayma konusunda güçlü bir araçtır. Bu durum, büyük ölçüde oyunların geniş kitlelere ulaşabilme ve oyuncuları etkileyebilme gücünden kaynaklanmakta; video oyunlarının toplum üzerindeki etkisini ve önemini göstermektedir. Bu nedenle video oyunlarının propaganda aracı olarak nasıl kullanıldığının farkında olmak önemlidir. Oyuncular ve ebeveynler, oyunlar aracılığıyla sunulan ideolojileri ve değerleri anlamalı ve bu mesajların farkında olmalıdır. Oyuncuların bu mesajları eleştirel bir biçimde değerlendirmesi ve kendi değerlerini ve inançlarını geliştirmesi önem taşımaktadır.

Sonuç olarak video oyunları yalnızca eğlenceli bir deneyim sunmakla kalmamakta, aynı zamanda oyunculara çeşitli ideolojiler ve değerler hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu nedenle oyun geliştiricilerinin ve yayıncılarının, oyunlarının içerdiği mesajların ve propaganda unsurlarının farkında olması ve bu unsurların oyuncular üzerindeki olası etkilerini göz önünde bulundurması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aarseth, E. (2003, 19–23 Mayıs). *Playing research: Methodological approaches to game analysis* [Bildiri sunumu]. Digital Arts and Culture Conference (DAC 2003), Melbourne, Avustralya.
- AIN.UA. (2023, 3 Mart). *Ukraine's Ministry of Digital Transformation asks companies to ban selling Atomic Heart*. <https://en.ain.ua/2023/03/03/ukraines-ministry-of-digital-transformation-asks-companies-to-ban-selling-atomic-heart/>
- CD Projekt Red. (2020). *Cyberpunk 2077* [Video oyunu]. CD Projekt.
- EA Canada. (2015). *FIFA 16* [Video oyunu]. EA Sports.
- EA DICE. (2016). *Battlefield 1* [Video oyunu]. Electronic Arts.
- Entertainment Software Association. (2022). *2022 essential facts about the video game industry*. <https://www.theesa.com/wp-content/uploads/2024/02/2022-Essential-Facts-About-the-Video-Game-Industry.pdf>
- Erad, D. (2018). *Video games as a propaganda tool: Representation of the USA* [Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi]. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/27598>
- Infinity Ward. (2019). *Call of Duty: Modern Warfare* [Video oyunu]. Activision.
- Irrational Games. (2013). *BioShock Infinite* [Video oyunu]. 2K Games.
- Juul, J. (2004, 22 Şubat). The definitive history of games and stories, ludology and narratology. *The Ludologist*. <https://www.jesperjuul.net/ludologist/2004/02/22/the-definitive-history-of-games-and-stories-ludology-and-narratology>
- Kahraman, İ., & Fidan, Z. (2022). Yeni bir propaganda mecrası olarak dijital oyunlar. *TRT Akademi*, 7(16), 852–887. <https://doi.org/10.37679/trta.1139103>
- Karadeniz, O. Ö. (2017). Oyun incelemelerinde ludoloji-narratoloji tartışması ve alternatif kuramsal arayışlar. *Galatasaray Üniversitesi İleti-ş-im Dergisi*, (27), 57–78. <https://doi.org/10.16878/gsuilet.373236>
- Kojima Productions. (2019). *Death Stranding* [Video oyunu]. Sony Interactive Entertainment.
- Koral, F., & Alptekin, K. (2023). Dijital oyun bağımlılığı: Bir derleme çalışması. *Karatay Sosyal Araştırmalar Dergisi*, (11), 283–308. <https://doi.org/10.54557/karataysad.1237807>
- Mundfish. (2023). *Atomic Heart* [Video oyunu]. Focus Entertainment.
- Rockstar Games. (2018). *Red Dead Redemption 2* [Video oyunu].
- Zimnoch, M. (2015). *Aesthetics of propaganda in "Bioshock: Infinite"* [Yayımlanmamış taslak]. Jagiellonian University. <https://www.researchgate.net/publication/274952718>

AZƏRBAYCANDA YAZI MƏDƏNİYYƏTİNİN FORMALAŞMA TARİXİ

Sahilə İbrahimova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti,

Müasir Azərbaycan dili kafedrasının dosenti, f.ü.f.d

e-mail: sahila.ibrahimova@yahoo.com

ORCID ID: 0009-0008-6960-524x

Özət

Ayrı-ayrı dövrlərdə olan yazı növlərini və bunların inkişafını tədqiq etməyin bəşər sivilizasiyasının, cəmiyyətinin inkişaf tarixini öyrənmək üçün böyük əhəmiyyəti var. Yaranma tarixi, forma və səbəblərindən asılı olmayaraq qədim yazılar müasir dövrdə istifadə etdiyimiz müxtəlif yazı sistemlərinin əcdadı sayıla bilər. Azərbaycan ərazisində qədim tarixə malik əlifbanın mövcudluğu elmdə təsdiq olunmuş faktır. Türklərin ilkin beşiyi Ön Asiya – Azərbaycanda qədim yazı nümunələrinə hər yerdə rast gəlmək olur. Azərbaycanda yüksək inkişaf səviyyəsinə çatmış yazı – həkkətmə mədəniyyətinin fərqli üsullarına, oyma (qazıma) və qabartma üsullarına rast gəlinir. Bu yazı – həkkətmə mədəniyyətinin Azərbaycanda çox qədimdən yüksək inkişafının göstəricisidir. Qobustan və Gəmiqayada qədim əlifba işarələrinin aşkar edilməsi onu piktoqrafik yazı sırasından çıxarmağa əsas verir. Məqalədə Gəmiqaya-Qobustan əlifbası ilə Orxon-Yenisey əlifbalarının müqayisəsi də maraqlıdır. Orxon-Yenisey yazısı türk həyat tərzinin, cəngavərlik rəmzinin simvolunu (çadır, yay, ox, süngü, qılınc) təsvir edən işarələr, Gəmiqaya-Qobustan yazıları isə fəlsəfi düşüncə, inam, etiqadı simvollaşdıran işarələr əsasında yaranıb. Bu sirlərlə dolu möcüzə bizim dilimizin səslərinin ahəngində, musiqidə, memarlıqda, xalçaçılıqda, rəqslərdə əks olunub. Yalnız türk düşüncəsinin genetik daşıyıcıları olan xalq bu gizli kodları – piktoqrafları, yazı işarələrini, səslərin harmoniyasını, ecazkar musiqini – muğamlarımızı, xalçalarımızdakı naxışların sirlərini, rəqslərimizdəki mənanı duya bilər. Müasir dövrümüzdə xalçalarımız, rəqslərimiz gen yaddaşımızın, etnik düşüncə və soykökümüzün sirli möcüzələri olan naxışları və yazı işarələrini özündə yaşadan və təbliğ edən ecazkar qüvvədir.

Açar sözlər: Azərbaycan yazı mədəniyyəti, türk fəlsəfi dünyagörüşü, Qobustan, Gəmiqaya yazıları, piktoqraflar, əlifba

CREATION HISTORY OF AZERBAIJANI WRITTEN CULTURE

Sahila Ibrahimova

Azerbaijan State Pedagogical University Associate Professor, PhD in Philology

e-mail: sahila.ibrahimova@yahoo.com ORCID ID: 0009-0008-6960-524x

Abstract

The study of writing types and their development in different periods is of great importance for exploring the history of developing human civilization and society. Ancient writings, regardless of the occurrence date, form and reasons, can be considered the progenitor of various writing systems, that we use in modern period. An alphabet existence with ancient history, on the territory of Azerbaijan is a fact confirmed by science. First cradle of Turks - forepart Asia - in Azerbaijan, examples of ancient writing can be found everywhere. In Azerbaijan, writing has reached to the high level of developing - various methods of carving culture, and methods of engraving is met also. Since ancient times, this writing - is an indicator of the high developing culture of carving culture in Azerbaijan. Discovery of ancient alphabetic signs gives grounds excluding it from the series of pictographic writings in Gobustan and Gamigai. Comparing the alphabet of Orkhon-Yenisei with the Gamigaya- Gobustan alphabet is also very interesting in the article. Orkhon-Yenisei inscription of Turkish life, symbol of chivalry (tent, bow, arrow, bayonet, sword) descriptive signs, the works of Gamigai-Gobustan represent philosophical thought, faith is based on signs that symbolize faith. This miracle, which is full of secrets is reflected in the harmony of our language, in wonderful music - our mugams, architecture, carpet-weaving, and in dances. Only people - who are genetic carriers of Turkish thought, these secret codes - pictograms, written signs, harmony of sounds, wonderful music - our mugams, the secrets of the patterns on our carpets, it can feel the meaning in our dances. Nowadays our carpets, our dances are our genetic memory, ethnic thinking and our origins patterns with mysterious miracles, which keeps written signs alive, and is the wonderful power, that was preached.

Key words: culture of Azerbaijani writing, Turkic philosophical worldview, Gobustan, Gamigai inscriptions, pictograms, alphabet.

AZERBAIJAN ÇOCUK EDEBİYATININ TARİHSEL-KÜLTÜREL TEMELLERİ 20. YÜZYILIN 80'LERİ

Doçent Doktor, AYGUN AHMADOVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi, Edebiyat öğretim teknolojisi bölümü
(ahmadovaa708@gmail.com) ORCID: 0000-0002-2464-2513

Özet

Çocukların dünya görüşünün gelişmesinde, ilgi alanlarının genişlemesinde, ahlaki ve manevi eğitimlerinde, karakterlerinin güçlenmesinde ve nihayetinde sanatsal zevklerinin geliştirilmesinde edebi sürecin rolü yadsınamaz. Bu alanda çocuk edebiyatı da dahil olmak üzere genel edebiyatın rolü yadsınamaz. Geniş yaratıcı özünü koruyan ve kadim ve zengin geleneklere sahip Azerbaycan çocuk edebiyatı, modern çağımızda yeni bir aşamaya girmiş ve okunabilir eserlerin gelişimine ivme kazandırmıştır. Edebiyatımızın daha sorumluluk sahibi bir alanı olan ve çocukların ideolojik ve estetik eğitimine hizmet eden çocuk edebiyatı, bu küresel tarihsel sürecin gerisinde kalmamıştır. Bu bağlamda, daha esnek bir alan olarak kabul edilen Azerbaycan çocuk edebiyatı ve şiiri, yeni ideolojik ve estetik tonlarla bir yön almıştır. Bağımsızlık döneminde bu tarihsel süreci araştırmak ve yeni bir bakış açısıyla ele almak, edebiyat eleştirisinin önemli ve acil sorunlarıdır.

Akademisyen Bekir Nabiye, 1983 yılında yazdığı “Çocuk Edebiyatımız Modern Sahnede” adlı makalesinde çocuk şiiri hakkında şunları yazmıştır: “Makalenin bir bölümünü yazarken, genel olarak şiirde olduğu gibi, Rasul Rza’nın yerinin günümüz çocuk şiirinde de görülebildiğine bir kez daha ikna olduk.” Ardından aynı makalede, “Azerbaycan çocuk edebiyatı cesurca yeni konulara yöneliyor, önemli eserlerle güçleniyor ve yetenekli gençler sayesinde yaratıcılarının sayısı daha da artıyor” denmektedir. Bu edebi süreç, sadece yeni bir şiir dünyasının ortaya çıkışını yansıtmakla kalmamış, aynı zamanda onun oluşumuna da aktif olarak katkıda bulunmuştur. Bu, vatansever ve dünya insanı olan bir insan kişiliğinin oluşumuna ve olgunlaşmasına zemin hazırlamaktadır. Özellikle, konusu ne olursa olsun, çocuklar için yazılan eserler, yazarlarımızın çocukların yaş ve bilgi düzeyini dikkate alarak hazırladıkları ilgi çekici ve okunabilir eserleriyle binlerce yeni ve çeşitli okuyucu kazanmıştır. Bu da yeni bir okuyucu kuşağının ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Anahtar kelimeler: özünü koruyan, çocuklar için, yetenekli gençler, yeni konular, edebi süreç

HISTORICAL-CULTURAL BASIS OF AZERBAIJAN CHILDREN'S LITERATURE 80S OF THE 20TH CENTURY

Abstract

The role of the literary process in the development of children's worldview, the expansion of their interests, moral and spiritual education, the strengthening of character, and, finally, the polishing of artistic taste is undeniable. The role of general literature, including children's literature, in this field is undeniable. Azerbaijani children's literature, which has preserved its broad creative essence and has ancient and rich traditions, has entered a new stage in our modern era and has given impetus to the development of readable works. Children's literature, which is a more responsible field of our literature and serves the ideological and aesthetic education of children, did not lag behind this historical global process. In this regard, Azerbaijani children's literature and poetry, which is considered its more flexible field, took a direction with new ideological and aesthetic shades. Investigating and studying this historical process and approaching it from a new prism during the period of independence are important and urgent problems of literary criticism.

In his article "Our Children's Literature in the Modern Stage" written in 1983, Academician Bekir Nabiyev wrote about children's poetry: "While writing a part of the article, we once again became convinced that, as in poetry in general, Rasul Rza's place is visible in our children's poetry today." Then, the same article notes that "Azerbaijani children's literature boldly embarks on new topics, is strengthened by significant works, and the ranks of its creators are becoming even denser due to talented young people." This literary process not only reflected the emergence of a new world of poetry, but also actively participated in its formation. This paves the way for the formation and maturation of a human personality that is a patriot of one's country and a man of the world. In particular, works written for children, regardless of the topic, have gained thousands of new and diverse readers with their interesting and readable works by our writers, taking into account the age and level of knowledge of children. This also led to the emergence of a new generation of readers.

Keywords: preserving its essence, for children, talented youth, new topics, literary process

AZƏRBAYCAN UŞAQ ƏDƏBİYYATININ TARİXİ-MƏDƏNİ ƏSASLARI XX ƏSRİN 80-Cİ İLLƏRİ

Giriş

Uşaqların dünyagörüşünün inkişafında, maraq dairəsinin genişlənməsində, əxlaqi və mənəvi tərbiyəsində, xarakterinin möhkəmlənməsində və, nəhayət, bədii zövqünün formalaşmasında ədəbi prosesin rolu danılmazdır. Bu baxımdan, ümumən ədəbiyyatın, o cümlədən uşaq ədəbiyyatının rolu xüsusilə əhəmiyyətlidir. Geniş yaradıcılıq imkanlarını qoruyub saxlayan, qədim və zəngin ənənələrə malik Azərbaycan uşaq ədəbiyyatı müasir dövrdə yeni mərhələyə qədəm qoyaraq oxunaqlı və bədii cəhətdən dəyərli əsərlərin yaranmasına təkan vermişdir. Ədəbiyyatımızın daha məsuliyyətli sahələrindən biri olan və uşaqların ideya-estetik tərbiyəsinə xidmət edən uşaq ədəbiyyatı tarixi-qlobal ədəbi proseslərdən geri qalmamışdır. Bu baxımdan, Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının daha çevik sahəsi hesab olunan poeziya da yeni ideya-estetik çalarlar və istiqamətlərlə zənginləşmişdir. Bu tarixi prosesi araşdırmaq və öyrənmək, müstəqillik dövründə ona yeni prizmadan yanaşmaq ədəbi tənqidin mühüm və aktual problemlərindən biridir.

Akademik Bəkir Nəbiyev 1983-cü ildə qələmə aldığı “Uşaq ədəbiyyatımız müasir mərhələdə” adlı məqaləsində uşaq şeirindən söz açarkən yazırdı: “Məqalənin bir parçasını yazarkən bir daha yəqinlik hasil etdik ki, ümumiyyətlə poeziyada olduğu kimi, bu gün uşaq şeirimizdə də Rəsul Rzanın yeri görünür.” Sonra həmin məqalədə qeyd olunur ki, “Azərbaycan uşaq ədəbiyyatı təzə mövzulara cəsarətlə girişir, sanballı əsərlərlə qüvvətlənir, bu yaradıcılıq gənclər hesabına daha da sıxlaşır.” Bu ədəbi proses yeni poeziya dünyasının yaranmasını özündə əks etdirməklə yanaşı, onun təşəkkülündə də fəal iştirak edirdi. Bu da dünyagörüşlü, öz ölkəsinə vətənpərvər insan şəxsiyyətinin formalaşmasına və yetişməsinə yol açırdı. Xüsusilə uşaqlar üçün yazılan əsərlər mövzu müxtəlifliyindən asılı olmayaraq, yazıçılarımız tərəfindən uşaqların yaş və bilik səviyyəsi nəzərə alınmaqla qələmə alınmış, maraqlı və oxunaqlı əsərlər vasitəsilə geniş və müxtəlif oxucu auditoriyası qazanmışdır. Bu isə yeni nəsil oxucuların formalaşmasına səbəb olmuşdur.

Təbii ki, tarixi şəxsiyyətlərin öyrənilməsi və onların fəaliyyətinin tədqiqi elmi tarixin vəzifəsi olduğu qədər, bədii ədəbiyyatın da borcudur. Ədəbiyyat tarixin yetişdirdiyi şəxsiyyətlərin obrazını yaratmaqla yanaşı, dünən, bu gün və sabah arasında ünsiyyət körpüsü rolunu da oynayır. Geniş yaradıcılıq imkanlarını qoruyub saxlayan, qədim və zəngin ənənələrə malik Azərbaycan uşaq ədəbiyyatı müasir dövrdə yeni mərhələyə qədəm qoyaraq oxunaqlı əsərlərin yaranmasına təkan vermişdir. Zəngin klassik poeziyamızın tarixi keçidlərini araşdırdıqda, Abbasqulu ağa Bakıxanov, Qasım bəy Zakir, Seyid Əzim Şirvani, Mirzə Ələkbər Sabir, Abbas Səhhət, Abdulla Şaiq, Mir Mehdi Seyidzadə, Mikayıl Rzaquluzadə kimi yaradıcılığında uşaq poeziyası nümunələrinə yer verən

sənətkarların müxtəlif poetik axtarışlar apardıqlarını görürük. Onlar zamanın tələbləri baxımından fərqli yaradıcılıq poetikasına müraciət etmiş və uşaq poeziyasının inkişafına mühüm töhfələr vermişlər.

Didaktik məzmunlu Azərbaycan şeiri üçün tarixi mərhələlərin mühüm nüsxə təşkil etməsi müasir uşaq poeziyasının da bu zəngin poetik ənənədən bəhrələnməsinə imkan vermişdir. 1980–1990-cı illərdə Xanıməna Əlibəyli, Mirvarid Dilbazi, Teymur Elçin, İlyas Tapdıq, Məstən Əliyev (Günər), Hikmət Ziya, Fikrət Sadıq, Tofiq Mahmud, Tofiq Mütəllibov, Məmməd Aslan, Zəhid Xəlil, Məmməd Namaz, Ələmdar Quluzadə, Qəşəm İsabəyli, Rafiq Yusifoğlu kimi uşaq ədəbiyyatının inkişafına yeni məzmun və poetik çalarlar gətirən sənətkarlar klassiklərimizin yaradıcılıq ənənələrini davam etdirmiş, bu ənənəni yeni poetik axtarışlarla zənginləşdirmişlər. Onların yaradıcılığında uşaqların yaş xüsusiyyətləri, dünyagörüşü və estetik tələbləri nəzərə alınmaqla müxtəlif mövzulara müraciət edilmiş, uşaq poeziyasının məzmun və forma baxımından inkişafına mühüm töhfələr verilmişdir. Bu sənətkarlar uşaq ədəbiyyatının inkişafında mühüm rol oynamaqla yanaşı, xalqın tarixi təcrübəsinin, milli yaddaşının və mənəvi dəyərlərinin yeni nəsə çatdırılmasına xidmət edən əsərlər yazmışdılar.

Bu illərin yaradıcılıq prosesində təqlidçiliyə, ayrı-ayrı şairlərin poeziyasında nəzərə çarpan quru nəzmçiliyə, ritorikaya, pafosa, sözcülüyə və üslub qüsurlarına münasibətin dəyişməsi həmin çatışmazlıqların tənqid olunması üçün ilkin şərait yaranmışdır. Belə qüsurların mənbəyini sovet dövrü ədəbiyyatının “formaca milli, məzmunca sosialist” məfkurəsində axtarmaq olar. XX əsrin 80-ci illərinin sonu-90-cı illərinin əvvəllərində ədəbiyyatda və mətbuatda baş verən köklü dəyişikliklər SSRİ-nin süqutu, milli hisslərin oyanması, milli düşüncənin və dövlətçilik şüurunun yüksəlişi ilə səciyyələnirdi. Eyni zamanda, bu dəyişikliklər ədəbi-estetik təfəkkürün, onun spesifik tərkib hissəsi olan uşaq poeziyasının da yeni məzmun və ifadə vasitələri baxımından yenilənməsini zəruri edirdi. Müasir Azərbaycan uşaq poeziyasında müəyyən mərhələlərdə oxucu marağının və nüfuzunun zəifləməsi də müşahidə olunurdu.

Müstəqillik dövründə uşaq ədəbiyyatı əsərlərinin yaranma tarixinə nəzər saldıqda, müasir Azərbaycan uşaq ədəbiyyatına yeni mövzuların, ideyaların və motivlərin daxil olması prosesinin şahidi oluruq. Bu proses günün aktual məsələlərinin ədəbiyyatda əks olunması və ədəbi inkişafın mövzu baxımından genişlənməsi ilə bağlı idi. Tədqiqatçıların qənaətinə görə, 1980-ci illərin ortalarından etibarən müşahidə olunan bu dönüş Azərbaycanda və dünyada baş verən ictimai-siyasi və ideoloji proseslərin nəticəsi kimi meydana çıxmışdır. Bu istiqamətdə araşdırmalar aparan müəlliflər nümunə gətirdikləri şeirlərin forma və məzmun vəhdətini, daxili ritmini, ölçüsünü, alliterasiyasını, ifadə formalarını, ən başlıcası isə bədii ifadə tərzini təhlil edir, sözün poetik çalarlarını

üzə çıxarırlar. Məlumdur ki, uşaq poeziyasında bədiiliklə yanaşı, sadəlik və təbiilik də mühüm tələblərdəndir. Yazıçılarımızın yeni əsərlərində əsas məqsəd uşaqların dilinə mürəkkəb və mücərrəd ifadələr, ağır söz yükü gətirmək deyil, onların yaş və qavrama xüsusiyyətlərinə uyğun, aydın, təbii və bədii cəhətdən dolğun əsərlər yaratmaq olmuşdur. Uşaq ədəbiyyatının sonrakı inkişafında bu prinsiplərin getdikcə daha çox nəzərə alınmasını görmək mümkündür.

Müstəqillik dövründə Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının problemlərinin müzakirə olunduğu müşavirədə Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin sədri Anar müzakirəyə yekun vurarkən həmin problemləri aşağıdakı şəkildə ümumiləşdirmişdir: “Birincisi yazmaqdır, bu, tam bizdən asılı problemdir. Uşaqlar üçün maraqlı, gərəkli, istedadla yazılmış ədəbiyyat yaratmaq gərəkdir. İkinci problem çap olunmaqdır, bu, bizdən, qismən, asılıdır. Yazıçılar Birliyi əvvəlki kimi kitab siyasətinə təsir imkanına malik deyil, nəşriyyatların fəaliyyəti azaddır. Amma bizim orqanlarımız, toplularımız var, burada uşaq səhifələri ayırmaqla biz bu sahənin qayğısına qala bilərik. Üçüncü, kitab satışı problemidir. Bu, artıq bizdən asılı məsələ deyil... Dördüncü problem-oxutdurmaq, oxucu problemidir. Burada da müəllimlər valideynlərlə səyləri birləşdirməklə fəaliyyət göstərə bilər”.

Sadələnmə problemlərin hamısı kifayət qədər ciddi məsələlərdir. Lakin ən ciddi və ən önəmli məsələ uşaqların zövqünə cavab verən, onların hisslərinin və intellektual inkişafının düzgün istiqamətdə formalaşmasına xidmət edən əsərlərin yaradılmasıdır. Azərbaycan cəmiyyətində özünü göstərən müasir sosial-ideoloji, mənəvi-mədəni proseslər uşaqların ideya-estetik tərbiyəsinə və uşaq ədəbiyyatının inkişafına xüsusi diqqət yetirilməsini tələb edir.

Nəticə

Azərbaycan uşaq poeziyasının, ümumən uşaq ədəbiyyatının inkişafı üçün mühüm tarixi-mədəni əsaslar mövcuddur. Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının, xüsusilə poeziyasının zəngin tarixi təcrübəyə malik olması, bu təcrübənin müxtəlif dövrlərdə davam etdirilərək günümüze qədər gəlib çatması mühüm ədəbi fakt kimi qiymətləndirilə bilər. 1980-ci illərin sonu-1990-cı illərin əvvəllərindən başlayaraq Azərbaycanda müstəqillik və milli azadlıq hərəkatının yaratdığı ideoloji-mənəvi şəraitdə Azərbaycan uşaqlarının və gənclərinin ideya-estetik tərbiyəsinə böyük ehtiyacın olduğu ədəbiyyatda da öz əksini tapmışdır. Azərbaycanda ümumən ədəbiyyatın, o cümlədən uşaq ədəbiyyatının inkişafı üçün kifayət qədər güclü yaradıcılıq potensialının mövcudluğu və eyni zamanda bu sahəyə yeni qüvvələrin gəlməsi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bununla belə, Azərbaycanda uşaq ədəbiyyatının inkişaf problemlərinə dünya ədəbi prosesindən təcrid olunmuş şəkildə yanaşmaq düzgün deyildir.

Dünyada uşaqların təlim-tərbiyəsi müxtəlif milli-mədəni formalarda meydana çıxsada, bu proses ümumbəşəri dəyərlər müstəvisində vahid inkişaf istiqamətlərinə malikdir.

Dünya ədəbiyyatının əsas mövzuları sırasında sülh, tərəqqi və insan azadlığı kimi ümumbəşəri məsələlər xüsusi yer tutur. Bu mövzular Azərbaycan uşaq ədəbiyyatında da müxtəlif səviyyələrdə öz əksini tapmışdır. Bununla belə, uşaq ədəbiyyatının maraq dairəsini yalnız bu mövzularla məhdudlaşdırmaq olmaz. Ayrı-ayrı xalqlar üçün xarakterik olan milli mövzular da mövcuddur. Məsələn, Azərbaycan uşaq ədəbiyyatında yaşlılara hörmət, vətənpərvərlik, ata-anaya məhəbbət, dostluq və digər mövzular həmişə olduğu kimi, bu gün də aparıcı mövzulardandır. Bu mövzuların ideya-estetik işlənmə özünəməxsusluğu və idraki prinsipləri də kifayət qədər milli xarakter daşıyır.

Beləliklə, müasir Azərbaycan uşaq ədəbiyyatında, eləcə də ümumi ədəbiyyatda biri digəri ilə üzvi əlaqədə olan mövzu-ideya kompleksləri mövcuddur. Bunlardan biri beynəlxalq, yaxud ümumbəşəri mövzular, digəri isə milli mövzulardır. Əlbəttə, bu bölgüdə müəyyən şərtlilik özünü göstərir. Ümumbəşəriyyətlə milliliyi bu cür kəskin şəkildə ayırmaq çətindir. Lakin həmin bölgüdən tamamilə imtina etmək də mümkün deyildir. Çünki yaradıcılıq praktikasında belə mövzu diferensiasiyası dərhal nəzərə çarpır.

Sovet dövründə Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının, ümumən sovet ədəbiyyatının müəyyən imkanları sayəsində Azərbaycan uşaq ədəbiyyatı dünya uşaq ədəbiyyatının ideya, mövzu və motivləri ilə müxtəlif səviyyələrdə təmasda olmuşdur. Bu isə Azərbaycan uşaq ədəbiyyatında, o cümlədən uşaq poeziyasında beynəlxalq və ümumbəşəri mövzuların işlənməsinə müəyyən imkanlar yaratmışdır. Eyni zamanda, milli mövzuların işlənməsində və onların ideya-estetik şərhində beynəlxalq, yaxud ümumbəşəri prinsiplər getdikcə daha geniş yer tutmuşdur.

Beləliklə, Azərbaycan uşaq poeziyasının inkişafı qədim və zəngin milli poetik ənənələrə söykənməklə yanaşı, müxtəlif tarixi mərhələlərdə meydana çıxan ictimai-siyasi və mədəni dəyişikliklərlə də sıx bağlı olmuşdur. Xüsusilə 1980-ci illərin sonu-1990-cı illərin əvvəllərində baş verən milli-mənəvi oyanış uşaq ədəbiyyatının mövzu və ideya dairəsinə ciddi təsir göstərmiş, müstəqillik dövründə isə bu istiqamətdə yeni yaradıcılıq imkanları meydana çıxmışdır. Uşaq poeziyasında milli dəyərlərlə ümumbəşəri ideyaların vəhdəti, uşaqların yaş və qavrama xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması, bədii sadəlik və təbiilik müasir inkişafın mühüm prinsipləri kimi diqqəti cəlb edir.

KAYNAKLAR

1. X.Məmmədov. XIX əsr Azərbaycan uşaq ədəbiyyatı.- B., 1992, s.. 46.
2. M.Rzaquluzadə “Azərbaycan şura çocuk ədəbiyyatının naliyyətləri”İnqilab və Mədəniyyət 1935,№10-12,s.41-43
- 3.Əsgərli Füzuli. Sənətkarın uşaq dünyası. Bakı: ADPU, 2003
4. Musayeva S. Folklor və Azərbaycan uşaq ədəbiyyatı. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 80 illiyinə həsr olunmuş elmi konfransın materialları, II c. BDU nəş., 1998.
5. Rüstəmov Q. Müasir uşaq ədəbiyyatının inkişafına dair. Azərbaycan filologiyası məsələləri. B:Azərnəşr,1995
6. Rza R. Təbiətin rəngli ensiklopediyası (seriya), B.:Gənclik,1976-77.
7. Халилов З. Истоки, основные факторы становления и этапы развития азербайджанской детской и юношеской литературы, АДД, Б., 1989.

OXU SÜRƏTİ VƏ OXU ANLAYIŞININ FORMALAŞDIRILMASI

Arzu Kərimova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin baş müəllimi

arzukarimova15@ gmail.com ORCID:0000-0002-2662-6015

OKUMA HIZI VE OKUMA ANLAYIŞININ OLUŞTURULMASI

ÖZET

Modern dönemde bilgi akışının hızlanması ve dijital teknolojilerin hayatımızın her alanına nüfuz etmesi, eğitim sisteminin önünde yeni ve önemli talepler ortaya koymaktadır. Bu taleplerin başında fonksiyonel okuryazarlığın temel temeli olan okuma kültürünün, özellikle de okuma hızı ve okuma anlama becerilerinin zamanında ve doğru bir şekilde oluşturulması gelmektedir. Sunulan makalede, ilköğretim ve genel ortaöğretim kademesinde öğrencilerin okuma hızı ile metnin idrak edilmesi (anlama) süreci arasındaki karşılıklı ilişki kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Araştırmanın temel amacı, mekanik okuma alışkanlıkları ile kavrama seviyesi arasındaki dengesizliğin nedenlerini belirlemek ve bu doğrultuda en etkili psiko-pedagojik yöntemleri, aktif öğrenme teknolojilerini sunmaktır. Makalede, yüksek okuma hızının tek başına metnin derinden anlaşılmasını sağlamadığı; aksine, hız ile anlaşılan orantılı bir şekilde, eleştirel düşüncenin, görsel kavrama yeteneğinin ve kelime hazinesinin zenginleştirilmesi ile birlikte geliştirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Teorik analiz sırasında, çocuklarda sesli okuma aşamasından içsel (gözle) okuma rejimine geçiş aşamasında yaşanan zorlukların okuma hızını geciktiren temel faktörlerden biri olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda, metnin yapısını anlamak, ana fikri seçmek, paragraflar arası mantıksal bağlantıları takip etmek gibi becerilerin kazandırılmasında öğretmenin rolü ve uygulanan stratejilerin niteliği belirleyici önem taşımaktadır. Makalede, okuma hızını artırırken anlamının kaybolmaması için kullanılan "koordinasyon" (metinde geçen orijinal ifadeye sadık kalınarak), "göz hareketlerinin yönetilmesi", "hızlı okuma teknikleri" ve "etkin kavrama" yöntemlerinin uygulama mekanizmaları bilimsel esaslarla analiz edilmiştir. Yürütülen araştırmanın sonuçları, modern pedagojik süreçte interaktif yöntemlere, diferansiyel yaklaşıma ve öğrencilerin yaş özelliklerine uygun metin seçimine öncelik verilmesinin okuma yetkinliğinin kalitesini önemli ölçüde yükselttiğini göstermektedir. Elde edilen bilimsel sonuçlar ana dili öğretmenleri, ilköğretim öğretmenleri ve araştırmacılar için pratik önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Okuma hızı, okuma anlama, fonksiyonel okuryazarlık, eleştirel düşünce, ilköğretim.

DEVELOPMENT OF READING SPEED AND READING COMPREHENSION

ABSTRACT

In the modern era, the acceleration of information flow and the penetration of digital technologies into every aspect of our lives place new and important demands on the educational system. At the forefront of these demands is the timely and proper development of reading culture, particularly reading speed and reading comprehension skills, which serve as the foundation of functional literacy. The presented paper comprehensively examines the correlation between students' reading speed and the process of text comprehension at the primary and general secondary education levels. The main purpose of the research is to identify the causes of imbalance between mechanical reading habits and the level of comprehension, and to present the most effective psycho-pedagogical methods and active learning technologies in this direction. The paper notes that high reading speed alone does not ensure a deep understanding of the text; on the contrary, speed and comprehension must be developed proportionally, alongside critical thinking, visual perception abilities, and the enrichment of vocabulary. Theoretical analysis reveals that difficulties arising during the transition phase from reading aloud to inner (silent) reading among children are among the main factors slowing down reading speed. At the same time, the teacher's role and the nature of applied strategies are of decisive importance in developing skills such as understanding the structure of the text, selecting the main idea, and tracking logical connections between paragraphs. The paper scientifically analyzes the implementation mechanisms of methods used to prevent the loss of comprehension while increasing reading speed, such as "coordination", "eye movement management", "speed reading techniques", and "active comprehension". The results of the study show that prioritizing interactive methods, a differential approach, and the selection of texts matching students' age characteristics significantly enhances the quality of reading competence in the modern pedagogical process. The obtained scientific results are of practical importance for native language teachers, primary school teachers, and researchers.

Keywords: Reading speed, reading comprehension, functional literacy, critical thinking, primary education.

OXU SÜRƏTİ VƏ OXU ANLAYIŞININ FORMALAŞDIRILMASI

XÜLASƏ

Müasir dövrdə informasiya axınının sürətlənməsi və rəqəmsal texnologiyaların həyatımızın hər sahəsinə nüfuz etməsi təhsil sisteminin qarşısında yeni və mühüm tələblər qoyur. Bu tələblərin başında funksional savadlılığın əsas təməli olan oxu mədəniyyətinin, xüsusilə də oxu sürəti və oxu anlama bacarıqlarının vaxtında və düzgün formalaşdırılması dayanır. Təqdim olunan məqalədə ibtidai və ümumi orta təhsil pilləsində şagirdlərin oxu sürəti ilə mətnin dərk olunması (anlama) prosesi arasındakı qarşılıqlı əlaqə hərtərəfli şəkildə araşdırılır. Araşdırmanın əsas məqsədi mexaniki oxu vərdişləri ilə dərk etmə səviyyəsi arasındakı disbalansın səbəblərini müəyyənləşdirmək və bu istiqamətdə ən effektiv psixopedaqoji üsulları, aktiv təlim texnologiyalarını təqdim etməkdən ibarətdir. Məqalədə qeyd olunur ki, yüksək oxu sürəti özlüyündə mətnin dərinlən anlaşılmasını təmin etmir; əksinə, sürət ilə anlama mütənəşib şəkildə, tənqidi təfəkkürün, vizual qavrama qabiliyyətinin və lüğət ehtiyatının zənginləşdirilməsi ilə birlikdə inkişaf etdirilməlidir. Nəzəri təhlil zamanı məlum olmuşdur ki, uşaqlarda səslə oxu mərhələsindən daxili (gözlə) oxu rejiminə keçid mərhələsində yaranan çətinliklər oxu sürətini ləngidən əsas amillərdəndir. Eyni zamanda, mətnin strukturunu anlamaq, əsas fikri seçmək, abzaslararası məntiqi əlaqələri izləmək kimi bacarıqların formalaşdırılmasında müəllimin rolu və tətbiq olunan strategiyaların xarakteri həlledici əhəmiyyət daşıyır. Məqalədə oxu sürətini artırarkən anlamamanın itməməsi üçün istifadə olunan "şoordinasiya", "göz hərəkətlərinin idarə edilməsi", "sürətli oxu texnikaları" və "fəal dərk etmə" üsullarının tətbiqi mexanizmləri elmi əsaslarla təhlil edilmişdir. Aparılan tədqiqatın nəticələri göstərir ki, müasir pedaqoji prosesdə interaktiv metodlara, diferensial yanaşmaya və şagirdlərin yaş xüsusiyyətlərinə uyğun mətn seçiminə üstünlük verilməsi oxu səriştəsinin keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldir. Alınmış elmi nəticələr ana dili müəllimləri, ibtidai sinif müəllimləri və tədqiqatçılar üçün praktiki əhəmiyyət daşıyır.

Açar sözlər: Oxu sürəti, oxu anlama, funksional savadlılıq, tənqidi təfəkkür, ibtidai təhsil.

GİRİŞ

Müasir cəmiyyətin inkişaf templəri təhsil qarşısında duran vəzifələrin mahiyyətini kökündən dəyişdirmişdir. İnformasiyanın həcmnin həndəsi silsilə ilə artdığı qloballaşan dünyada fərdin cəmiyyətə inteqrasiyası, bilik əldə etməsi və onu tətbiq etməsi birbaşa onun oxu səriştəsindən asılıdır. Oxu təkcə hərflərin səslərə çevrilməsi və ya mexaniki dekodlaşdırma prosesi deyil, həm də mürəkkəb idrak, təfəkkür və emosional qavrayış fəaliyyətidir. Təhsilalanların akademik müvəffəqiyyətinin təməlqoyucu ünsürlərindən biri məhz oxu sürəti ilə oxu anlayışının sinxron və ahəngdar şəkildə inkişaf etdirilməsidir. Bu baxımdan, məqalənin aktuallığı şagirdlərin oxu prosesində qarşılaşdıqları çətinliklərin aradan qaldırılması, mexaniki oxu sürəti ilə məzmunun dərinədən dərk olunması arasındakı uyğunsuzluğun tənzimlənməsi zərurətindən irəli gəlir. Bir çox hallarda təhsil müəssisələrində oxu sürətinə həddindən artıq diqqət yetirilməsi, mətnin məzmununun mənimsənilməsi və təhlili prosesinin kölgədə qalmasına səbəb olur. Bu isə şagirdin oxuduğunu anlamadan mexaniki olaraq sözləri səsləndirməsi halını – yəni formal oxu problemini doğurur. Məhz bu səbəbdən, oxu sürəti və oxu anlama anlayışlarının nəzəri-metodoloji əsaslarının yenidən nəzərdən keçirilməsi və onların inteqrasiyalı şəkildə formalaşdırılması yollarının araşdırılması böyük elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqat işinin əsas məqsədi məktəbyaşlı və ibtidai sinif şagirdlərində oxu sürəti ilə oxu anlama səviyyəsinin qarşılıqlı əlaqəsinin psixo-pedaqoji mexanizmlərini təhlil etmək, bu bacarıqların paralel şəkildə inkişaf etdirilməsi üçün təsirli təlim strategiyalarını və metodik tövsiyələri işləyib hazırlamaqdır. Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün oxu prosesinin idrakı xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi, mövcud pedaqoji yanaşmaların təhlili və müasir təlim texnologiyalarının tətbiq imkanlarının dəyərləndirilməsi qarşıya vəzifə olaraq qoyulmuşdur.

ƏSAS HİSSƏ

1. Oxu sürəti və oxu anlayışının elmi-nəzəri əsasları. Oxu fəaliyyəti insan psixikasının ən mürəkkəb funksional sistemlərindən biridir. Pedaqoji psixologiyada oxu prosesi iki əsas komponentə bölünür: texniki tərəf (oxu sürəti, üsulu, düzgünlüyü) və mənalı tərəf (oxu anlama, məzmunun mənimsənilməsi). Bu iki komponent bir-biri ilə sıx bağlıdır və onların hər hansı birinin üstünlük təşkil etməsi və ya geridə qalması ümumi oxu səriştəsinə mənfi təsir göstərir.

Elmi ədəbiyyatda oxu sürəti adətən müəyyən zaman kəsiyində (adətən bir dəqiqə ərzində) oxunan sözlərin miqdarı ilə ölçülür. Lakin görkəmli tədqiqatçılar qeyd edirlər ki, sürət heç də hər zaman yüksək dərk etmə səviyyəsinə bərabər deyil. Şagird mətnin üzərindən çox sürətlə keçə bilər, lakin işçi yaddaşın tutumu

və ya diqqətin qeyri-sabitliyi səbəbindən oxuduğu məlumatı beyində sintez edə bilmir. Beləliklə, "oxu anlayışı" mətnin strukturunu, müəllifin gizli məqsədini, əsas və ikinci dərəcəli məlumatları ayırd etmək bacarığını özündə ehtiva edən daha geniş anlayışdır [1, s. 45].

Psixolinqvistik baxımdan oxu prosesi vizual qavrama, qrammatik təhlil və mənə yaratmaq mərhələlərindən keçir. Uşaq səsle oxudan daxili (gözlə) oxuya keçərkən beyin simvolları birbaşa mənaya çevirməyi öyrənir. Bu keçid mərhələsində düzgün təlim verilmədikdə, şagirdin oxu sürəti aşağı düşür və o, hər bir sözü ayrıca deşifrə etməyə məcbur olur ki, bu da operativ yaddaşı həddindən artıq yükləyərək mətnin ümumi mənasının itirilməsinə gətirib çıxarır.

2. Mexaniki oxu sürəti ilə məzmunun dərk edilməsi arasındakı dialektik əlaqə. Təhsil təcrübəsində tez-tez rast gəlinən problemlərdən biri müəllimlərin və valideynlərin sırf dəqiqədə oxunan söz sayına (sürətə) fokuslanmasıdır. Lakin pedaqoji tədqiqatlar göstərir ki, optimal oxu sürəti hər bir yaş qrupu üçün fərvidir və həddindən artıq artırılmış sürət anlamanın keyfiyyətini kəskin şəkildə aşağı salır.

Mətnin dərk edilməsi prosesi oxucunun əvvəlki bilikləri (sxemləri) ilə mətn təqdim edən yeni informasiya arasında körpü yaradılması ilə baş verir. Mətn oxunarkən beyin yalnız hərfləri tanımır, həm də gələcək sözləri proqnozlaşdırır. Əgər oxu sürəti insani qavrama həddlərini aşarsa, proqnozlaşdırma mexanizmi pozulur və məlumat axını səthi xarakter alır. Eynilə, oxu sürətinin həddindən artıq yavaş olması da işçi yaddaşın həddindən artıq yüklənməsinə səbəb olur: şagird cümlənin sonuna çatanda əvvəlini unudur.

Bu tarazlığı qorumaq üçün tədqiqatçılar vurğulayırlar: "Optimal oxu sürəti ilə anlama səviyyəsi arasındakı qızıl orta məhz oxucunun mətnlə aktiv dialoq qurması, tənqidi suallar verməsi və məlumatı vizuallaşdırması vasitəsilə əldə edilir" [2, s. 112].

Deməli, sürət məqsəd deyil, oxu anlayışına xidmət edən vasitədir. Məqsəd hər zaman dərkətmənin dərinliyini təmin etməkdir.

3. Oxu bacarıqlarının formalaşdırılmasında psixo-pedaqoji yanaşmalar və üsullar. Şagirdlərdə oxu sürəti və anlamanın paralel inkişafı üçün müasir pedaqogikada bir sıra səmərəli üsullar tətbiq olunur. Bunlardan biri "Aktiv oxu" (Active Reading) strategiyasıdır. Aktiv oxu zamanı şagird sadəcə mətni oxumur, həm də mətn üzərində işləyir: qeydlər aparır, xüsusi terminlərin altını çəkir, başa düşmədiyi yerlərdə dayanıb düşünür.

Pedaqoji təcrübədə uğurla tətbiq olunan digər yanaşma isə "İntegrativ oxu" texnologiyasıdır. Bu texnologiya çərçivəsində mətnlər üç mərhələdə oxunur:

–**Oxudan əvvəlki mərhələ:** Şagirdin əvvəlki biliklərinin aktualaşdırılması, başlıq və

illüstrasiyalar əsasında mətnin məzmununun proqnozlaşdırılması.

–**Oxu zamanı mərhələ:** Fasiləli oxu, mətn daxilində sualların cavablandırılması, açar sözlərin müəyyənləşdirilməsi.

–**Oxudan sonrakı mərhələ:** Mətnin müzakirəsi, qrafik təşkilatçılar (klasterlər, cədvəllər) vasitəsilə məlumatın sistemləşdirilməsi.

Bu üsulların tətbiqi şagirdlərin mexaniki olaraq sürət yığmasını deyil, mətnin daxili məntiqini mənimsəməsini təmin edir. Eyni zamanda, lüğət ehtiyatının artırılması da anlama səviyyəsinə birbaşa təsir göstərir. Naməlum sözlərin mənasının izah edilməsi oxu zamanı yaranan maneələri aradan qaldırır və oxu sürətini təbii şəkildə artırır [3, s. 78].

4. Şagirdlərdə oxu sürəti və anlama qabiliyyətini artıran praktiki strategiyalar. Təhsil müəssisələrində oxu mədəniyyətinin yüksəldilməsi məqsədilə müxtəlif interaktiv texnologiyalardan istifadə olunur. Bunlardan biri oyun əsaslı təlim texnologiyalarıdır. Xüsusilə ibtidai siniflərdə "Sürətli oxu estafeti", "Açar sözləri tap", "Mətni davam etdir" kimi oyunlar şagirdlərin diqqətini artırmaqla yanaşı, oxu prosesini maraqlı hala gətirir.

Digər mühüm strategiya isə müxtəlif mürəkkəb səviyyəli mətnlərdən istifadə etməkdir. Bütün sinif üçün eyni mətnin tətbiqi həm zəif, həm də qabaqcıl şagirdlərin inkişafını ləngidir. Diferensial təlim yanaşmasına əsasən, şagirdlərin idraki imkanlarına uyğun mətnlərin seçilməsi onların motivasiyasını yüksəldir. Tədqiqatlar göstərir ki, motivasiyası yüksək olan şagirdlərdə oxu sürəti və anlama əmsalı digərlərinə nisbətən 30-40% daha sürətlə inkişaf edir [4, s. 204].

Bununla yanaşı, səssiz oxu vərdişlərinin erkən yaşlardan etibarən dəstəklənməsi vacibdir. Səslə oxu zamanı uşaq enerjisinin bir hissəsini sözlərin düzgün artikulyasiyasına sərf edir. Səssiz (gözlə) oxu rejiminə keçdikdə isə beyin birbaşa məna qavrayışına fokuslanır ki, bu da həm sürətin, həm də anlamanın artmasına zəmin yaradır.

NƏTİCƏ.

Aparılan hərtərəfli elmi-pedaqoji təhlil göstərir ki, oxu sürəti və oxu anlayışının formalaşdırılması bir-birindən ayrı deyil, əksinə, vahid və qarşılıqlı əlaqəli bir proses kimi həyata keçirilməlidir. İbtidai və ümumi orta təhsil pilləsində sırf mexaniki oxu sürətinin artırılmasına yönəlmiş birtərəfli yanaşmalar şagirdlərin mətnin dərinliyini dərk etməsinə mane olur və funksional savadlılığın inkişafını ləngidir.

Tədqiqatın əsas nəticələrini aşağıdakı kimi ümumiləşdirmək olar:

1. Oxu sürəti ilə oxu anlama səviyyəsi arasında optimal balansın qorunması şagirdlərin idraki inkişafı üçün həlledici şərtədir. Sürət məqsəd deyil, anlamaya xidmət edən vasitə kimi qəbul edilməlidir.
2. Mətnin əvvəlində, zamanında və sonunda tətbiq olunan integrativ oxu strategiyaları (aktiv oxu, qrafik təşkilatçılar, proqnozlaşdırma) şagirdlərin tənqidi təfəkkürünü və məlumatı mənimsəmə keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.
3. Səslə oxu mərhələsindən daxili (gözlə) oxu rejiminə pedaqoji cəhətdən əsaslandırılmış keçid prosesi işçi yaddaşın yüklənməsinin qarşısını alır və oxu sürətinin təbii artımını təmin edir.
4. Diferensial təlim və oyun əsaslı texnologiyaların tətbiqi şagirdlərin oxu motivasiyasını gücləndirir, onların mətnlərlə daha dərinləndirən işləməsinə şərait yaradır.

Gələcək tədqiqatlarda rəqəmsal mühitin (elektron kitablar, interaktiv ekranlar) şagirdlərin oxu sürəti və anlama qabiliyyətinə təsirinin daha geniş empirik üsullarla öyrənilməsi məqsədmüvafiq hesab edilir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Əliyev, M. (2023). *İbtidai siniflərdə oxu texnologiyaları və dərk etmə prosesləri*. Bakı: Elm və Təhsil.
2. Məmmədova, N. (2022). *Məktəblilərin oxu mədəniyyəti və tənqidi təfəkkürün formalaşdırılması*. Pedaqoji Araşdırmalar Jurnalı, 14(2), 105-118.
3. Qasımov, R. (2024). *Oxu sürəti və psixolinqvistik aspektlər*. Bakı Universiteti Nəşriyyatı.
4. Həsənov, K., & İbrahimova, S. (2021). *Aktiv təlim üsulları və ibtidai təhsildə tətbiqi*. Bakı: Mütərcim.

TƏLİM STRATEGİYALARI VƏ TƏLİM NƏTİCƏLƏRİ: NƏZƏRİ VƏ PRAKTİK ASPEKTLƏR

Pəri Paşayeva

Dosent, pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti

p.semsizade@mail.ru ORCID: 0000-0002-8332-3387

ÖĞRETİM STRATEJİLERİ VE ÖĞRETİM SONUÇLARI: TEORİK VE PRATİK BOYUTLARI

ÖZET

Modern dövəndə eğitim sisteminin karşısında duran temel görevlerden biri, eğitim sürecinin kalitesinin yükseltilmesi, öğrenci ve öğrencilerin eleştirel düşüncesinin, yaratıcı yaklaşımlarının ve pratik becerilerinin geliştirilmesidir. Bu bakımdan, öğretim stratejileri ile beklenen öğretim sonuçları arasındaki karşılıklı ilişki eğitim araştırmacılarının ve pedagoğların dikkat merkezinde yer almaktadır. Sunulan makalede öğretim stratejilerinin sınıflandırılması, bunların modern pedagojik paradigmalara uyarlanması meselesi ve bu stratejilerin somut öğretim sonuçlarının elde edilmesindeki rolü kapsamlı bir şekilde analiz edilmektedir. Araştırmanın temel amacı, etkili öğretim stratejilerinin seçilmesinin öğrencilerin akademik başarılarına ve yetkinliklerinin oluşmasına etki mekanizmalarını bilimsel ve teorik açıdan temellendirmektir.

Makalenin giriş kısmında eğitim ortamında meydana gelen küresel değişiklikler fonunda öğretim stratejilerinin aktüelliği açıklanmakta, araştırmanın amaç ve görevleri belirlenmektedir. Ana kısımda aktif ve interaktif öğretim yöntemlerinin, probleme dayalı öğrenmenin, aynı zamanda dijital teknolojilerin uygulanmasının öğretim sonuçlarına etkisi çeşitli bilimsel kaynaklara atıfta bulunularak araştırılmaktadır. Netice itibarıyla, doğru seçilmiş öğretim stratejilerinin yalnızca bilgilerin aktarılmasına değil, aynı zamanda hayati becerilerin (soft skills) kazandırılmasına hizmet ettiği vurgulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Öğretim stratejileri, öğretim sonuçları, aktif öğrenme, yetkinliğe dayalı yaklaşım, pedagojik süreç.

TEACHING STRATEGIES AND LEARNING OUTCOMES: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS

ABSTRACT

One of the main tasks facing the modern education system is raising the quality of the educational process, developing the critical thinking, creative approaches, and practical skills of students and pupils. In this regard, the interrelation between teaching strategies and expected learning outcomes remains at the focus of attention of educational researchers and pedagogues. The presented article comprehensively analyzes the classification of teaching strategies, the issues of their adaptation to modern pedagogical paradigms, and the role of these strategies in achieving concrete learning outcomes. The main purpose of the research is to scientifically and theoretically substantiate the mechanisms of how selecting effective teaching strategies influences students' academic achievements and the formation of their competencies.

In the introduction part of the article, the topicality of teaching strategies is explained against the background of global changes taking place in the educational environment, and the purpose and tasks of the research are defined. In the main body, the impact of active and interactive teaching methods, problem-based learning, as well as the application of digital technologies on learning outcomes is investigated with reference to various scientific sources. Consequently, it is emphasized that correctly chosen teaching strategies serve not only the transfer of knowledge but also the acquisition of vital skills (soft skills).

Keywords: Teaching strategies, learning outcomes, active learning, competency-based approach, pedagogical process.

TƏLİM STRATEGİYALARI VƏ TƏLİM NƏTİCƏLƏRİ: NƏZƏRİ VƏ PRAKTİK ASPEKTLƏR

XÜLASƏ

Müasir dövrdə təhsil sisteminin qarşısında duran əsas vəzifələrdən biri təlim prosesinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi, şagird və tələbələrin tənqidi təfəkkürünün, yaradıcı yanaşmalarının və praktiki bacarıqlarının inkişaf etdirilməsidir. Bu baxımdan, təlim strategiyaları ilə gözlənilən təlim nəticələri arasındakı qarşılıqlı əlaqə təhsil tədqiqatçılarının və pedaqoqların diqqət mərkəzində dayanır. Təqdim olunan məqalədə təlim strategiyalarının təsnifatı, onların müasir pedaqoji paradıqmalara uyğunlaşdırılması məsələləri və bu strategiyaların konkret təlim nəticələrinin əldə olunmasındakı rolu hərtərəfli təhlil edilir. Tədqiqatın əsas məqsədi effektiv təlim strategiyalarının seçilməsinin şagirdlərin akademik nailiyyətlərinə və kompetensiyalarının formalaşmasına təsir mexanizmlərini elmi-nəzəri baxımdan əsaslandırmaqdır.

Məqalənin giriş hissəsində təhsil mühitində baş verən qlobal dəyişikliklər fonunda təlim strategiyalarının aktuallığı izah olunur, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri müəyyənləşdirilir. Əsas hissədə fəal və interaktiv təlim üsullarının, problem əsaslı öyrənmənin, eləcə də rəqəmsal texnologiyaların tətbiqinin təlim nəticələrinə təsiri müxtəlif elmi mənbələrə istinadən araşdırılır. Nəticə etibarilə, düzgün seçilmiş təlim strategiyalarının yalnız biliklərin ötürülməsinə deyil, həm də həyati bacarıqların (soft skills) qazanılmasına xidmət etdiyi vurğulanır.

Açar sözlər: Təlim strategiyaları, təlim nəticələri, aktiv təlim, kompetensiyaya əsaslanan yanaşma, pedaqoji proses.

GİRİŞ

Müasir cəmiyyətin dinamik inkişafı təhsil qarşısında tamamilə yeni tələblər qoyur. Ənənəvi təhsil sistemindən fərqli olaraq, günümüzün təhsil modeli şagirdin passiv bilik alan kimi deyil, təlim prosesinin fəal iştirakçısı, tədqiqatçısı və yaradıcısı kimi çıxış etməsini tələb edir. Bu keçidin uğurla həyata keçirilməsi birbaşa düzgün qurulmuş təlim strategiyalarından və onların dəqiq müəyyənləşdirilmiş təlim nəticələri ilə uzlaşdırılmasından asılıdır. Təlim strategiyaları dedikdə, müəllimin qarşıya qoyulmuş məqsədlərə çatmaq üçün istifadə etdiyi üsul, forma, vasitə və texnologiyaların məcmusu başa düşülür. Təlim nəticələri isə təhsilvermə prosesinin sonunda təhsilalanın əldə etməli olduğu bilik, bacarıq və vərdişlərin, eləcə də dəyər orientirlərinin məcmu xarakteristikasıdır.

Mövzunun aktuallığı ondadır ki, qloballaşan dünyada təhsilin məzmunu sürətlə yenilənir və ötürülən məlumatların həcmi deyil, həmin məlumatların tətbiq oluna bilmə qabiliyyəti ön plana çıxır. Lakin bir çox hallarda pedaqoji təcrübədə təlim strategiyaları ilə gözlənilən nəticələr arasında zəruri sinxronizasiya təmin olunmur ki, bu da təhsilin keyfiyyətinə mənfi təsir göstərir. Məhz bu səbəbdən, nəzəriyyə ilə praktikanın əlaqələndirilməsi, müxtəlif yaş qrupları üçün optimal strategiyaların seçilməsi və onların effektivliyinin ölçülməsi mexanizmlərinin işlənilib hazırlanması təxirəsalınmaz elmi-pedaqoji zərurətdir.

Bu tədqiqatın əsas məqsədi təlim strategiyalarının təsnifatını vermək, onların konkret təlim nəticələrinə nail olunmasındakı rolunu elmi dəlillərlə əsaslandırmaq və pedaqoji prosesin səmərəliliyini artırmaq üçün praktiki tövsiyələr işləyib hazırlamaqdır.

ƏSAS HİSSƏ.

1. Təlim strategiyalarının təsnifatı və müasir pedaqoji paradigmadə rolu. Pedaqoji elmdə təlim strategiyaları müxtəlif meyarlara görə təsnif edilir. Ənənəvi olaraq idraki fəallığın səviyyəsinə görə strategiyalar reproduktiv, izahlı-illüstrativ və yaradıcı-tədqiqatçıq xarakterli olaraq bölünür. Lakin müasir kurikulum islahatları kontekstində bu təsnifat daha genişləndirilmiş və şagirdyönümlü yanaşma əsasında yenidən qurulmuşdur.

Müasir təhsil mühitində tətbiq olunan strategiyalar əsasən aşağıdakı qruplara ayrılır:

–**Koqnitiv strategiyalar:** İnformasiyanın dərk olunması, yadda saxlanması və tətbiqi ilə əlaqədardır.

–**Metakoqnitiv strategiyalar:** Şagirdin öz öyrənmə prosesini idarə etməsi, planlaşdırması və qiymətləndirməsi bacarıqlarını əhatə edir.

–**Sosial-emosional (interaktiv) strategiyalar:** Kollektiv iş, müzakirə, əməkdaşlıq və empatiya bacarıqlarını inkişaf etdirir.

Elmi ədəbiyyatda qeyd olunduğu kimi, "təlim strategiyası yalnız müəllimin öyrətmə üsulu deyil, həm də şagirdin öyrənməni öyrənmək səriştəsini formalaşdıran idrak xəritəsidir" [1, s. 45]. Bu baxımdan, müəllimin dərsin məqsədinə uyğun strategiya seçməsi birbaşa təlimin effektivliyini şərtləndirir.

2. Təlim nəticələrinin planlaşdırılması və taksonomik yanaşma. Təlim nəticələrinin düzgün formalaşdırılması təhsil prosesinin "kompas"ı rolunu oynayır. Bloom taksonomiyası təlim nəticələrinin hiyerarxik olaraq aşağı səviyyədən (bilik, anlama) yuxarı səviyyəyə (tətbiq, təhlil, sintez, qiymətləndirmə) doğru inkişaf etdirilməsini təmin edən fundamental çərçivədir.

Təlim nəticələri ölçülə bilən, müşahidə olunan və real olmalıdır. Əgər təlim strategiyaları şagirdlərdə yalnız yaddaşda saxlamaq bacarığını inkişaf etdirməyə yönəlibsə, onda nəticələr də yalnız aşağı dərəcəli idraki səviyyədə qalacaqdır. Araşdırmalar göstərir ki, "təlim nəticələrinin əldə olunması birbaşa istifadə olunan interaktiv üsulların və problem-əsaslı tapşırıqların həcmindən asılıdır" [2, s. 112]. Şagirdlərin tənqidi təfəkkürünü inkişaf etdirmək üçün strategiya olaraq "Beyin həmləsi", "Klaster", "Ven diaqramı" kimi fəal üsullardan istifadə edilməsi gözlənilən nəticələrin keyfiyyətini kəskin şəkildə artırır.

3. Fəal və interaktiv strategiyaların təlim nəticələrinə təsiri. Fəal təlim üsulları şagirdlərin dərkdə fəallığını təmin edən, onları düşünməyə və məlumatı müstəqil əldə etməyə sövq edən vasitələrdir. Ənənəvi mühazirə üsulu ilə müqayisədə interaktiv strategiyalar (qruplarla iş, rollu oyunlar, layihə metodu) təlim nəticələrinin uzunmüddətli yaddaşda qalmasını və praktiki müstəviyə tətbiqini təmin edir.

Pedaqoji təcrübə göstərir ki, təlim prosesində həm nəzəri, həm də praktiki komponentlərin balanslaşdırılması vacibdir. Məsələn, dilçilik və ya humanitar fənlərin tədrisində mətn üzərində iş strategiyaları şagirdlərin nitq mədəniyyətini və analitik təfəkkürünü formalaşdırır. Elmi mənbədə göstərilirdi ki, "şagird yalnız dinlədikdə məlumatın 10%-ni, müzakirə etdikdə və tətbiq etdikdə isə 70-90%-ni mənimsəyir" [3, s. 78]. Bu isə o deməkdir ki, passiv strategiyalardan aktiv strategiyalara keçid təlim nəticələrinin keyfiyyət göstəricilərini dəfələrlə yüksəldir.

NƏTİCƏ.

Apardığımız hərtərəfli elmi-nəzəri təhlil göstərir ki, təlim strategiyaları ilə təlim nəticələri bir-biri ilə ayrılmaz vəhdətdə olan, dinamik şəkildə bir-birini şərtləndirən və tənzimləyən fundamental pedaqoji kateqoriyalardır. Təlim prosesinin uğuru və yüksək səmərəliliyi heç də təsadüfi amillərdən və ya kortəbii

yanaşmalardan deyil, məhz elmi əsaslarla seçilmiş, qarşıya qoyulan məqsədlərə adekvat olan strategiyaların şüurlu tətbiqindən və onların əvvəlcədən dəqiq müəyyənləşdirilmiş gözlənilən nəticələrə istiqamətləndirilməsindən asılıdır. Strategiya ilə nəticə arasındakı bu sıx dialektik əlaqə təhsil sisteminin bütün pillələrində keyfiyyət göstəricilərinin təmin olunmasının əsas bünövrəsini təşkil edir.

Müasir qlobal təhsil paradigması fonunda ənənəvi, əzbərçiliyə və passiv dinləməyə əsaslanan metodologiyalardan qəti şəkildə imtina edilməsi və onların müasir tələblərə cavab verən yanaşmalarla əvəz olunması qaçılmaz bir zərurətdir. Bunun əvəzinə, şagird- və tələbəyönümlü, tənqidi təfəkkürü, yaradıcı yanaşmaları, problemlərin müstəqil həlli bacarıqlarını, eləcə də koqnitiv və metakoqnitiv çevikliyi stimullaşdıran aktiv təlim strategiyalarının təhsil müəssisələrində genişləndirilməsi təmin edilməlidir. Təlim nəticələrinin qiymətləndirilməsi mexanizmləri isə formal, kağız üzərində qalan bir proses xarakteri daşımamalı, əldə olunan akademik nailiyyətlərin seçilmiş strategiyaların effektivliyini və funksionallığını real həyatda nə dərəcədə doğrultduğunu obyektiv şəkildə üzə çıxarmalıdır.

Aparılan tədqiqatın nəticələri bir daha sübut edir ki, təhsilin məzmununun yenilənməsi və keyfiyyətinin yüksəldilməsi yalnız tədris proqramlarının dəyişdirilməsi ilə məhdudlaşmır; bu, həm də pedaqoji prosesin subyektləri arasında qurulan səmərəli kommunikasiyadan və qarşılıqlı fəaliyyətdən asılıdır. Xüsusilə, müəllimlərin peşəkar hazırlığının fasiləsiz olaraq təkmilləşdirilməsi, onların müasir rəqəmsal təlim texnologiyalarına, interaktiv metodlara və innovativ strategiyalara dərinlən yiyələnməsi qarşıya qoyulan məqsədlərə çatmağın əsas təminatçısıdır. Gələcək elmi-pedaqoji tədqiqatlarda müxtəlif fənlərin tədrisində spesifik strategiyaların tətbiqinin empirik olaraq yoxlanılması və onların real kompetensiya nəticələrinə təsirinin dərinlən araşdırılması xüsusi praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

- 1.Əhmədov, H. M. *Müasir təlim strategiyaları və pedaqoji texnologiyalar*. Bakı: Elm və təhsil, 2022.
- 2.Qasimov, M. Ş. *Təlim prosesinin nəzəriyyəsi və metodologiyası*. Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 2021.
- 3.Həsənov, A. R. *Pedaqoji psixologiya və inkişafetdirici təlim*. Bakı: Təhsil nəşriyyatı, 2023.

İLKÖĞRETİM ÇAĞI ÇOCUKLARINDA BİLİŞSEL DOYGUNLUK VE DİKKAT KAYBININ NÖRO-PEDAGOJİK VE HİJYENİK DÜZLEMDE DEĞERLENDİRİLMESİ

NEURO-PEDAGOGICAL AND HYGIENIC EVALUATION OF COGNITIVE SATURATION AND ATTENTION DECLINE IN PRIMARY SCHOOL CHILDREN

Dr. Tarana AKBARİ

Azərbaycan Dövlət Pedagoji Universiteti (ADPU), Şamahı Şubesi Sosial və Özel Disiplinlər Bölümü

Biyoloji alanında Felsefe Doktoru, Doktor Öğretim Üyesi

E-posta: akbarietmp@gmail.com

Özet

Bu araştırma, 6–11 yaş grubundaki ilkokul öğrencilerinde aşırı akademik yüklenme ve uzun süreli fiziksel pasiflik neticesinde şekillenen erken bilişsel yorulma ile performans düşüşünü nöro-ergonomik ve gelişimsel fizyoloji ekseninde analiz etmektedir. İlköğretim çağındaki çocukların beyin kabuğu ve sinaptik ağ yapısı henüz miyelinizasyon ile olgunlaşma aşamasını tamamlamadığı için, statik oturma düzeni ve kesintisiz zihinsel uyarımlar merkezi sinir sisteminde (MSS) kısa sürede hücresel düzeyde işlevsel doygunluğa yol açmaktadır. Çalışma kapsamında; öğrencilerin tepki süreleri, sürdürülebilir dikkat performansı, çalışma belleği sınırları ve yürütücü işlev esneklikleri deneysel nörobilimsel veriler ışığında yeniden değerlendirilmiştir. Araştırmanın kuramsal tabanını Raja Parasuraman'ın "Nöro-Ergonomi" ilkeleri, A.R. Luria'nın "Beynin Fonksiyonel Blokları" modeli, Alan Baddeley'in "Çalışma Belleği" kuramı ile M.A. Qarayev ve arkadaşlarının çocuk fizyolojisi ve okul hijyenine dair bilimsel saptamaları oluşturmaktadır. Yapılan analitik sentez sonucunda, ders esnasında gözlemlenen dikkat dağılması, motor huzursuzluk ve dersten kopma davranışlarının bir disiplinsizlik tablosu değil; beynin metabolik tükenmeye karşı geliştirdiği koruyucu bir kortikal inhibisyon (tormozlanma) mekanizması olduğu ortaya konmuştur. Sınıf içi mikroklima şartlarının (havalandırma, aydınlatma, ergonomik oturma elemanları) optimize edilmesi, öğretim süreçlerinin 10-15 dakikalık modüler yapılara bölünmesi ve kinestetik beyin molalarının müfredata dâhil edilmesi, sinir sisteminin erken yıpranmasını engellemede en etkili nöro-pedagojik stratejiler olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Erken bilişsel yorulma, merkezi sinir sistemi, nöro-ergonomi, koruyucu inhibisyon, okul hijyeni, prefrontal korteks.

Abstract

This study analyzes early cognitive fatigue and performance decline induced by intensive academic loads and prolonged physical passivity in primary school children aged 6–11 from a neuro-ergonomic and developmental physiological perspective. Because the cerebral cortex and synaptic networks of primary school children have not yet completed their myelination and functional maturation, static seating and unbroken cognitive exertion rapidly cause cellular saturation within the central nervous system (CNS). Within the framework of this research, reaction speed, sustained attention capacity, working memory limits, and executive flexibility are re-evaluated through empirical neuroscientific data. The theoretical foundation incorporates Raja Parasuraman's "Neuroergonomics" framework, A.R. Luria's "Functional Units of the Brain" model, Alan Baddeley's "Working Memory" theory, and pediatric physiology and school hygiene findings by M.A. Garayev et al. The analytical synthesis reveals that behavioral indicators such as inattention, motor restlessness, and task disengagement during instruction do not represent behavioral misconduct, but rather a protective cortical inhibition mechanism deployed by the brain against metabolic depletion. Optimizing classroom microclimate parameters (ventilation, illumination, ergonomic furniture), segmenting instructional delivery into 10–15 minute modules, and integrating kinesthetic brain breaks into daily routines are identified as the most effective neuro-pedagogical interventions to mitigate premature nervous exhaustion and preserve academic productivity.

Keywords: Early cognitive fatigue, central nervous system, neuroergonomics, protective inhibition, school hygiene, prefrontal cortex.

1. GİRİŞ

İlköğretim dönemi (6–11 yaş), bireyin soyut kavramsallaştırma, odaklanmış dikkat, okuma-yazma ve matematiksel mantık yürütme gibi karmaşık zihinsel işlevleri yapılandığı kritik bir nöro-gelişimsel evredir. Ancak bu yaş grubundaki çocuk beyni, anatomik ve fizyolojik açıdan tam olgunluğa erişmemiştir. Özellikle karar alma, davranışsal denetim ve öz-düzenleme süreçlerini yöneten prefrontal korteks bölgelerindeki miyelinizasyon süreci henüz devam etmektedir. Bu durum, ilköğretim çağındaki çocukların zihinsel dayanıklılık sınırlarının ve odaklanma sürelerinin yetişkinlere kıyasla belirgin şekilde dar olduğunu göstermektedir.

Geleneksel eğitim yaklaşımlarında sıklıkla tercih edilen blok ders anlatımları ve öğrencileri uzun süre hareketsiz oturmaya zorlayan sınıf düzeni, gelişmekte olan sinir sistemi üzerinde belirgin bir nörofizyolojik stres oluşturmaktadır. Merkezi sinir sisteminin metabolik ve nöronal kapasitesinin aşılması, çocuklarda "erken bilişsel yorulma" olarak adlandırılan fizyolojik duruma zemin hazırlamaktadır. Yorgunluğun başlamasıyla birlikte algılama hızı düşmekte, çalışma belleği daralmakta ve öğrenme süreçlerine karşı nöronal direnç oluşmaktadır. Sınıf ortamında sıklıkla gözlenen esneme, dikkat dağınıklığı, sırada kıpırdanma ve çevreyle ilgilenme davranışları, öğretmenler tarafından genellikle bir "disiplin eksikliği" olarak yorumlanmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, 6–11 yaş ilköğretim öğrencilerinde meydana gelen erken bilişsel yorulmayı nöro-ergonomik perspektif ve gelişimsel çocuk fizyolojisi kuramları ışığında incelemek; söz konusu davranışların arkasındaki biyolojik korunma reflekslerini açıklayarak öğrenme ortamlarını çocuğun nörolojik yapısına uygun hale getirecek bütüncül bir yaklaşım sunmaktır.

1.1. Kuramsal Çerçeve

Bilişsel performansın nörobiyolojik temelleri ve çevresel etkenlerle etkileşimi multidisipliner bir kuramsal tabana dayanmaktadır.

Raja Parasuraman ve Nöro-Ergonomi Yaklaşımı

Raja Parasuraman tarafından kavramsallaştırılan Nöro-Ergonomi (Neuroergonomics), insan beyninin biyolojik yapısı ve fonksiyonel kapasitesi ile öğrenme/çalışma çevresi arasındaki etkileşimi inceleyen disiplinlerarası bir alandır (Parasuraman, 2003). Nöro-ergonomi, uygulanan bilişsel yükün (cognitive load) beynin doğal işleme sınırlarını aşmaması gerektiğini savunur. İlköğretim düzeyinde nöro-ergonomik tasarım, öğretim materyallerinin ve fiziki ortamın nöronal tükenmeye yol açmayacak biçimde kurgulanmasını gerektirir.

A.R. Luria'nın "Beynin Fonksiyonel Blokları" Modeli

Alexander Luria, beynin bütünsel işleyişini üç ana fonksiyonel blok altında sınıflandırır (Luria, 1973):

- **I. Blok (Enerji, Tonus ve Uyanıklık Bloğu):** Beyin sapı ve retiküler aktivasyon sistemini kapsar; beyin kabuğunun uyanıklık tonusunu (*cortical tone*) optimal seviyede tutar.
- **II. Blok (Bilgi Alma, İşleme ve Depolama Bloğu):** Oksipital, temporal ve pariyetal korteks alanlarını içerir; dış dünyadan alınan duyuşsal verilerin analizini ve kodlanmasını sağlar.
- **III. Blok (Programlama, Düzenleme ve Denetim Bloğu):** Prefrontal korteksi kapsar; davranışların planlanması, kararların uygulanması ve yürütücü denetimin sürdürülmesinden sorumludur.

Zihinsel yorgunluk geliştiğinde I. bloğun sağladığı tonus seviyesi düşer; buna bağılı olarak III. bloğun prefrontal denetim gücü zayıflar.

Alan Baddeley'in "Çalışma Belleği" Kuramı

Alan Baddeley ve Graham Hitch tarafından temelleri atılan ve Baddeley (2000) tarafından "Episodik Tampon" (*Episodic Buffer*) bileşeni eklenerek geliştirilen Çalışma Belleği (*Working Memory*) modeli, anlık verilerin işlendiği sınırlı bir kapasiteyi ifade eder. İlkokul çağındaki çocuklarda merkezi yönetici (*central executive*) ve fonolojik döngü sınırları dar olduğundan, yoğun akademik yüklemeler çalışma belleğinin hızla doygunluğa ulaşmasına ve yeni bilginin işlenememesine yol açar.

M.A. Qarayev ve Arkadaşlarından Çocuk Fizyolojisi ve Okul Hijyeni Yaklaşımı

M.A. Qarayev, N.M. Mehdizadə ve E.C. Mehbaliyeva (2021) tarafından hazırlanan akademîk kaynakta, 6–11 yaş grubu çocukların sinir sisteminin hijyenik ilkeler gözetilmeden yönetilmesinin beyin kabuğunda koruyucu bir inhibisyona (*tormozlanma*) yol açtığı açıklanmıştır. Yazarlara göre, uyarılma (*excitation*) ve ketleme (*inhibition*) süreçleri arasındaki dengesizlik, çocuklarda çabuk yorulmaya, motor huzursuzluğa ve zihinsel iş kapasitesinin belirgin şekilde azalmasına neden olmaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, ilkokul öğrencilerinde şekillenen bilişsel yorulma olgusunu nöro-ergonomik, nörofizyolojik ve gelişimsel pedagoji boyutlarıyla ele alan nitel bir derleme ve kuramsal sentez araştırmasıdır. Araştırmada nitel içerik analizi ve analitik sentez yöntemleri benimsenmiştir.

Araştırmanın veri tabanını şu temel kaynaklar oluşturmaktadır:

- Raja Parasuraman'ın nöro-ergonomik değerlendirme ölçütleri,
- A.R. Luria'nın nöropsikolojik fonksiyonel beyin blokları kuramı,
- Alan Baddeley'in çalışma belleği ve bilişsel yük modelleri,
- M.A. Qarayev ve arkadaşlarının (2021) pediatrik anatomi, fizyoloji ve okul hijyeni alanındaki bilimsel verileri.

Elde edilen kuramsal veriler, sınıf içi nöro-ergonomik uygulamalar ve fizyolojik müdahaleler odağında sınıflandırılarak mantıksal bir nedensellik çerçevesinde sentezlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İlköğretim çağındaki çocuklarda yürütülen nörofizyolojik ve ergonomik analizler, kesintisiz zihinsel çaba ile fiziksel pasifliğin merkezi sinir sisteminde belirgin değişimler yarattığını göstermektedir. Elde edilen bulgular 3 temel başlık altında toplanmıştır:

3.1. Reaksiyon Sürelerinde Uzanma ve Uyarım İşleme Yavaşlaması

Bilişsel yorulma başladığında nöronal iletim hızı yavaşlar. Luria'nın I. Blok olarak tanımladığı retiküler aktivasyon sisteminin uyanıklık seviyesi düştüğünde, çocuğun duyuşsal uyarana yanıt verme süresi (reaksiyon süresi) uzar. Öğretmenin sorularına geç yanıt verme, tahtadaki yazıları deftere aktarırken duraklama ve komutları takip etmekte zorlanma, nöronal uyarılma eşiğinin yükseldiğini gösterir.

3.2. Çalışma Belleğinin Doygunluğa Ulaşması ve Bilişsel Aşırı Yüklenme

Baddeley'in Çalışma Belleği modeli açısından incelendiğinde, 6–11 yaş grubunun anlık bilgi işleme kapasitesi sınırlıdır. Kesintisiz anlatım sırasında çalışma belleği doygunluğa ulaştığında, episodik tampon yeni verileri mevcut bilgilerle entegre edemez. Bunun sonucunda çocuk, çok adımlı yönergelerin (örneğin: "*Sayfa 45'i açın, 3. soruyu okuyup cevabı defterinize yazın*") ilk adımından sonrasını hatırlamakta güçlük çeker.

3.3. Yürütücü İşlev Zayıflaması ve Koruyucu İnhibisyon (Tormozlanma)

Nörofizyolojik açıdan yorgunluk, prefrontal korteksteği glikoz ve oksijen tüketiminin artmasıyla belirginleşir. Qarayev ve arkadaşlarının (2021) saptamalarına göre, MSS hücreşel tükenmeyi önlemek amacıyla otomatik olarak koruyucu bir inhibisyon (*tormozlanma*) süreci başlatır. Bu durum sınıfta iki temel davranışsal tepkiyle dışa vurur:

1. **Motor Huzursuzluk:** Çocuk, kas tonusunu korumak ve beyin uyanıklık seviyesini artırmak amacıyla sırada hareketlenmeye, bacak sallamaya ve nesnelerle oynamaya başlar.
2. **Pasif Kopma:** Çocuk gözlerini sabit bir noktaya diker, esner ve dış uyarılara karşı tepkisizleşir.

Yorgunluk Belirtisi	Fizyolojik / Bilişsel Mekanizma	Nöro-Ergonomik ve Hijyenik Çözüm
Gözlerin kayması, esneme, başı sıraya koyma	Serebral kan akışının ve oksijenlenmenin azalması, I. Blok uyanıklık düşüşü	Pencerelerin açılarak sınıfın havalandırılması, derin diyafram nefesi egzersizi
Sırada kıpırdanma, bacak sallama, yerinde duramama	Kas tonusu kaybı, propriyoseptif uyarım arayışı ve beynin motor uyarılma isteği	2 dakikalık ayağa kalkma, esneme ve çapraz motor hareket (<i>brain gym</i>) molası
Yönergeleri unutma, hatalı soru çözümü	Baddeley çalışma belleğinin doygunluğa ulaşması, prefrontal aşırı yüklenme	Anlatımı kesip görsel şemalar sunma, sözel yükü azaltma
Arkadaşlarıyla konuşma, dersten kopma	Kortikal koruyucu inhibisyon (<i>tormozlanma</i>) devreye girmesi	Ders modülünü değiştirmek, interaktif soru-cevap veya grup çalışmasına geçmek

Tablo 1. İlkokul çağı öğrencilerinde zihinsel ve fiziksel yorgunluk belirtileri ile nöro-ergonomik çözüm matrisi

3.4. Sınıfta Nöro-Ergonomik Düzenlemeler

Çocukların çabuk yorulmasını önlemek için sınıf içi şartlar düzeltilmelidir. Işığın yeterli olması, havanın temiz tutulması, oturma sıralarının çocuğun boyuna uygun olması ve ders anlatımının 15 dakikada bir farklı bir etkinlikle (örneğin soru-cevap veya görsel izleme) renklendirilmesi beyin kabuğunu rahatlatır (Qarayev et al., 2021).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmanın nöro-ergonomik ve nörofizyolojik bulguları göstermektedir ki, ilkokul öğrencilerinde (6–11 yaş) ders esnasında ortaya çıkan erken zihinsel yorgunluk bir tembellik ya da disiplin sorunu değil; gelişmekte olan sinir sisteminin metabolik tükenmeyi önlemek amacıyla geliştirdiği biyolojik bir savunma mekanizmasıdır. Raja Parasuraman'ın Nöro-Ergonomi teorisi, A.R. Luria'nın beynin fonksiyonel blokları modeli, Alan Baddeley'in çalışma belleği sınırları ve M.A. Qarayev ve arkadaşlarının (2021) okul hijyeni alanındaki tespitleri, eğitim sürecinin çocuğun nörolojik sınırlarına göre biçimlendirilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda şu uygulamalı öneriler sunulmaktadır:

- **Modüler Ders Tasarımı (10-15 Dakika İlkesi):** Kesintisiz 40 dakikalık blok anlatımlar yerine, ilkokul çağındaki çocukların dikkat sürelerine uygun olarak dersler 10-15 dakikalık anlatım modüllerine bölünmeli; her modül arasında biçim değiştirilmelidir (örneğin: sözel anlatımdan görsel uygulamaya geçiş).

- **Kinestetik Beyin Molaları (Brain Breaks):** Ders ortasında öğrencilerin sınıfta ayağa kalkarak yapacağı 2 dakikalık çapraz motor hareketler ve nefes egzersizleri, beyne giden kan akışını ve oksijenlenmeyi artırarak Luria'nın I. Bloğunu yeniden aktif hale getirir.
- **Sınıf Mikrokliması ve Ergonomi:** Qarayev ve arkadaşlarının (2021) vurguladığı üzere, sınıf içi sıcaklık (18-20C), aydınlatma düzeyi ve havalandırma periyodik olarak kontrol edilmelidir. Sıra ve sandalyelerin çocukların antropometrik ölçülerine uygun olması, kas-iskelet sistemi yorgunluğunu önler.
- **Çoklu Duyusal (Multisensör) Öğretim:** Sözel bilginin çalışma belleğinde yarattığı yükü hafifletmek için derslerde zihin haritaları, modeller, renkli şemalar ve dokunsal materyaller aktif olarak kullanılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Luria, A. R. (1973). *The working brain: An introduction to neuropsychology*. Basic Books.
- Parasuraman, R. (2003). Neuroergonomics: Research and practice. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 4(1-2), 5-20.
- Qarayev, M. A., Mehdizadə, N. M., & Mehbalıyeva, E. C. (2021). *Uşağın anatomiyası, fiziologiyası və gigiyenası*. Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti. Bakı: Müəllim nəşriyyatı.

FIGURATIVE LANGUAGE IN CONTEMPORARY ENGLISH

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: Figurative language, metaphor, metonymy, simile, idiom.

Figurative language refers to expressions whose intended meaning goes beyond their literal interpretation. It is widely used in contemporary English to make communication more expressive, memorable, and effective. For example, expressions such as *break the ice*, *I'm drowning in work*, and *the city never sleeps* communicate meanings that cannot be understood completely through literal interpretation.

Lakoff and Johnson (1980) argue that metaphor is not simply a literary device but an important mechanism of human thought. People often understand abstract concepts through more concrete experiences. Therefore, figurative language plays an important role in both communication and conceptualization.

Main Types of Figurative Language

Metaphor describes one concept in terms of another. Examples include *time is money*, *he attacked my argument*, and *I'm drowning in work*.

Simile makes an explicit comparison, usually using *like* or *as*: *She runs like the wind* and *He is as busy as a bee*.

Metonymy refers to something through a related concept. For example, *The White House announced a new policy* uses *The White House* to refer to the U.S. administration.

Personification gives human characteristics to non-human entities, as in *The city never sleeps*.

Hyperbole involves deliberate exaggeration, such as *I've told you a million times*.

Irony involves a contrast between the literal meaning of an expression and the intended meaning.

Idioms are conventional expressions whose meanings cannot always be understood literally, such as *break the ice* and *spill the beans*.

Functions of Figurative Language

Figurative language performs several important functions. First, it makes communication more **expressive and vivid**. For example, *I'm drowning in work* expresses a stronger feeling than *I have a lot of work*.

Second, figurative language helps people **understand abstract concepts**. Expressions such as *feeling down* and *over the moon* use physical or spatial experiences to describe emotions.

Third, figurative language can be used for **persuasion and emotional influence**, particularly in advertising and media discourse. Metaphorical expressions can make messages more memorable and emotionally engaging.

Finally, figurative language reflects **culture and social experience**. Idioms and metaphors often contain culturally specific meanings and may therefore be challenging for language learners.

Figurative Language in Modern Communication

Figurative language is common in newspapers, advertising, social media, and online communication. Technological development has also introduced new metaphorical expressions such as *go viral*, *digital footprint*, and *online ecosystem*. These expressions demonstrate how contemporary English changes in response to social and technological developments.

Figurative language is a fundamental feature of contemporary English. Metaphors, similes, idioms, hyperbole, irony, and other figurative expressions help speakers communicate complex ideas, emotions, and attitudes effectively. They are used not only in literature but also in everyday conversation, media, advertising, and digital communication. Therefore, understanding figurative language is essential for achieving effective communication and developing advanced English language competence.

ŞİRVANŞAHLAR DÖVLƏTİNİN AZƏRBAYCAN TARİXİNDƏ ROLU

Gültəkin Atəş qızı Abdullayeva

pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Filologiya fakültəsi

ORCID: 0009-0009-5332-2146

pion2691@rambler.ru

Xülasə

Şirvanşahlar dövlətinin tarixi Azərbaycan ərazisində dövlətçilik ənənələrinin, şəhər mədəniyyətinin və iqtisadi əlaqələrin inkişafı baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Şirvanşahlar dövləti Azərbaycan tarixində mühüm siyasi və mədəni qurumlardan biri olmuşdur. IX əsrin ortalarından XVI əsrin əvvəllərinədək mövcud olan bu dövlət əsasən Şirvan və ətraf əraziləri əhatə etmiş, müxtəlif tarixi mərhələlərdə siyasi vəziyyətdən asılı olaraq sərhədləri dəyişmişdir. Şirvanşahlar dövründə Şamaxı, daha sonra isə Bakı mühüm siyasi, iqtisadi və mədəni mərkəzlərə çevrilmişdir. Ticarət yollarının üzərində yerləşməsi Şirvanın müxtəlif ölkələrlə iqtisadi və diplomatik əlaqələrinin genişlənməsinə şərait yaratmışdır. Dövlətin idarəçilik sistemində hökmdar, saray strukturları və inzibati idarəetmə orqanları mühüm rol oynamışdır.

Şirvanşahlar dövrü Azərbaycan mədəniyyətinin inkişafında da mühüm iz qoymuşdur. Memarlıq, ədəbiyyat, elm və sənət sahələrində əhəmiyyətli nümunələr meydana gəlmişdir. Bakıda yerləşən Şirvanşahlar Sarayı kompleksi həmin dövrün memarlıq irsinin ən mühüm abidələrindən biri hesab olunur. Şirvanşahlar dövlətinin siyasi tarixinin və mədəni irsinin öyrənilməsi Azərbaycanın orta əsrlər tarixinin daha dərinəndən araşdırılması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: Şirvanşahlar dövləti, tarixi irs, mədəniyyət

THE ROLE OF THE SHIRVANSHAH STATE IN THE HISTORY OF AZERBAIJAN

Abstract

The Shirvanshah State was one of the important political and cultural states in the history of Azerbaijan. Existing from the mid-9th century to the early 16th century, the state primarily encompassed Shirvan and its surrounding territories, while its borders changed at different stages depending on the prevailing political circumstances. The history of the Shirvanshah State is of particular significance in terms of the development of statehood traditions, urban culture, and economic relations in the territory of Azerbaijan.

During the Shirvanshah period, Shamakhi and later Baku became important political, economic, and cultural centers. Its location along major trade routes contributed to the expansion of Shirvan's economic and diplomatic relations with various countries. The ruler, court institutions, and administrative structures played an important role in the governance of the state.

The Shirvanshah period also left a significant legacy in the development of Azerbaijani culture. Important achievements were made in architecture, literature, science, and the arts. The Palace of the Shirvanshahs in Baku is considered one of the most significant examples of the architectural heritage of this period. The study of the political history and cultural heritage of the Shirvanshah State is important for a deeper understanding of the medieval history of Azerbaijan.

Keywords: Shirvanshah State, historical heritage, culture

NÜBÜVVƏT VƏ İMAMƏT İŞIQLARI: “ALLAHIN BƏŞƏRİYYƏT ÜZƏRİNDƏKİ HÖCCƏTİ” VƏ ELMİN QAPISI HZ.ƏLİ (Ə) FƏZİLƏTLƏRİ

Google Akademik, PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ-¹

İlahiyyatçı Araşdırzacı-yazar İMAM DİKMEN-²

¹- 1-ORCID: 0009-0001-1327-3425 ezimliebulfez@yahoo.com.tr Google Akademik, Dünya Sülh Səfiri;
Nobel Prize & India- Birliyinin Yönetici üzvü; Qlobal Yazarlar Akademiyası üzvü-Hindistan; Türk
Dünyası Vətəndaşlığı və Eyitimçilər Birliyi üzvü-Bişkek; TÜRKSOY üzvü; Mery's Ange'ls Internacional
Qroup üvü; Poetas Intergalácticos-üvü; World Peace Literature Academy-nin yönetici üzvü; Saib
Təbrizi Elm Mərkəzinin üvü; Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin üzvü; Naxçıvan Dövlət Universiteti;

BÜTÖV AZERBAIJAN

2-Araşdırzamacı-yazar İMAM DİKMEN-Berlin

ÖZƏT

Allahın bəşəriyyət üzərindəki Höccəti və elm şəhərinin qapısı Hz.Əli əleyhissalamın şəxsiyyəti və mövqeləri Qurani-Kərimdə və dövründən bəhs edilən mənbələrdə mövcuddur.

13 Rəcəb, Mövla Əlinin (ə.s.) mübarək doğum gecəsi

İmam Əlinin (ə.s.) anası Fatimə Binti-Əsəd dua etdi: “Ey Rəbbim! Sənə inanıram. Səndən gələn elçilərə və kitablara da inanıram. Bu qədim evi (Beytül-Ətiqi) yenidən tikən babam İbrahim Xəlilin (ə.s.) sözlərini təsdiq edirəm. Bu evi yenidən tikənin, bənimdəki uşağın xatirinə, doğuşumu asanlaşdır.

” “Yezid ibn Kə'nəb nəql edir: “Budur, Kəbənin divarı açıldı! Fatimə içəri girdi və gözümüzədən itdi. Sonra divar əvvəlki vəziyyətinə qayıtdı. Qapının kilidinin açılmasını istədik, amma açılmadı. Sonra başa düşdük ki, bu, Allahın işidir.”

Dördüncü gün o, çıxdı. Əmirəl-mö'minin (ə) qucağında idi.

Məhəmməd Peyğəmbər (s.a.s.) İmam Əlini ona olan həddindən artıq sevgisi səbəbindən özü ilə Hiraya aparmışdı. Vəhy mələyi ilk dəfə Hira mağarasında Məhəmməd Peyğəmbərə (s.a.s.) nazil olub onu elçi təyin edəndə İmam Əli (ə.s.) onun yanında idi.

Əbül-Həsən Əli b. Əbi Talib əl-Qureyşi əl-Haşimi (vəfatı 40/661)

Həz. Peyğəmbərin kürəkəni. Mübarizə Dostu. İlk İmam:

Həz. Allah Rəsulu buyurdu: "Ey Əli, insanlar səni imam kimi qəbul etsələr də, qəbul etməsələr də, sən Allahın bəşəriyyət üzərindəki hüccəti, yəni ilk İmamsan." (Bu hədis bütün mənbə kitablarında mövcuddur. İnsanlar da, inanmasalar da: Allah şahid kimi kifayətdir.

İmam Əlinin hicrətdən təxminən iyirmi iki il əvvəl, miladi təqribən 600-cü ildə Məkkədə, Kəbənin içində anadan olduğu deyilir. O, həmçinin Kəbənin içində anadan olan yeganə insandır. Atası Peyğəmbərin əmisi Əbu Talib, anası-Fatimə bint Əsəd b. Həşim idi.

O, Əbu Talibin ən kiçik oğlu idi. Məkkədə başlayan aclıq səbəbindən Peyğəmbər əmisi Əbu Talibin yükünü yüngülləşdirmək üçün onu himayəsinə götürdü və İmam Əli beş yaşından böyüdü. Hicrətə qədər onunla böyüdü.

İmam Əlinin məqamını İnsanlar haqqında bildirmək haqqında "Qurani-Kərim"də açıq-aşkar ayələr var: "Ey Peyğəmbər, Rəbbindən sənə nazil olan əmri çatdır və əgər bu mesajı yerinə yetirməsən, missiyanı yerinə yetirməmiş olarsan və Allah səni insanlardan qoruyar. Həqiqətən də, Allah kafir xalqa doğru yolu tapmaqda uğur verməz. "Maide Sure-i ayət təməllərinin- 67"

Həz. Nübüvvət və İmamət işığında fəzilət və elm qapısının sirlərində bir sirr idi. İslamın Nıcatı Onun iradəsinin və hünərinin eşqində idi. İlahi Eşq və Allahın Əli əleyhissəlamə bəxş etdiyi məqamlar Bəşər aləmində və mələklər qatında onun ucalığını, Vəlayət, imamət və Nübüvvət haqlarının bəyanları idi.

AÇAR SÖZLƏR: Nübüvvət və İmamət işıqları; İmam Əli-İslamın Höccəti; Elmin Qapısı

THEOLOGIAN, RESEARCHER AND WRITER İMAM DİKMEN

LIGHTS OF PROPHETHOOD AND IMAMATE: THE VIRTUES OF HAZRAT ALI (AS)—“GOD’S PROOF UPON HUMANITY” AND THE GATE OF KNOWLEDGE

Google Scholar, Prof. Dr. EBÜLFƏZ TAHİR EZİMLİ-1

Theologian, Researcher, and Author İmam Dikmen-2

SUMMARY

The personality and status of Hazrat Ali (peace be upon him) are attested to in the Holy Quran and in historical sources from his era.

13th of Rajab: The blessed night of the birth of Mawla Ali (AS)

Imam Ali’s (AS) mother, Fatimah bint Asad, prayed: “O my Lord! I believe in You. I also believe in the messengers and scriptures that have come from You. I affirm the words of my ancestor Abraham—the Friend of God (Khalil)—who rebuilt this ancient house (Bayt al-Atiq).

For the sake of the one who built this house and for the sake of the child in my womb, ease my delivery.” Yazid ibn Ka’nab narrates: “Suddenly, the wall of the Kaaba parted! Fatimah entered and vanished from our sight. Then, the wall returned to its original state. We tried to unlock the door, but it would not open. We then realized that this was the work of God.” On the fourth day, he emerged. He was in the arms of the Commander of the Faithful (a.s.).

Prophet Muhammad (s.a.s.) had taken Imam Ali with him to Hira due to his immense love for him. Imam Ali (a.s.) was by his side when the Angel of Revelation first descended upon Prophet Muhammad (s.a.s.) in the Cave of Hira and appointed him as the Messenger.

Abu al-Hasan Ali ibn Abi Talib al-Qurashi al-Hashimi (d. 40/661)

The Prophet's son-in-law. His companion in the struggle. The first Imam:

The Messenger of Allah said: "O Ali, whether people accept you as Imam or not, you are Allah's proof (*hujjah*) over humanity—that is, the first Imam." (This hadith is found in all source texts. Whether they believe or not: Allah suffices as a witness.)

It is said that Imam Ali was born inside the Kaaba in Mecca approximately twenty-two years before the Hijra, around the year 600 CE. He is also the only person to have been born inside the Kaaba. His father was the Prophet's uncle, Abu Talib, and his mother was Fatimah bint Asad ibn Hashim.

He was Abu Talib's youngest son. Due to a famine that began in Mecca, the Prophet [took him] under his guardianship to lighten the burden on his uncle Abu Talib... ..took him in, and Imam Ali grew up from the age of five; he remained with him until the Migration (Hijra).

There are explicit verses in the Holy Quran regarding the status of Imam Ali: "O Prophet, convey the command that has been revealed to you by your Lord; and if you do not deliver this message, you will not have fulfilled your mission, and Allah will protect you from the people. Indeed, Allah does not guide the disbelieving people." (Surah Al-Ma'idah, Verse 67)

In the light of Prophethood and Imamate, he embodied a profound mystery within the secrets of the "Gate of Virtue and Knowledge." The salvation of Islam was bound to his resolve and valor. Divine Love and the stations bestowed upon Ali (peace be upon him) by Allah—both in the realm of humanity and among the angels—testified to his exalted status and the truths of *Wilayah* (Guardianship), Imamate, and Prophethood.

KEYWORDS: Lights of Prophethood and Imamate; Imam Ali—The Proof (Hujjah) of Islam; The Gate of Knowledge.

GİRİŞ

İMAM ƏLİNİN (əleyhissalam) şəxsiyyəti və mövqeləri bir çox açıq mənbələrdə mövcuddur.

Nübüvvət və İmamət işığında fəzilət-elm qapısının sirlərini Allah-Təala İmam Əli əleyhissəlamə Lədən Elmi Kainatından Bəxş edib. Hz. Əli Bu elmlər Qur'ani-Kərim dəryasındakı və kainatındkı ayələri Təvil elmilə vəsf edib- anladıb.

Təvil Elmi ayələrin öz mədəninə aid olan mənalardan bəhs etmə elmidir. Bütün elmlər Allah-Təlanın insanlara inayəti olaraq, göndərdiyi elmlərdəndir. O Elmin Kainatı var, səması var; və bu Elmdən gələn bütün sirlərin və hikmətlərin milyon-milyon mənəq-qəmənləri var. Hz.Əli ibn Əbutalib həm Elm şəhərinin qapısı və Hikmət mənzillərinin İmamıdır.

Əbül-Həsən Əli b. Əbi Talib əl-Qureyşi əl-Həşimi (vəfatı 40/661)

Hz. Peyğəmbərin kürəkəni. Mübarizə Dostu. İlk İmam:

Hz. Allah Rəsulu buyurdu: "Ey Əli, insanlar səni imam kimi qəbul etsələr də, qəbul etməsələr də, sən Allahın bəşəriyyət üzərindəki hüccəti, yəni ilk İmamsan." (Bu hədis bütün mənbə kitablarında mövcuddur. İnsanlar da, inanmasalar da: Allah şahid kimi kifayətdir.

İmam Əlinin hicrətdən təxminən iyirmi iki il əvvəl, miladi təqribən 600-cü ildə Məkkədə, Kəbənin içində anadan olduğu deyilir. O, həmçinin Kəbənin içində anadan olan yeganə insandır. Atası Peyğəmbərin əmisi Əbu Talib, anası isə Fatimə bint Əsəd b. Həşim idi.

O, Əbu Talibin ən kiçik oğlu idi. Məkkədə başlayan aclıq səbəbindən Peyğəmbər əmisi Əbu Talibin yükünü yüngülləşdirmək üçün onu himayəsinə götürdü və İmam Əli beş yaşından böyüdü. Hicrətə qədər onunla böyüdü.

Allahın bəşəriyyət üzərindəki Höccəti və elm şəhərinin qapısı Hz.Əli əleyhissalamın şəxsiyyəti və mövqeləri Qurani-Kərimdə və dövründən bəhs edilən mənbələrdə mövcuddur.

13 Rəcəb, Mövla Əlinin (ə.s.) mübarək doğum gecəsi

İmam Əlinin (ə.s.) anası Fatimə Binti-Əsəd dua etdi: “Ey Rəbbim! Sənə inanıram. Səndən gələn elçilərə və kitablara da inanıram. Bu qədim evi (Beytül-Ətiqi) yenidən tikən babam İbrahim Xəlilin (ə.s.) sözlərini təsdiq edirəm. Bu evi yenidən tikənin, bənimdəki uşağın xatirinə, doğuşumu asanlaşdır.

” “Yezid ibn Kə'nəb nəql edir: “Budur, Kəbənin divarı açıldı! Fatimə içəri girdi və gözümüzəndən itdi. Sonra divar əvvəlki vəziyyətinə qayıtdı. Qapının kilidinin açılmasını istədik, amma açılmadı. Sonra başa düşdük ki, bu, Allahın işidir.”

Dördüncü gün o, çıxdı. Əmirəl-mö'minin (ə) qucağında idi.

Məhəmməd Peyğəmbər (s.a.s.) İmam Əlini ona olan həddindən artıq sevgisi səbəbindən özü ilə Hiraya aparmışdı. Vəhy mələyi ilk dəfə Hira mağarasında Məhəmməd Peyğəmbərə (s.a.s.) nazil olub onu elçi təyin edəndə İmam Əli (ə.s.) onun yanında idi.

Əbül-Həsən Əli b. Əbi Talib əl-Qureyşi əl-Haşimi (vəfatı 40/661)

Hz. Peyğəmbərin kürəkəni. Mübarizə Dostu. İlk İmam:

Hz. Allah Rəsulu buyurdu: "Ey Əli, insanlar səni imam kimi qəbul etsələr də, qəbul etməsələr də, sən Allahın bəşəriyyət üzərindəki hüccəti, yəni ilk İmamsan." (Bu hədis bütün mənbə kitablarında mövcuddur. İnsanlar da, inanmasalar da: Allah şahid kimi kifayətdir.

O, Əbu Talibin ən kiçik oğlu idi. Məkkədə başlayan aclıq səbəbindən Peyğəmbər əmisi Əbu Talibin yükünü yüngülləşdirmək üçün onu himayəsinə götürdü və İmam Əli beş yaşından böyüdü. Hicrətə qədər onunla böyüdü.

1. HƏZRƏTİ FATİME BİNT-İ ƏSƏDDƏN İMAM ƏLİNİN (Ə.S.) DOĞUMU

13 Rəcəb, Mövla Əlinin (ə.s.) mübarək doğum gecəsi İmam Əlinin (ə.s.) anası Fatimə Binti-Əsəd dua etdi: "Ey Rəbbim! Sənə inanıram. Səndən gələn elçilərə və kitablara da inanıram. Bu qədim evi (Beytül-Ətiqi) yenidən tikən babam İbrahim Xəlilin (ə.s.) sözlərini təsdiq edirəm.

Bu evi yenidən tikənin, bətnimdəki uşağın xatirinə, doğuşumu asanlaşdır." "Yezid ibn Kə'nəb nəql edir: "Budur, Kəbənin divarı açıldı! Fatimə içəri girdi və gözümүzdən itdi. Sonra divar əvvəlki vəziyyətinə qayıtdı. Qapının kilidinin açılmasını istədik, amma açılmadı. Sonra başa düşdük ki, bu, Allahın işidir."

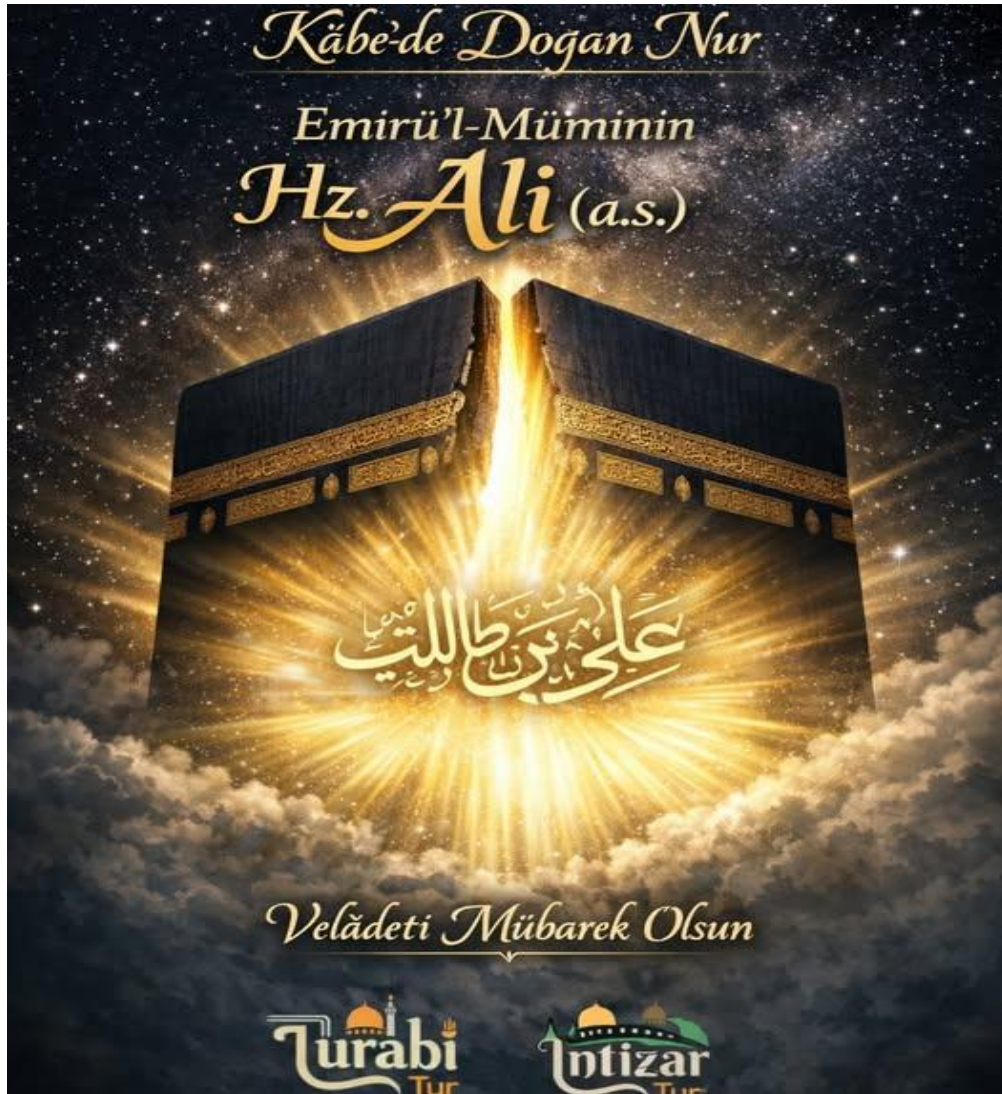
Dördüncü gün o, çıxdı. Əmirəl-mö'minin (ə) qucağında idi.

Sonra o deyərdi:

--Mən özүmdən əvvəlki qadınlardan üstün tutuldum. Çünki Asiya bint Müzahim Allaha ibadətin bəyənilmədiyi və Allaha ibadətin yalnız böyük təzyiq altında edildiği bir yerdə gizlicə Allaha ibadət edirdi. Məryəm bint İmran əli ilə qurumuş xurma ağacını silkələdi və üzərinə düşən yetişmiş xurmalardan yedi. Amma mən Allahın toxunulmaz evinə daxil oldum. Orada Cənnətin meyvələrindən və ruzilərindən yedim."

İlalu's-Şərayi dedi: "Kəbəyə girdim və Cənnətin meyvələrindən və ruzilərindən yedim. Getmək istəyəndə qulağıma pıçıldadı: "Ey Fatimə! Ona Əli (Uca) adı ver, çünki o, ucadır. Uca Allah buyurur: Mən onun adını öz adımdan almışam. Onu öz əxlaqla bəzəmişəm. Onu gizli elmimə çatdırmışam. O, Mənim evimdəki bütələri sındıracaq.

O, Mənim evimin damına çıxacaq və azan oxuyacaq. Məni tərifləyəcək və ucaldacaq. Buna görə də onu sevən və itaət edən mübarəkdir, ona qarşı üsyan edən və ondan nifrət edən isə vay halına.” (İlaluş-Şərayi əl-Əmali; Şeyx Səduq İmam Əli Ensiklopediyası, səh. 83).



İmam Əli (ə.s.) Hira dağında:

Məhəmməd Peyğəmbər (s.a.s.) peyğəmbər təyin olunmazdan əvvəl ildə bir ay Hira mağarasında ibadət edərdi. Ayı tamamladıqdan sonra əvvəlcə Məscidül-Hərama gedər, Allah evini yeddi dəfə təvaf edər və sonra evə qayıdardı. (İbn Hişam, Əs-Sirat əl-Nəbəviyyə, cild 1, səh. 252.)

Bəhs edilən mənbələrdən də göründüyü kimi, Məhəmməd Peyğəmbər (s.ə.s.) İmam Əlini ona olan həddindən artıq sevgisi səbəbindən özü ilə Hiraya aparmışdı. Vəhy mələyi ilk dəfə Hira mağarasında Məhəmməd Peyğəmbərə (s.ə.s.) nazil olub onu elçi təyin edəndə İmam Əli (ə.s.) onun yanında idi. Əli (ə.s.) bunu "Qasiə" xütbəsində belə ifadə etmişdir:

"...O, hər il ibadət üçün Hira dağına çəkilirdi. Onu məndən başqa heç kim görmürdü... Ona vəhy gələndə şeytanın fəryadını eşitdim; dedim: "Ey Allahın Rəsulu! Bu nə fəryaddır?" O dedi: "Bu fəryad şeytandandır. O, ibadət olunmaqdan ümidini üzüb. Sən mənim eşitdiyimi eşidirsən, mənim gördüyümü görürsən; amma sən peyğəmbər deyilsən; amma sən bir nazırsən və xeyir yolundasən." (Nəhcül-bəlağə, Sübhi Saleh, Xütbə 192.)

Bu sözlərin Peyğəmbərin Hirada peyğəmbərliyindən sonrakı dövrə aid olması mümkün olsa da, mövcud ipucları və Peyğəmbərin Hirada ibadətinin ümumiyyətlə daha əvvəl baş verməsi bu sözlərin Peyğəmbərin (s.ə.s.) peyğəmbərliyindən əvvəlki dövrə aid olduğunu göstərir. Hər halda, İmam Əlinin (ə) ruhunun saflığı və Peyğəmbərin dəqiq tərbiyəsi ona bu yaşda nurani bir ürəyə, görən gözə və eşidən qulağa sahib olmağa imkan vermiş, adi insanların görə və eşidə bilmədiyi şeyləri görüb eşitməyə imkan vermişdir.

2- İMAM ƏLİNİN (Ə) İLK MÜSƏLMAN OLDUĞUNA DAİR DƏLİLLƏR

İmam Əlinin (ə) ilk müsəlman olması ilə bağlı dəlillər və şahidlər İslam mətnlərində o qədər çoxdur ki, hamısını burada qeyd etmək mümkün deyil. Buna baxmayaraq, bunlar arasında əsas dəlillər aşağıdakılardır: Məsələn, heç kimin buna etiraz etməməsi üçün onlardan bəzilərini təqdim edəcəyik. Eyni zamanda, ilk müsəlmanların həqiqəti aşkar olacaq. Peyğəmbər (s) bunu hər kəsdən əvvəl bəzi səhabələrinə açıq şəkildə bildirmişdir:

“Kövsər hovuzuna ilk gələn, ilk iman gətirən İmam Əli ibn Əbi Talibdir.” (Bax: 1- İbn Abdulbir, əl-istiab Fi Marifeti'l-Ashab, cild 3, səh. 28, birinci çap, Beyrut, Daru ihyai't- Turasi'l Arabi, hicri 1328;

2- İbn Əbi'l-Hədid, Şərh-i Nəhcül-Bəlağə, cild. 13, səh. 119, Tərkibi: Məhəmməd Əbülfəzl İbrahim, birinci çap, Qahirə, Daru İhya'i'l-Kutubi'l-Arabi, 1378 h.

3- Hakim Nişaburi, əl-Müstədrək Ale's-Səhiheyn, cild. 3, səh. 17, Tərtib edən: Əbdürrəhman Mer'aşi, birinci çap, Beyrut, Darul-Marifə, 1406 hicri).

Alimlər belə nəql edirlər:

“Məhəmməd Peyğəmbər (s) bazar ertəsi günü peyğəmbərliyə təyin olundu, ertəsi gün İmam Əli (əleyhissalam) onunla birlikdə namaz qıldı.” (Bax: İbn-i Əbdülbir, əl-İstiaab Fi Marifeti'l-Ashab, cild 3, səh. 32, birinci çap, Beyrut, Daru İhya't-Turasi'l-Arabi, 1328 hicri; İbn əl-Asir, əl-Kamil fi't-Tarix, s.19, əl-Sadr, s.37, əl-Sadr. AH;

Hakim Nişaburi, əl-Müstədrək əl əs-Səhiheyn, cild. 3, səh. 122, Təqiq: Əbdürrəhman Mərəşi, birinci çap, Beyrut, Darul-mərifə, 1406-cı hicri).

İmam Əli (ə) "Kasiə" adlı xütbəsində buyurur:

"Həmin gün İslam Peyğəmbərin (s) və Xədicənin evindən başqa heç bir evdə yox idi və mən onların üçüncüsü idim. Vəhy və peyğəmbərliyin nurunu gördüm və peyğəmbərliyin qoxusunu hiss etdim." (Nəhcül-bəlağə, Sübhi Saleh, xütbə 192).

İmam Əli (ə) başqa bir yerdə də buyurur:

"Allahım, Sənə üz tutan, eşidən və cavab verən ilk şəxs mənəm." "Məndən əvvəl Allahın Rəsulundan başqa heç kim dua etməmişdir" (Nəhcül-bəlağə, Sübhi Saleh, 131-ci xütbə).

Əli ibn Əbi Talib də buyurur:

"Mən Allahın qulu, Onun Rəsulunun qardaşı və Siddiq-Əkbərəm (ən böyük doğru danışan). Məndən sonra bunu yalançı və böhtançıdan başqa heç kim deməyəcək. "Mən Allahın Rəsulu ilə birlikdə insanlardan əvvəl yeddi il namaz qıldım." (Bax: Təbəri, Muhəmməd b. Cərir, Tarixul-ümmə və əl-müluk, cild 2, səh. 312, Beyrut, Darul-qamusul-hədis;

İbn əl-Əsir, əl-Kamil fi ət-Tarix, cild. 2, səh. 57, Beyrut, Dar əs-Sədir, hicri 1399;

Hakim Nişaburi, əl-Müstədrək əl-Səhiheyn, cild. 3, səh. 112, Tərkibi: Əbdürrəhman Mərəşi, birinci çap, Beyrut, Darul-Marifə, 1406 hicri).

Ufeyl ibn Qeyis əl-Kindi deyir:

"İslamdan əvvəlki dövrdə ətir ticarəti ilə məşğul olurdum." İş səfərlərimdən birində Məkkəyə gəldim və Həzrət Abbasın qonağı oldum. Bir gün Məscidül-Həramda Abbasla birlikdə oturmuşdum. Günəş zirvəyə çatanda, dolunay kimi nur saçan bir gənc məscidə girdi; səmaya baxdı, sonra Kəbəyə baxıb namaz qılmağa başladı. Bir az sonra yaraşıqlı bir oğlan onun sağında dayandı və ona yapışdı. Sonra örtülü bir qadın gəlib ikisinin arxasında dayandı. Üçü birlikdə rüku və səcdə edərək namaz qıldılar.

Bu mənzərəni, müşriklərin qəlbində üç nəfərin fərqli şəkildə ibadət etdiyini görəndə çox təəccübləndim. Həzrət Abbasa dedim: "Bu, böyük bir hadisədir!"

O, eyni cümləni təkrarladı və əlavə etdi:

"Bu üç nəfəri tanıyırsınız?"

"Xeyr," dedim.

"İlk gələn, digər ikisinin qarşısında duran qardaşım oğlu Həzrət Məhəmməd ibn Əbi Talibdir..." Abdullah, ikincisi digər qardaşım Əli ibn Əbi Talib və üçüncüsü Məhəmməd peyğəmbərin həyat yoldaşıdır. O, dininin nazil olduğunu iddia edir. Allah. "Hazırda dünyada bu üç nəfərdən başqa heç kim bu dinə etiqad etmir" (İbn Əbi əl-Hədid, Şərh Nəhc əl-Bəlağə, cild 13, səh. 226,

Redaktə edən: Məhəmməd Əbulfəzl İbrahim, birinci nəşr, Qahirə, Daru İhyai əl-Kutub əl-Ərəbiyyə, hicri 1378;

Məhəmməd b. Cərir Təbəri, Tarix əl-Ümam vəl-Muluk, cild 2, səh. 212, Beyrut, Dar əl-Qamus əl-Hədid, bəzi fərqlərlə. İbn Əbi əl-Hədid də yuxarıda qeyd olunan kitabda bu hadisəni Abdullah b. Məsuddan nəql etmişdir. O, Məkkəyə səyahəti zamanı da belə bir mənzərənin şahidi olmuşdur."

Bu rəvayət açıq şəkildə göstərir ki, Məhəmməd Peyğəmbərin (s.ə.s) dəvətinin əvvəlində həyat yoldaşı Xədicədən başqa yalnız İmam Əli (ə.s.) onun dinini qəbul etmişdir və biz daha etibarlı dəlil və sənədlər təqdim etməyə davam edəcəyik.

Bundan əlavə, İlk müsəlmanların kim olduğunu izah edəcəyik və hörmətli tədqiqatçı dostlarım və hörmətli müsəlman qardaş və bacılarım təəccüblənəcəklər.

Mədinə dövrü bölməsinin ikinci cildində (səhifə 215), İbn Əbdül-Bərin İstihabında, İbn Əsirin Üstülqabəsində və Əhməd ibn Hənbəlin Müsnədində Peyğəmbərimiz (s.a.s) buyurur:

"Ey Fatimə! Niyə ağlayırsan? Səni səni istəyənlərin ən bilikliyi, ən mülayim və ağıllısı və ilk müsəlmanla evləndirdim".

3.İMAM ALİ (A.S) IN KİMLİĞİ:

D: ƏLİ

LƏQƏB: ƏMİR ƏL-MÖMİNİN

KÜNYƏ: ƏBU HƏSƏN

ATANIN ADI: ƏBU TALİB

ANANIN ADI: FATİME

DOĞUM YERİ: KƏBƏ

DOĞUM TARİXİ: HİCRƏTDƏN 22 və ya 23 İL ƏVVƏL

XİLAFƏT: HİCRƏTDƏN 35 İL SONRA

XİLAFƏT MÜDDƏTİ: 5 İL

ÖMRÜ: 63 İL

ŞƏHİDLİK: Hicri təqvimə ilə 40-cı ildə Xaricilərdən olan "İbn Mülcən" adlı bir şəxs tərəfindən. DƏFN
OLUNDUĞU YER: İRAQ - "NƏCƏF" ŞƏHƏRİ

4. İMAM ƏLİNİN (ə) ADI VƏ KÜNYƏSİ:

İMAM ƏLİNİN (ə) KİMİYYƏTİ:

DÜNYA ƏDƏBİYYATI MƏNBƏ KİTABLARINDA "ÖVLİYALAR KRALI" FƏSLİNDƏ QEYD
OLUNUB:

01. İmam Əli (Linqvistik mənası: Uca, uca, əzəmətli.)
02. Murtaza (Seçilmiş və seçilmiş.)
03. Murtaza Əli (Əliyə Murtaza.)
04. Əbul-Həsən (İmam Həsənin atası.)
05. Əbul-Hüseyn (İmam Hüseynin atası.)
06. Əsədullah (Allahın aslanı.)
07. 08. Əsədullah-ül-Qalib (Allahın qalib aslanı)
09. Heydər (O Aslan)
10. Haydar-i Kərrar (Təkrar-təkrar Aslan)
11. Əli İbn-i Əbi-Talib (Əbi-Talibin oğlu)
12. Əba-Turab, Əbu-Turab (Yer üzünün atası)
13. Bab-ül-Elm (Bilik Qapısı)
14. Əbu-Sipteyn (İki nəvənin atası) (İmam Əlinin (ə) künyəsi)
15. Axi-Rəsulullah (Peyğəmbərin (s.ə.v.) dünya və axirətdəki qardaşı)
16. Axu'r (Əb-ür) Reyhaneyn (İki reyhan bitkisinin - yəni İmam Həsən və İmam Hüseynin (ə) atası)
17. Əmirun-Nəhl (Ağacın Əmiri: Xurma ağaclarını qoruyurdu) (üçün.)
17. Əmir əl-Möminin (Möminlərin Lideri)
18. Şah-i Mərdan (Kral) Cəsurların)
19. Şir-i-Yəzda (Allahın Aslanı)
20. Şir-i Huda (Allahın Aslanı)
21. Şah-i Velayet (Müqəddəslik Kralı)
22. Şah-i Evliya (Müqəddəslər Sultanı)
23. Vasiy-yi Resulullah (Peyğəmbərin (s.ə.s.) xələfi təyin etdiyi şəxs)

24. Safder (Səfləri yarıb düşmən səflərini parçalayan)
25. Safşiken (Səfləri yarıb kəsən)
26. Damad-i Resul (Peyğəmbərin (s.ə.s.) kürəkəni)
27. Zeve-i Betül (İffətli qadının əri)
28. Sah-i Nəcəf (Nəcəf şəhərinin sultanı)
29. Şahsuvar-i İslam (İslam cəngavəri), (İslam cəngavərləri)
30. İmam-ül Müttəqin (Pakların İmamı) Birlər.)
31. İmam-ül Barus (Salehlərin İmamı.)
32. Əzil-ül Fiserve (Hər cür günah işləyənləri və əxlaqsızları öldürən.)
33. Seyyid-ül Müslimin (Müsəlmanların Ağası.)
34. Qaid-ül Gurri Muhaccalin (Əlləri və biləkləri təmiz olanların rəhbəri.)
35. Hatəm-ül Vasiyyin (Vasiflərin sonuncusu.)
36. Siddiq-ül Əkbər (Böyük Doğruçu.)
37. Rayet-ül Huda (Hidayətin Bayrağı.)
38. Faruu Hazihil-Ümmət (Bu ümməti fərqləndirən və fərqləndirən.)
39. İmam-ül Evliya (Övliyaların İmamı.)
40. Yasubud-din (Dinin təmiz ağası.)
41. Evvelin Möminin Billah (Allaha ilk iman gətirən.)
42. Yedullahül Bəsitə (Allahın açıq əli.)
43. Mərdi Meydan (Döyüş meydanlarının igidlərindən biri.)
44. Aynullahü Nəzirə (Allahın müşahidəçi gözü.)
45. Babül-Mədinə (Mədinənin qapısı - elm şəhəri.)
46. Cəllalül Qəzavat (Döyüşlərin nəriləyən aslanı.)
47. Kərrəməllah-ı Vəçhəye (Allahın əmri ilə) "Maidə surəsinin ayəsinin əsasının 55-ci ayəsi"

Övliyalıq dərəcəsi Allahdan gələn Elmdir. Bir çox fərqli xüsusiyyətlərə malik olan "Allahın Aslanı"nın möcüzələrinin və fəvqəladə əməllərinin Peyğəmbərdən (s) sonra İmam Əliyə (ə) verildiyinə və müxtəlif məsələlərdə uğurlarının övliyalığın gücü və qüdrəti ilə vəsf edilib. Quran və Əhli-Beyt tədqiqatlarımız üçün bir ad seçərkən onun adları, titulları və ləqəbləri arasından "Övliyaların Kralı" adını da təqdim etdik.

48. ed-Dai--Davətçi.

49. el-Faruk--Hak ile batılı birbirinden ayıran.
50. el-Hadi- doru yolu gösteren.
51. el-Mürteza -Beğenilmiş, razı olunmuş.
52. ən-Nebeul- Azim -Büyük Haber.
53. eş-Şahid--Tanık.
54. Hasifun- Nal: Ayakkabı Dikicisi.
55. es-Sıddik'ul Müstakim: Dosdoğru yol.
56. Kad-ı Deyn-i Resulullah--Resulullah'un borcunu ödeyen.
57. Kasım'ul -Cennet-i ve'n Nar-- "Cennettekilerin ve cehennemlikleri ayıran ölçü."
58. Katilul-Fecere--Günahkarlarla savaşan.
59. Katil'un-Nakisi ve'l-Kasıtın ve'l-Marıkın--Biatlerini bozan.
60. Keşşaful-Kureb--Üzüntüleri giderici.
61. Mevle əl-Müminin--Müminlerin velisi, dostu, yöneticisi.
62. Mübir'uş-Sirk ve'l Müşrikin: (Şirki ve müşrikleri yok edici.)
63. Münciz-u Va'd-i Resulullah: (Resulullah'ın sözünü yerine getiren.)
64. Nefs'ur-Resul: (Peygramber'in nefsi, canı.)
65. (Seyfullah'il-Meslul: (Allah'ın kınından çekilmiş kılıcı.)
66. Seyyid'ul Arab: (Arapların Efendisi.)
67. Şebih-i Harun: (Harun Peygamberin benzeri.)
68. Zülkarneyn: (İki toplumu birleştiren.)
69. Sahib'ul-Liva: (İslâm bayrağının Sahibi.)
70. "Əmir'ül Mü'minin" İmam Ali (a.s.)'in Künyelerinden en önemlilerindendir.

5. İMAM ƏLİNİN MƏQAMLARI HAQQINDA "QUR'ANİ-KƏRİM"DƏ AYƏLƏR

İmam Əlinin məqamını İnsanlar haqqında bildirmək haqqında "Qurani-Kərim"də açıq-aşkar ayələr var: "Ey Peyğəmbər, Rəbbindən sənə nazil olan əmri çatdır və əgər bu mesajı yerinə yetirməsən, missiyanı yerinə yetirməmiş olarsan və Allah səni insanlardan qoruyar. Həqiqətən də, Allah kafir xalqa doğru yolu tapmaqda uğur verməz. "Maide Sure-i ayət təməllərinin- 67"

Bundan belə başa düşülür ki, Peyğəmbərin (s) vəfatından sonra İslam dövlətinin hökumət və idarənin başında olmasının zəruriliyi nəzərdə tutulur.

Burada verdiyimiz İmam Əlinin (ə) adları və titulları ilahi bir qüdrət olan və ona məxsus olan Uca Allahın adlarıdır. Hətta İmam Əli (ə) xütbələrinin birində ruh aləmi haqqında belə deyir: Onların təqvaları ilə bağlı bir sözü var:

“Ey dünya, səni boşadım” üç dəfə." "Məni aldatmağınız mümkün deyil."

İmam Hüseyn (ə.s.) ibn Əliyə (ə.s.) aid edilən kəlamlar azdır. İmam Hüseyn ibn Əli (ə.s.)-ın kəlamlarının bu qədər az olmasının əsas səbəbi, lənətlənmiş Əməvilər dövrünün İmam Əli (ə.s.) və onun nəsiləri olan "Ələvilər"ə qarşı senzura və qadağalar dövrü olmasıdır. Heç kim onlarla əlaqə saxlamağa və ya onların sözlərini ötürməyə cəsarət etmirdi. Buna baxmayaraq, mümkün olduqda, onlar bu kəlamlar və onların mənəvi aləmləri haqqında danışdılar.

İmam Hüseyn (ə.s.) İmam Əlidən (ə.s.) xahiş etdi: "Bizə öz qulaqlarınızla Peyğəmbərin (s.ə.s.) ağzından eşitdiyiniz bir kəlam danışın." İmam Hüseynin (ə.s.) babası Məhəmməd Peyğəmbərin (s.ə.s.) kəlamları arasından seçdiyinə baxın. Bundan başa düşə bilərsiniz... Həmçinin onun şəxsiyyətinin ölçüsünü də əldə edə bilərsiniz.

Əli ibn Əbi Talib Məhəmməd Peyğəmbərin (s.ə.s.) peyğəmbərliyinə inanan ilk şəxslərdən biri idi və ilk iman gətirənlərdən biri idi. Qadınlardan Xədicə xanım səlamullah, kişilərdən ilk iman gətirən də İmam Əli ə. idi (bax: Cahiz, Əl-Osmaniyyə, səh. 3-13).

O dövrdə Hz.Əli (ə) doqquz və ya on bir yaşında olduğu söylenilir. Bu halda, o, yaşına görə Xədicədən sonra iman gətirən uşaqlar arasında ilk və Peyğəmbərlə birlikdə namaz qılan ilk insan idi. Bundan əlavə, Allah Quranda imandan bəhs edir. İman edənlərə inanmaq haqqında imana davet iken heç bir zaman çocuk Kavram mənasını verən ifadə işlənməmişdir. Allah Rəsulu (s.a.a) İmam Əli (ə.s.) haqqında belə buyurmuşdur:

"Şübhəsiz ki, siz mənim eşitdiyimi eşidirsiniz və gördüyümü görürsünüz, amma siz peyğəmbər deyilsiniz". ("Nəhcül-bəlağə, Sufi Saleh, Xütbə 192").

Yəni, mələkləri görmək, onların səslərini eşitmək qabiliyyəti və Hz. Peyğəmbərə (sav) Allah-Təaladan verilən güc Hz.Əliyə də verilmişdi; lakin o, peyğəmbər deyildi. Allah Rəsulu (s.a.v.) buyurdu: **"Şübhəsiz ki, Əli Allahın kitabı və mənim sünnətim haqqında ümmətimdə heç kimin sahib olmadığı biliyə malikdir. O, mənim bildiklərimin hamısını bilir. Çünki Allah-Təala mənə heç kimin bilmədiyi biliyi öyrətdi və mənə onu Əliyə öyrətməyi əmr etdi."** Mən də eyni şeyi etdim."

Sonra dedi: **"Həqiqətən, Allah Təala ona həqiqəti batildən ayıran hikmət və bilik verdi"** (Süleym, səh. 71).

İbn Əbil Hədid "Nəhcül-bəlağə"yə verdiyi şərhə yazır:

"Mötəbər kitablarda Cəbrayılın ilk dəfə Peyğəmbərin yanına enib onu peyğəmbərlik məqamına gətirdiyi anda Əli Peyğəmbərin yanında olduğu rəvayət olunub." İbn Əbil Hədid, "Nəhcül-bəlağə"yə verdiyi şərh, cild 13, səh. 208, Daru İhyai əl-Kutub əl-Ərəbiyyə, Qahirə, Hicri 1378.

Həz. Peyğəmbər Məhəmməd (s.ə.s) buyurmuşdur:

"Uca Allah Əhli-beytimə zülm edənlərə və xəyanət edənlərə, onları təhqir edənlərə, onlara qarşı müharibə edənlərə və ailəmə zərər verərək mənə əzab verənlərə Cənnəti haram etmişdir." (Zəhair-ul Ukba, səh. 20, El Keşşaf Təfsiri, Şura surəsinin 23-cü ayəsinin təfsiri.)

<https://www.facebook.com/imam.dikmen>

6. İMAM ƏLİ ƏLEYHİSSƏLAMIN BƏDDUASINA GÖRƏ ƏZAB ÇƏKƏN

DIRNAQARASI "SƏHABƏLƏR"DƏN: ƏNƏS BİN MƏLİK

İmam Əlinin (ə) xilafəti dövründə, insanların toplaşdığı mühüm günlərin birində, minbərə çıxıb xalqa belə xitab etdi: "Qədir-Xum günündə Allah Rəsulunun (s.ə.v.) "Mən kimin mövlasıyamsa, Əli də onun mövlasıdır" dediyini eşidən hər bir müsəlman ayağa qalxıb eşitdiyinə şəhadət versin. Bu hadisəni öz gözü ilə görməyən və öz qulağı ilə eşitməyən heç kim ayağa qalxmasın."

O zaman Bədr döyüşündə iştirak edən on altı səhabə ayağa qalxıb Allah Rəsulunun (s.ə.v.) Əlinin əlindən tutub xalqa müraciət etdiyini eşitdilər: "Məgər bilmirsiniz ki, mən möminlərə özlərindən daha layiqəm?" Onlar: "Bəli, bilirik" dedikdə, Peyğəmbərin (s.a.s.): "Mən kimin ağasıyamsa, Əli də onun ağasıdır. Ey Allahım, onu sevənləri sev və düşmənlərinə düşmən ol" dediyinə şəhadət verdilər. Lakin Qədir-Xum hadisəsində iştirak edən bəzi səhabələr Əliyə qarşı paxıllıq və düşmənçiliklərinə görə şəhadət vermədilər. Onlardan biri Ənəs ibn Malik idi.

Əli (s.a.s.) minbərdən enib ona: "Ey Ənəs, niyə o gün eşitdiklərini, Allahın Rəsulunun (s.a.s.) səhabələri kimi, onlarla birlikdə şəhadət etmirsən?" deyə soruşduqda, o cavab verdi: "Ey Əmirəl-möminin, mən artıq qocalmışam və eşitdiklərimi unutmuşam."

Sonra Əli (s.a.s.) onu lənətləyərək dedi: **"Əgər yalan danışırınsa, Allah səni çalmanınla gizlədə bilməyəcəyin ağıqla (xəstəliklə) mübtəla etsin."** Bunun üzərinə Ənəs ibn Malik yerindən qalxmağa belə macal tapmamış cüzam xəstəliyinə tutuldu. Xəstəlikdən üzü ağardı. Daha sonra Ənəs ağladı və dedi: **"Saleh bir qulun duası mənə bu vəziyyətə gətirdi; çünki mən onun şəhadətini gizlətdim."** Bu, məşhur bir əhvalatdır.

İbn Quteybə "Əl-Maarif" kitabında Ənəsin cüzam xəstəliyindən xəstəliyə yoluxan məşhur insanlar arasında bəhs edir və bu hekayəni nəql edir. Əhməd ibn Hənbəl də bu hadisəni "Müsnəd"ində nəql edərək bildirib: "Onların üçünə

istisna olmaqla hamısı şəhadət verib; "Şəhadət verməyən üç nəfər də İmam Əlinin (ə) lənətindən təsirlənib" deyə bildirib.

Burada İmam Əhməd ibn Hənbəlin Əl-Bələdhuriyə aid etdiyi bu üç nəfəri qeyd etmək yerinə düşərdi.

O deyir: İmam Əli (ə) Qədir-Xumda iştirak edənlərə and içəndə Ənəs ibn Malik, Bura ibn Azib və Cərir ibn Abdullah Bəcəli də onun minbərinin altında idilər. İmam Əlinin (ə) dəfələri xahiş etməsinə baxmayaraq, bu üç nəfərdən heç biri şəhadət vermək üçün ayağa qalxmadı. Sonra İmam Əli (ə) dedi: **"Allahım, bu şəhadəti bilən, lakin onu gizlədən kəsi elə bir bəla ilə müsibətə düşər et ki, bununla tanınsın və bu bəlaya düşər olmadan onun canını almayın"**.

Rəvayətçi deyir: "Ənəs ibn Malik cüzam xəstəliyinə tutulub, Bura ibn Azib kor olub, Cərir ibn Abdullah köç etməsinə baxmayaraq köçəri həyat tərzinə qayıdıb Əş-Şərat bölgəsinə gedib anasının evində vəfat edib" (Baxınız: 1- İbn Quteybə əd-Dinnuri tərəfindən yazılmış "Kitab əl-Maarif", səh. 251; 2- Müsnəd Əhməd ibn Hənbəl, cild 1, səh. 119; 3-əl-Bələdhurinin "Ənsab əl-Əşrəf", cild 1, səh. 152)

Hər bir tədqiqatçı, dördüdə bir əsr əvvəl unudulmaq üzrə olanda İmam Əli (ə) tərəfindən canlandırılan bu hadisəni araşdırarkən, İmam Əlinin nə qədər böyük bir dəyərə, əzəmətə, yüksək ambisiyaya və təmiz qəlbə sahib olduğunu başa düşür. O, sanki gözündə tikan, boğazında sümük varmış kimi səbirlə dözdü və bundan əlavə, Qədir-Xum hadisəsinə bütün həyatı boyu bütün mənası ilə qəlbində saxladı və onu yenidən təzahür etdirmək və canlandırmaq üçün uyğun bir fürsət axtarırdı. Buna görə də, yerinə çatanda onlara bu hadisəni xatırlatdı və bunun bir nümunəsi, müsəlmanların toplaşdığı bir yerdə şahidi olduqları bu hadisəyə şahidlik etmək üçün bir qrup müsəlmanı çağırmasıdır.

Dərin hikmətə baxın Bu mübarək hadisəni canlandırmaq və həm iştirak edənlərə, həm də olmayanlara dəlil təqdim etmək yolunda! Əgər Əlinin özü desəydi ki, "Allahın Rəsulu (ona Allahın salavatı və salamı olsun) məni öz varisi təyin etdi və Qədir-Xum günündə vəsiyyətini mənə həvalə etdi" bu, eşidənlərə istənilən təsir göstərməzdi. Hətta etiraz edərək deyə bilərdilər ki, "Niyə bu qədər uzun müddət susdunuz?"

Lakin onun hadisəni belə nəql etməsi: "Allahı şahid tuturam ki, Qədir-Xum günündə Allah Rəsulunun sözlərini eşidən hər bir müsəlman buna şahidlik etməlidir" və hadisəni Bədr döyüşündə iştirak edənlər də daxil olmaqla, otuz səhabənin sözləri ilə Allah Rəsulunun öz sözlərindən nəql etməsi bütün şübhələri və yanıltmağa çalışanların hiylələrini aradan qaldırdı və hadisəni inkar edən və ya sorğulayan hər kəsi susdurdu. O, ona şübhə edənləri təslim olmağa məcbur etdi. Beləliklə, o, etiraz edənlərə də cavab verdi.

Çünki Peyğəmbərin böyük şəxsiyyətlərindən olan bu otuz səhabə əvvəlki xəlifələrin hakimiyyəti dövründə də bu məsələdə susmuşdular. Bu, uyğun bir şeyin olduğunu göstərir. O dövrlərdə bu həqiqəti ortaya çıxarmaq üçün mühit yox idi; despotizm var idi... onlar öz qaydalarını zorla qəbul etdirmək istəyirdilər.

NƏTİCƏ OLARAQ:

İmam Əlinin məqamını İnsanlar haqqında bildirmək haqqında “Qurani-Kərim”də açıq-aşkar ayələr var: “Ey Peyğəmbər, Rəbbindən sənə nazil olan əmri çatdır və əgər bu mesajı yerinə yetirməsən, missiyanı yerinə yetirməmiş olarsan və Allah səni insanlardan qoruyar. Həqiqətən də, Allah kafir xalqa doğru yolu tapmaqda uğur verməz ("Maide Sure-i ayət təməllərinin- 67")

Hz.Ali əleyhissəlamın 1400 il öncəsi zamana dair baxışlarının Şerhi üzrə qənaətlərimizdən söz aşkarlamalı: 1400 il bundan öncə Zaman özünün zamanı içərisində nə kesdirəcəyini idrak edə bilmirdi. Hər kəs öz arşınının zamanı içərisində idi.

Zaman öyle bir halde idi ki, insanın cahilliyi get-gide derinləşir, küfur ayak açıp her yere yayılırdı. 1400 yıl öncenin cəhalet karanlıqları Hz. Ali'nin (a) en üstün tefsiri daxilindən daha aydın görünür; o, bu tutkun və dumanlı zamanın rənglərini ən tipik məzmunlardan karakterizə edir:

o zaman öglə bir zaman idi ki, orada “dünya işıqlandıqdan sonra qaranlıqlara bürünmüşdü; bəla yüze çıxmış, dize çıxmışdı. Dünyanın yumşaq döşəyi bərkimişdi; ömrü sona yetmişdi, vaxtı başa gelmişdi; qiyamet əlamətləri görünməkdə idi.

Dünyadakılar ümidlərini kesmişdilər, dünyadan üz çevirmişdilər; dünyanın halqası qopmaq, bağı açılmaq üzrə idi: nemətləri dağılıb getmiş, eyibləri üzə çıxmış, uzun sürəcək sanılan vaxtı qısalmışdı...

Zaman öz boyuna kəndir dolamış haldadır. İnsan get-gedə quduzlaşır. Dünyanın işi yalnız hər gün qan tökməkdir. hər an öz zamanının bataqlığında batır. Allah-ın sevdiyi bəndələrinə edilən zülmələri böyük qazanc-bacarıq hesab edilir. Allah Hesabı aparandır. Zaman öz odunu özü ilə aparacaq-- cəhənnəm ehlinin qazancı olaraq...

Hz. Əli əleyhissəlam Nübüvvət və İmamət işığında fəzilət və elm qapısının sirlərində bir sirr idi. İslamın Nicatı Onun iradəsinin və hünərinin eşqində idi. İlahi Eşq və Allahın Əli əleyhissəlama bəxş etdiyi məqamlar Bəşər aləmində və mələklər qatında onun ucalığını, Vəlayət, imamət və Nübüvvət haqlarının bəyanları idi.

MƏNBƏLƏR

QURANI-KƏRİM

- 1- Hz. Əli ibn Əbutalib. Nəhcül-Bəlağə. Bk1-1993.
2. İbn Quteybə əd-Dinnuri: "kitab əl-Maarif", səh. 251
3. Müsnəd Əhməd ibn Hənbəlİ, cild 1, səh. 119
4. Əl-Bələdhuri "Ənsab əl-Əşrəf", cild 1, səh. 152
5. Cahiz, Əl-Osmaniyyə, səh. 3-13.
6. Zehair-ul Ukba, s.20, el-Keşşaf tefsiri, Sura suresi 23. ayetin tefsiri.
7. <https://www.facebook.com/imam.dikmen>
8. Müsnəd Əhməd ibn Hənbəl, cild 1, səh. 119
9. <https://www.facebook.com/imam.dikmen>

BÜTÖV AZƏRBAYCAN ƏDƏBİYYATI: MƏHƏMMƏDƏMİN DİSLUZDA DİVAN POETİZMİ VƏ YENİ MÖVZU-İDEYA ÖZƏLLİKLƏRİ

Google Akademik, PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ

ORCID: 0009-0001-1327-3425

ezimliebulfez@yahoo.com.tr Google Akademik, Dünya Sülh Səfiri; Nobel Prize & India- Birliyinin Yönetici üzü; Qlobal Yazarlar Akademiyası üzü-Hindistan; Türk Dünyası Vətəndaşlığı və Eytimçilər Birliyi üzü-Bişkek; TÜRKSOY üzü; Mery`s Ange`ls İnternacional Qroup üzü; Poetas İntergalácticos- üzü; World Peace Literature Academy-nin yönetici üzü; Saib Təbrizi Elm Mərkəzinin üzü; Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin üzü; Naxçıvan Dövlət Universiteti; BÜTÖV AZERBAYCAN

ÖZƏT

XIX əsr beynəlxalq səviyyədə Avropa təhriki ilə, Bütöv AZərbaycan rusların -düşmənin hücumlarına məruz qaldı: iki yerə parçalandı. Bütöv Azərbaycanın dördüdə biri çar rusiyasının işğalı altına düşdü. Azərbaycan ədəbiyyatı ədəbiyyat tariximizin xüsusi məziyyətlərlə fərqlənən dövrüdür. Dövrün yüzlərlə şair və mütəfəkkirlər haqqında ədəbiyyatşünaslıq tarixində ya məlumat verilməmişdir. İstiqaməti yayındırmışdır. Söz açdığı məsələyə də ziddiyyətli yəndən münasibət bildirilmişdir. Belə şairlərdən biri də Məhəmmədəmin Disuzdur. Azərbaycan ədəbiyyatşünaslığında Dilsuz da digər müasirlərinə – Qumri, Dəxil, Şüai, Süpehri, Mirzə Həsən Qüdsi kimi yüzlərlə ustadlara mürəcə şəkində, rus siyasətinin amiranə hökmü ilə yanaşılmış, nəticədə, yaradıcılığının ideya – bədii, poetik xüsusiyyətləri tədqiq edilməmişdir

Məhəmmədəmin Dilsuz XVIII əsrin sonları – XIX əsrin birinci yarısında yaşayıb – yaratmışdır. Bu dövr Təbriz ədəbi mühitində «ustad» ləqəbini qazanmaq yalnız böyük yaradıcılıq imkanlarına malik olan sənətkarlar qazana bilərdi. Dilsuz məhz belə sənətkarlardan biri kimi, dövrünün fəvqündə durmuş, ayrı – ayrı şairlərin yaradıcılığına müsbət təsir göstərmişdir. Təəssüf ki. belə bir görkəmli şairin anadan olma və vəfat tarixləri haqqında mükəmməl məlumat yoxdur. Tədqiqatçılar onun 1834 – cü ildə həyatda olduğunu. Ahıl yaşlarında vəfat etdiyini göstərirlər.

Dilsuzun yaradıcılığı janr, forma və məzmun, ideya baxımından zəngindir. Türk və fars dillərində yazan şairin Divanı 6500 misradan ibarətdir. O, klassik şeirin, demək olar ki, bütün janrlarında yazmış, öz şairlik qüdrətini sübut etdirmişdir. Klassik şeirin qəzəl, qəsidə, rübai, müxəmməs, tərcibənd, tərkibənd, mədhiyyə, mərsiyyə, nəvhə, həcvi, şikayətnamə və məktublarında öz qələmini sınayan Dilsuz zamanın gərdisindən, insanların haqq yoldan çıxmasından fəryad etmiş, ədaləti, gözəlliyi, eşqi, haqqa tapınmağı bəşəriyyətin nicatı sanmışdır.

Məhəmmədəmin Dilsuz yaradıcılığının əsas sahəsini satirik – tənqidi şeirləri tutur. Bu mənada onun yaradıcılığının ən səjiyyəvi jəhətlərindən biri budur ki, şair klassik formasına yeni məzmun gətirmiş, öz şair – sənətkar mövqeyini qabarıq şəkildə üzə çıxarmışdır.

Ey dil, nə yatmısan, gözün aç bir cahana bax!

Səthi – zəmin seyr eləyib, asimanə bax.

Əqli unutma, nəsfə əsir olma, həqqi gör-müdam,

Nahəqqə ver təməyyüz, bu sudü ziyanə bax!

Klassik şeirin qəsidə, müxəmməs və yeddiliyində şair dünyanın gərdişindəki ədalətsizliklərdən, adamların haqq və doğruluqdan kənar olmasından şikayət edir, ayrı – ayrı sənət və peşə sahiblərini, müxtəlif silklərdən olan adamları tənqid atəşinə tutur. Məhəmmədəmin Dilsuz qəflətdə qalana, dünyanın gərdişindən xəbərsiz olanlara müraciət edir, onları iki qütb arasında qalan bir insan kimi sorğuya tutur, ayıq olmağa çağırır.

Məhəmmədəmin Dilsuz- lirik şairdir. Onun poetik imkanları bu sim üstə geniş üfüqləri dolaşmışdır. Bu baxımdan, qəzəllərində yeni məzmun və bənzətmələr yaradan bir sənətkar kimi, Məhəmmədəmin Dilsuz müasirlərindən və qəzəlçiliklə məşğul olan şairlərdən fərqlənir. O, orijinal deyimlər və lirik səciyyələri XIX əsr Divan klassizminin gözəl nümunələrini yaratmışdır.

AÇAR SÖZLƏR: Bütöv Azərbaycan; XIX əsr ədəbiyyatı: Dilsuz klassizmi: Dilsuzda mövzu və ideya lirizmi.

LITERATURE OF UNITED AZERBAIJAN: NEW THEMATIC AND CONCEPTUAL FEATURES IN THE DIVAN POETRY OF MƏHƏMMƏDƏMİN DILSUZ

Google Akademik, Prof. Dr. EBÜLFƏZ TAHİR EZİMLİ

In the 19th century, driven by European expansionism, United Azerbaijan was subjected to hostile Russian attacks and split into two parts. One-quarter of United Azerbaijan fell under the occupation of Tsarist Russia. This era holds a distinctive place in the history of Azerbaijani literature. However, the history of literary scholarship has either provided no information about the dozens of poets and thinkers of this period or has discussed them only cursorily and contradictorily. One such poet is Məhəmmədəmin Dilsuz. Like hundreds of other masters of the time—such as Qumri, Dəxil, Şüai, Süpehri, and Mirzə Həsən Qüdsi—Dilsuz was unfairly labeled a "reactionary" poet under the imperious dictates of Russian policy, and the ideological, artistic, and poetic characteristics of his work have remained unstudied.

Məhəmmədəmin Dilsuz lived and created during the late 18th and the first half of the 19th centuries. In the literary milieu of Tabriz during this period, the title of "Ustad" (Master) was earned only by artists possessing exceptional creative talent. As one of such accomplished artists, Dilsuz rose above the limitations of his era and exerted a positive influence on the work of various other poets. Unfortunately, precise information regarding the birth and death dates of this distinguished poet is lacking; researchers indicate only that he was alive in 1834 and passed away at an advanced age.

Dilsuz's body of work is rich in terms of genre, form, content, and ideas. Writing in both Turkic and Persian, the poet produced a *Divan* comprising 6,500 lines. He demonstrated his poetic prowess by writing in virtually every genre of classical poetry. Trying his hand at forms such as the *ghazal*, *qasida*, *rubai*, *mukhammas*, *tarji-band*, *tarkib-band*, as well as panegyrics, elegies (*marsiya* and *novha*), satires, *shikayatnama* (poems of complaint), and poetic epistles, Dilsuz lamented the vicissitudes of time and humanity's deviation from the righteous path, regarding justice, beauty, love, and devotion to the Truth as the means of mankind's salvation.

Satirical and critical poetry forms the core of Mahammadamin Dilsuz's oeuvre. In this regard, one of the most characteristic features of his work is that he infused classical forms with new content, thereby vividly asserting his stance as a poet and artist. O heart, why do you slumber? Open your eyes and gaze upon the world!

O heart, why do you slumber! Open your eyes and gaze upon the world!

Survey the face of the earth and look up to the heavens.

Do not forsake reason nor become a slave to the lower self; behold the Truth unceasingly,

Distinguish right from wrong, and weigh the profit and the loss!

In the *qasida*, *mukhammas*, and *yeddilik* (seven-line stanza) forms of classical poetry, the poet laments the injustices in the world's turning and the deviation of people from truth and righteousness, while fiercely criticizing representatives of various trades, professions, and social strata. Məhəmmədəmin Dilsuz addresses those living in heedlessness—unaware of the world's vicissitudes—challenging them as individuals caught between two poles and urging them to awaken.

Məhəmmədəmin Dilsuz is a lyric poet; his poetic range has traversed vast horizons within this realm. In this regard, as an artist who creates novel themes and metaphors in his *ghazals*, Dilsuz distinguishes himself from his contemporaries and other poets of the *ghazal* tradition. Through original expressions and lyrical qualities, he has crafted exquisite examples of 19th-century *Divan* classicism.

KEYWORDS: United Azerbaijan; 19th-century literature; Dilsuz's classicism; lyrical themes and ideas in Dilsuz's work.

GİRİŞ

YAXUD: ƏDƏBİYYATŞÜNASLIĞIN MƏHƏMMƏDƏMİN DİSUZA MÜNASİBƏTİ

XIX əsr Azərbaycan ədəbiyyatı ədəbiyyat tariximizin xüsusi məziyyətlərilə fərqlənən dövrüdür. Dövrün onlarla şair, mütəfəkkirləri haqqında ədəbiyyatşünaslıq tarixində ya məlumat verilməmiş, ya da öləri, ziddiyyətli yəndən bəhs edilmişdir. Belə şairlərdən biri də Məhəmmədəmin Dilsuzdur.

Azərbaycan ədəbiyyatşünaslığında Dilsuz da digər müasirləri – Qumri, dəxil, Şüai, Süpehri, Mirzə Həsən Qüdsi kimi antirealist şair hesab edilmiş, yaradıcılığının ideya – bədii, poetik xüsusiyyətləri tədqiq edilməmişdir. Feyzulla Qasımzadə yazırdı:

“XIX əsrdə mərsiyyəçiliyin Cənubi Azərbaycanda Dəxil, Dilsuz, Əbülhəsən Raci, Şimali Azərbaycanda Qumri, Şüai, Süpehri, Mirzə Həsib Qüdsi kimi bir çox mərsiyə şairi yetişmişdi. Mərsiyə şairlərinin bir qismi hər il məhərrəm ayında şialər tərəfindən keçirilən imam təziyyəsi üçün növhə, sinəzən, mərsiyə yazırdı. Mərsiyə müəlliflərinin bir qismi də (Dəxil, Qumri, Qüdsi) öz yaradıcılığını mərsiyəçiliyə həsr edərək imam Hüseynin faciəli qətlini təsvir və nəql edən mənzum hekayələr yazırdı”

Tədqiqatçı problemə sovet ideologiyası daxilində yanaşmaqla, bu sənətkarlarda ziddiyyətli cəhətlər axtarmağa çalışmış, onların yaradıcılıqlarını Ədəbiyyat tarixi daxilindən araşdırmamış, bu tarixi inkişafdakı ədəbi mövqelərini inkar etmişdir.

Məhəmmədəmin Dilsuz haqqında ədəbiyyatşünaslar müfəssəl məlumat verməmişlər. Ədəbiyyatşünas Firudin bəy Köçərli “Azərbaycan ədəbiyyatı” adlı monumental əsərində qeyd edirdi ki, “Vəli Azərbaycan İran dövlətinə mütəəlliq hissəsində ya keçmişdəki və ya hali – həyatda olan şüəra və ürfəsi haqqında çəndən əhəmiyyətli və vüsətli məlumat verə bilmədik (...) habelə Dilsuz, Aciz, Divani, Raci, Dəxil və qeyriləri xüsusunda qədri – kəfəfinca məlumat kəsb etmək, müttəəsüf, müyəssər olmadı”.

Eyni zamanda, tədqiqatçı qeyd edirdi ki, bu şairlərin tərcümeyi – hallarına aid məlumatlar yoxdur.

Firudin bəy Köçərli “Azərbaycan ədəbiyyatı” kitabında Məhəmmədəmin Dilsuza da ayrıca yer ayırmış, onun bəzi şeirlərindən nümunələr verməklə, şairin həyat və yaradıcılığına dair müəyyən elmi – tarixi fikirlər söyləmişdir. Məsələn, tədqiqatçı, şairin şeirlərinə, əsasən, yazır ki, biçarə Dilsuzu Fəqirliyinin ucundan cürbəcür bəlalara giriftar olubdur: gah dükançılıq edib, gah tütün satmağa məşğul olubdur, gah baqqallıq edibdir, hətta bir erməni üstə müttəhim olub, zindana dəxi düşübdü və tələbkərin xəvfindən nökrəçilik dəxi edibdir”.

Görkəmli alim Məhəmmədəli Tərbiyət “Dənışməndani – Azərbaycan” adlı irihəcmli təzkirəsində Dilsuz haqqında bunları qeyd etmişdir: “Dilsuz – “Ustad” ləqəbi ilə tanınmış Məhəmməd Əmin Təbrizi Azərbaycanın

məşhur söz ustalarından olmuşdur. Məşhur şairlərdən olan Mirzə Süruş və Mirzə Məzhər onun şagirdlərindəndir. Dilsuzun şeir divanı türk və fars dillərində Təbrizdə dönə – dönə çap edilmişdir».

Dilsuz, dövrünün məşhur şairlərindən olmuş, ölümündən sonra “Divan”ı 1864, 1868, 1982, 1902, 1904, 1918 – ci illərdə Təbrizdə nəşr edilmişdir.

Belə məşhur bir sənətkarın həyat və yaradıcılığı haqqında tədqiqatlar aparılmamışdır. Bunu nəzərə alaraq, “Dilsuzun yaradıcılığı” mövzusunda bir araşdırma aparmağa çalışdıq. Düzdür, geniş yaradıcılıq aləminə malik olan Dilsuz haqqında bir məhdud çərçivəsində dolğun təhlil aparmaq mümkün deyildir. Ancaq çalışmışıq ki, belə bir şairin yaradıcılığına xas olan xüsusiyyətləri yığcam da olsa, təhlil edək. Bunun üçün bir neçə problemi diqqət mərkəzinə çəkməyə çalışmışıq:

Dilsuz yaradıcılığının janr, mövzu və ideya xüsusiyyətləri;

Lirikası;

Satirik – tənqidi şeirləri;

Mərsiyə, növhə, sinəsən jnröməzmunlu şeirləri;

Yaradıcılığında sənətkarlıq problemləri.

Məhəmmədəmin Dilsuz XVIII əsrin sonları – XIX əsrin birinci yarısında yaşayıb – yaratmışdır. Bu dövr Təbriz ədəbi mühitində «ustad» ləqəbini qazanmaq yalnız böyük yaradıcılıq imkanlarına malik olan sənətkarlar qazana bilərdi. Dilsuz məhz belə sənətkarlardan biri kimi, dövrünün fəvqündə durmuş, ayrı – ayrı şairlərin yaradıcılığına müsbət təsir göstərmişdir.

Təəssüf ki, belə bir görkəmli şairin anadan olma və vəfat tarixləri haqqında mükəmməl məlumat yoxdur. Tədqiqatçılar onun 1834 – Cü ildə həyatda olduğunu. Ahıl yaşlarında vəfat etdiyini göstərirlər.

I. MƏHƏMMƏDƏMİN DİLSUZ YARADIJILIĞININ JANR, MƏZMUN VƏ İDEYA MƏXSUSLUĞU

Dilsuzun yaradıcılığı janr, forma və məzmun, ideya baxımından zəngindir. Türk və fars dillərində yazan şairin Divanı 6500 misradan ibarətdir. O, klassik şeirin, demək olar ki, bütün janrlarında yazmış, öz şairlik qüdrətini sübut etdirmişdir. Klassik şeirin qəzəl, qəsidə, rübai, müxəmməs, tərcibənd, tərkibənd, mədhiyyə, mərsiyyə, növhə, həcv, şikayətnamə və məktublarında öz qələmini sınayan Dilsuz zamanın gərdişindən, insanların haqq yoldan çıxmasından fəryad etmiş, ədaləti, gözəlliyi, eşqi, haqqa tapınmağı bəşəriyyətin nicatı sanmışdır.

Hər şeydən əvvəl, Məhəmmədəmin Dilsuz, lirik şairdir. Onun poetik imkanları bu sim üstə geniş üfüqləri dolaşmışdır. Bu baxımdan, qəzəllərində yeni məzmun və bənzətmələr yaradan bir sənətkar kimi,

Məhəmmədəmin Dilsuz müasirlərindən və qəzəlçiliklə məşğul olan şairlərdən fərqlənir. O, orijinal deyimlər və lirik səciyyələri XIX əsr Divan klassizminin gözəl nümunələrini yaratmışdır.

Şairin lirik “mən”i rəqiblərdən və cahillərdən, onların cövründən-zülmündən narahatdır; ona görə narahatdır ki, eşqin və sevdanın yollarında onlar həmişə əngəllər törətmişlər:

**Mailəm ruzi – əzəldən bir həbibin qaşına,
Vermədi fürsət rəqiblər, ta, dolanım başına.**

**Qaşü göz, mücganü qəmzə, zülfi – sünbül, xəttü xal
Ola yüz min fəda bu dilbərin nəqqaşına.**

Onun sevgilisinin jəfası nə qədər artıq olsa da, bu jəfaya dözməyə qadir olan eşqi var. Aşiqin tələbində və ruhunda eşqin mənzili genişdir. Lakin dilbər bu mənzilə yaxın düşmür, rəqiblərə meyl salır, aşiqin əzab və ağrılarını artırır:

**Əl üzüb məndən, gedib əğyar ilə ülfət tutar,
Rəhm etməz bımürüvvət, aşiqin göz yaşına.**

Aşiq səbaya üz tutur ki, o bımürüvvət yarə xəbər versin ki, «mən fəqirə eşqi» «eyb etməsin», «vaxt olar bu bəlalər» «billah gələr öz başına».

Başqa bir qəzəldə şair yarla əğylar arasında uyğunluq görür: yarıda da əğyar kimi insaf yoxdur:

**Mən deyərdim ki, bu əğyarda insaf olmaz,
Artıq əğyardan, ol yarıda insaf olmaz.
Bilmirəm yoxdu mənim dilbərimin rəhmi və ya
Jümlə bu dilbərü dildarda insaf olmaz?**

Aşiq öz sevgilimini Leylidən üstün sanır, özünü isə divanəlikdə Məcnundan ucada görür. «Bu aləmdə çox gözəlin şöhrəti var», amma heç biri aşiqin Leylisinə tay ola bilməz. Şair qəmi niyat sayır, qəmdən kənar olan könlü viranə sayır:

**Dilbərim, Leyli yəqin sən kimi məstanə deyil,
Qeys aləmdə bu gün mən kimi divanə deyil.**

Gərçi bu aləm ara çox gözəlin şöhrəti var,

Baxıram, heç birisi sən kimi dürdanə deyil.

**Hər könül kim, sənin eşqində olub viranə,
Yeməsin qəm o könül, gənjdə, viranə deyil.**

Dilsuzun lirik aləmində bir fəlsəfi idrak var: bu idrakda dünyanı və insanı aydın görən şairin narahatlığı daha da artır. Çünki şair bəşərin ziddiyyətlər və fəlakətlər yaradan əməllərinin aqrşısını almağa jəhd etməyənlərin laqeydliyindən sıxılır.

**Bilmirəm, ya rəb, yenə qəlbimdə bu qovğa nədir?
Axiri – ömrümdə bu başımdakı sevda nədir?**

**Gah çəkər deyrə, gahi bütخانə, gahi məsjidə.
Bilmirəm, məsjid nədir, deyrü kəlisə həm nədir?**

Bu qəzəbində, ümumən, bütün yaradılışı boyu Dilsuzun təsəvvüf duyğusu qabarıqdır. Sufizmin fəlsəfi anlamına o poetik simvollarından yanaşır. İnsanın iki yol ayrığında (təsdiq və inkar) məqamında dayanmasında şair fəlsəfi mahiyyət görür. Tanrıya üz tutaraq ondan niyyət diləyən şair, nə qədər aydın və doğru yolda olsa da, narahatdır. Bu narahatlığa son qoyan qüvvə isə ilahi məqam və o məqamın eşqidir:

**Aqıləm, ya cahiləm, ya möminəm, ya kafərəm?
Bilmədim jahil nədir dünyadə, ya dana nədir?..**

**Eşq Məcnun eyləyib saldı məni səhralara.
Bilmədim, Məcnun nədir, Leyli nədir, səhra nədir?**

Güldə «hüsni – taravət», «bülbüldə şur» sevdasına bağlanan şair bu sirrin əzəli və axırında bir sirr görür. Lakin bu sirrin hikmətinə, onun mənasına daha injə fənlərdən bələd olan şair həm də özünə qəflətdə görür: çünki hər sirri zahirdən görmək, onu batildə axtarmamaq onun şair «mən»ində yaddır:

Məhəmmədəmin Dilsuz yaradıcılığının əsas sahəsini satirik – tənqidi şeirləri tutur. Bu mənada onun yaradıcılığının ən səjiyyəvi jəhətlərindən biri budur ki, şair klassik formasına yeni məzmun gətirmiş, öz şair – sənətkar mövqeyini qabarıq şəkildə üzə çıxarmışdır.

Klassik şeirin qəsidə, müxəmməs və yeddiliyində şair dünyanın gərdişindəki ədalətsizliklərdən, adamların haqq və doğruluqdan kənar olmasından şikayət edir, ayrı – ayrı sənət və peşə sahiblərini, müxtəlif silklərdən olan adamları tənqid atəsinə tutur. Qəsidələrindən birində Məhəmmədəmin Dilsuz qəflətdə qalana, dünyanın gərdişindən

xəbərsiz olanlara müraciət edir, onları iki qütb arasında qalan bir insan kimi sorğuya tutur, ayıq olmağa çağırır:

Ey dil, nə yatmısan, gözün aç bir cahana bax!

Səthi – zəmin seyr eləyib, asimanə bax!..

Sal yadə bir gedənləri ya bir gələnləri,

Hər kəs gəlir gərək gedə, bir karvanə bax!

Əqli unutma, nəsfə əsir olma, həqqi gör-müdam,

Nahəqqə ver təməyyüz, bu sudü ziyanə bax!

İnsanın birinci vəzifəsi həqqi görmək, onun sirrini eşitməkdir, əgər eşitməsə bu dəhrin «fənası» ilə «bəqasını» heç vaxt ayırd edə bilməz:

Ver bircə guş – huşini, əsrari – həqq eşit,

Aç bir gözün, gözünlə bu razi – nihanə bax!

Bel bağlama bu dəhrə, fənadır, bəqası yox,

Mövtü həyat, nəqli – baharü xəzanə bax!

Zəmanədən, onun cəfasından, zülmündən, zəmanə adamlarının qəflət və laqeydliyindən klassik poeziyada çox deyilib. Lakin hər şair öz duyum və görümünü ifadə eləyib. Bu baxımdan Dilsuzun poeziyası da öz keyfiyyətilə fərqlənir. Füzulidən, Molla Vəli Vidadidən əvvəllər də, sonralar da şairlər öz şair «mən»inə sadıq qalıb, özünü

ifadə edib. Dilsuz da klassik ənənələrə söykənməklə özünə sadıq qalıb, hər şeydən əvvəl, dilsuz öz zamanının, əhatəsində olduğu adamların sirlərini açır, onların eyiblərini nəzmə çəkir və bu nəzmlə öz satirik mövqeyinə üzüntülük verir:

**Çün şərirlər qoydular yalnız dükanda bəndəni,
Aşınalar söylədilər: qoymarıq pulsuz səni,
Biri təvid eyləyib, birisi etdi kisəni,
Xəlpə xatirjəm olub, həm belə qurduq daməni,
Başladıq borjlara «vezzarayət»ü «əmməni»,
Axırı zindana saldı bəndəni bir erməni,
Böylə dərdi xəlpə ara daim əyan etmək gərək.**

Şairin başına çox bəlalar gəlib. Yeddillik formasında yazılmış şeirinin bu bəndində də bu məzmunu işarə edilir. vəzifə və mənəb xatirinə düşməyə xidmət edənlərin ujbətində bir erməninin fitnəsi ilə şair hesab edilib. «Aşınalar»dan isə heç vaxt bir xeyir də görməyib. Çünki hamı «kisə» dalınja düşüb, ətrafdakı adamlar yalançı və öz şəxsi mənafeini güdənlərdir. Belələrindən heç vaxt xeyir, düz iş gözləmək olmaz. Şair Məhəmmədəmin Dilsuzun bir söz ustadı kimi, tənqid və ifşa hədəfləri məhz belə adamlardır. Bu tiplərə belə meydan verən, sözsüz ki, zəmanə adamlarıdır. Xəlpə belələrindən həmişə sitəmə düşüb.

Lakin Məhəmmədəmin Dilsuz ümid yeri var, onun ruhən və mə'nən, qəlbən, fikrən bağlandığı bir qüvvə var:

**Dilsuza, vardır Əli tək şahı – mərdanın sənin,
Qəm yemə, daim yetər fəryadə sultanın sənin.
Hər iki dünyadə versin dərdə dərmanın sənin,
İstəsən gər rahat olsun dəhr ara janın sənin,
Əldə qalsın abiruvü dinü imanın sənin,
Eyləsin şiri – xuda fəzl ilə divanın sənin,
Müxtəsər, səhranı Məcnun tək məkan etmək gərək.**

Qüdrətli söz ustadı, şair Məhəmmədəmin Dilsuz zülmədən, haqsızlıqdan, ədalətsizlikdən qaçıb uzaqlaşmaq üçün “səhranı Məcnuntək məkan etmək” fikrindədir. Ümumiyyətlə, tənhalığa, cəmiyyətdən, insan vəhşətindən

kənarda qalmağa üstünlük verən mütəfəkkirlər, bu etiraz və uzaqlaşmağı həmin cəmiyyətə və insanlara qarşı etiraz və mübarizə üsuludur. Məcnun da bu cəhətə görə səhralara üz tutmuşdur.

III. MƏHƏMMƏDƏMİN DİLSUZ POETİKASINDA MÜXƏMMƏS JANRI VƏ YENİ MÖVZU-MƏZMUN QATLARI

Azərbaycan ədəbiyyatında XVIII əsrin sonlarında, XIX əsrdə klassik şeir formalarında yeni məzmun və ideya vermək üsulu poeziyanın inkişafında xüsusi səjiyyələdən idi. Bu baxımdan, **müxəmməs** şeir formasının imkanları geniş idi və şairlər də bu cənrdə yazdığı şeirlərdə, hər şeydən əvvəl, öz ədəbi mövqeyini, hiss və duyğusunu, düşüncəsini ifadə edirdi.

Molla Vəli Vidadi, Əbdürrəhman ağa Şair kimi, Məhəmmədəmin Dilsuz da müxəmməsdən öz fikir və düşüncəsini, narahatlığını, etirazını, kədərini ifadə edən bir şair kimi istifadə etmişdir.

Məhəmmədəmin Dilsuz yaradıcılığının əsas sahəsini satirik – tənqidi şeirləri tutur. Bu mənada onun yaradıcılığının ən səjiyyəvi jəhətlərindən biri budur ki, şair klassik formasına yeni məzmun gətirmiş, öz şair – sənətkar mövqeyini qabarıq şəkildə üzə çıxarmışdır. Klassik şeirin qəsidə, müxəmməs və yeddiliyində şair dünyanın gərdişindəki ədalətsizliklərdən, adamların haqq və doğruluqdan kənar olmasından şikayət edir, ayrı – ayrı sənət və peşə sahiblərini, müxtəlif silklərdən olan adamları tənqid atəşinə tutur.

Qəsidələrindən birində Məhəmmədəmin Dilsuz qəflətdə qalana, dünyanın gərdişindən xəbərsiz olanlara mürəjət edir, onları iki qütb arasında qalan bir insan kimi sorğuya tutur, ayıq olmağa çağırır:

Ey dil, nə yatmısan, gözün aç bir cahana bax!

Səthi – zəmin seyr eləyib, asimanə bax!..

Sal yadə bir gedənləri ya bir gələnləri,

Hər kəs gəlir gərək gedə, bir karvanə bax!

Əqli unutma, nəsfə əsir olma, həqqi gör, müdam

Nahəqqə ver təməyyüz, bu sudü ziyanə bax!

İnsanın birinji vəzifəsi həqqi görmək, onun sirrini eşitməkdir, əgər eşitməsə bu dəhrin «fənası» ilə «bəqasını» heç vaxt ayırd edə bilməz:

Ver bircə guş – huşini, əsrari – həqq eşit,

Aç bir gözün, gözünlə bu razi – nihanə bax!

**Bel bağlama bu dəhrə, fnadır, bəqası yox,
Mövtü həyat, nəqli – baharü xəzanə bax!**

Zəmanədən, onun jəfasından, zülmündən, zəmanə adamlarının qəflət və laqeydliyindən klassik poeziyada çox deyilib. Lakin hər şair öz duyum və görünümünü ifadə eləyib. Bu baxımdan Dilsuzun poeziyası da öz keyfiyyətilə fərqlənir. Füzulidən, Molla Vəli Vidadidən əvvəllər də, sonralar da şairlər öz şair «mən»inə sadıq qalıb, özünü ifadə edib. Dilsuz da klassik ənənələrə söykənməklə özünə sadıq qalıb, hər şeydən əvvəl, dilsuz öz zamanının, əhatəsində olduğu adamların sirlərini açır, onların eyiblərini nəzmə çəkir və bu nəzmlə öz satirik mövqeyinə üzüntülük verir:

**Çün şeriklər qoydular yalqız dükanda bəndəni,
Aşınalar söylədilər: qoymarıq pulsuz səni,
Biri təvid eyləyib, birisi etdi kisəni,
Xəmqə xatircəm olub, həm belə qurduq daməni,
Başladıq borclara «vezzarayət»ü «əmməni»,
Axırı zindana saldı bəndəni bir erməni,
Böylə dərdi xəmqə ara daim əyan etmək gərək.**

Şairin başına çox bəlalər gəlib. Yeddiillik formasında yazılmış şeirinin bu bəndində də bu məzmunu işarə edilir. vəzifə və mənəb xatirinə düşməyə xidmət edənlərin ujbətində bir erməninin fitnəsi ilə şair hesab edilir. «Aşınalar»dan isə heç vaxt bir xeyir də görməyib. Çünki hamı «kisə» dalınja düşüb, ətrafdakı adamlar yalançı və öz şəxsi mənafeini güdənlərdir. Bələlərindən heç vaxt xeyir, düz iş gözləmək olmaz. Şair Məhəmmədəmin Dilsuzun bir söz ustadı kimi, tənqid və ifşa hədəfləri məhz bələ adamlardır. Bu tiplərə bələ meydan verən, sözsüz ki, zəmanə adamlarıdır. Xəmqə bələlərindən həmişə sitəmə düşüb.

Lakin Məhəmmədəmin Dilsuz ümid yeri var, onun ruhən və mə'nən, qəlbən, fikrən bağlandığı bir qüvvə var:

**Dilsuza, vardır Əli tək şahı – mərdanın sənin,
Qəm yemə, daim yetər fəryadə sultanın sənin.
Hər iki dünyadə versin dərdə dərmanın sənin,
İstəsən gər rahat olsun dəhrə ara janın sənin,**

**Əldə qalsın abiruvü dinü imanın sənin,
Eyləsin şiri – xuda fəzl ilə divanın sənin,
Müxtəsər, səhranı Məcnun tək məkan etmək gərək.**

Qüdrətli söz ustadı, şair Məhəmmədəmin Dilsuz zülmədən, haqsızlıqdan, ədalətsizlikdən qaçıb uzaqlaşmaq üçün “səhranı Məcnuntək məkan etmək” fikrindədir. Ümumiyyətlə, tənhalığa, cəmiyyətdən, insan vəhşətindən kənarda qalmağa üstünlük verən mütəfəkkirlər, bu etiraz və uzaqlaşmağı həmin cəmiyyətə və insanlara qarşı etiraz və mübarizə üsuludur. Məcnun da bu cəhətə görə səhralara üz tutmuşdur.

Məhəmmədəmin Dilsuz “Əsnafdan şikayət” məzmunlu müxəmməsində çox ciddi mətləblərə toxunur, zəmanə adamlarının haqq yoldan kənarlaşmasını ən böyük faciə sanır:

**Ey könül, gəl bu jahanın aşinasın tərək qıl,
Olma qafil bu sitəmgər dəhrə vermə çox da dil,
Mərdi – rah ol, birjə bədgirdar felindən çəkil,
...dünyanın həvasilə çox olma münfəil,
İstər isən mən sənə dəhrin jəfasın göstərəm.**

Dərin müşahidələr və görümlər, həyat təcrübəsi əsasında yazılmış müxəmməs real faktlar və səjiyyətlər ilə diqqəti cəlb edir. Şair jəmiyyətin hər zümrəsinin, hər təbəqəsinin, üzvünün eyib və nöqsanlarını açır, onları satirik şəkildə ifşa edir. Məsələn: qazı, molla, həji, rövzəxan silkinə daxil olanların nöqsan və eyblərini fərdi şəkildə belə açıqlayır:

**Qazisin gördün ki, qurmuş dam xəlqin malına,
Mollasın gör hiyləvü təzviri külli – halına,
Hacısı tüksüzpərəstdir, baxma yoğun şalına,
Rövzəxanlar tüpürürlər bir – birinin yalına,
Bir – birilə bəhs edirlər, mən də sahibmənbərəm.**

Hakimlər korlar ilə necə rəftar eylər, xəstələrin çoxunu öldürürlər, çünki həkimlik elmindən kənardılar: sərraflar aləmi soyarlar, yalandan «şur» qoparar, şivən, and, aman edərlər, «jümlə növker babi» xalqın malını soyar, talayıb apararlar:

**Ol hakimlər bilmirəm mən neylər axır gur ilən,
Öldürürlər dəhr ara çox naxoşi dəstur ilən,
Aləmi sərraf soyar. Ağlar həmişə şur ilən,
Cümlə növker babi xəlqin malın alır zur iəln,
Dinməsən, söylər filan xan tövləsində mehtərəm.**

Şair hər kəsin öz sənətinə, peşəsinə uyğun olan cəhətləri ümumiləşdirilmiş şəkildə təqdim edir. Hər kəs öz mənziləsində tipik görünür. Bu təqdim – təsvir, müxəmməsin hər misrasında, hər bəndində öz ifadəsini tapır:

**Mərdəşurü gurgənlər heç kimi sağ istəmər,
Çuxaçı, börkcü, jorabçı ildə bir doğru demər,
Zərgərü dərziyü şalçı zad halal olsa, yemər,
Biimandır jümlə aşpəzü çilovpəz, nimpəz,
Söylərəm həcvin buların həşrədək əl çəkmərəm.**

**Ol palanduzlar tamamən xişdir Ləjjal ilə,
Ülfət etmiş siz dəxi, əlbəttə, həm dəllal ilə,
Heç müsəlman aşinalıq etməsin baqqal ilə,
Əttarı batman ilə alır, satar misqal ilə,
Bir dirəm hil, üç çərək kağız nədəndir, bilmərəm.**

Məhəmmədəmin Dilsuzun tənqidindən yaxa qurtaran olmur; baqqal, çörəkçi, əllaf, qəssab, başmaqçı, dabbaqçı, qapandar, misgər, sağrıduz, həkkak, tütüncü, mütrüb, dəllək, dərviş, nalbənd, nəqqaş və b. onun sərrast və tutarlı müşahidələrindən kənarlaşa bilməyib. Şair məhz ona görə bunları aləmə yazıb göndərmək istəyir ki, xalq əzab – əziyyət çəkməsin:

**Hamıdan bedzat misgər, sağrıduz, həkkakdır,
Sinif arasında tütüncü hamıdan napakdır,**

**Təbrizi bədnam edən həm mütrübü dəlləkdir,
Culfavü həlləkdir hər barədən bipəkdir,
İstəyəm bunu yazıb mən hər diyarə göndərəm.**

Dilsuzun ən məşhur mənzumələrindən biri də şeyxülislama müraciətlə yazdığı şeirdir. Dilsuz bu şeirində öz əhvalının çətinliyindən, güzəranının ağırlığından şikayətlənir:

**Qibləgaha, fələyin qəsdı dili – zardədir,
Aləmin qüssəsi bu xətiri – əfkardədir.**

**Günü gündən, bəli, ənduhü qəmmim artıq olur,
Bilmirəm bəxtdə, ya çərxi – cəfakardədir.**

Şair, dada yəndən, dad, aman istəyir. Nədir onun dərini bu qədər artıran, həyatına və ömrünə qəm – qüssə dolduran? Dünyanın hansı əzabıdır şairi bu qədər yandıran? Aşağıdakı beytdə bu məsələyə belə işarə vurulur:

**Mən ilə buğdanın aləmdə sən et divanın,
Gəgilə məndədi təqsir, o xunxardədir?**

Şair acılıqdan, yoxsulluqdan əzab çəkir. Şeyxülislama müraciət edərək, mətləbi obrazlı şəkildə ona çatdırmağa çalışır. Ədəbiyyatşünas F.Köçərli bu barədə yazır: «...Dilsuz öz yoxsulluğuna və ehtiyajda olmağına işarə edir. buğdanın sorağınja kəndə gedir, buğda qaçıb kəndlilərdə (buğda anbarlarında) gizlənir, şəhərə gəlir, tikili yüklərdə – çuvallarda əllafların anbarında ağzı bağlı görür və onu ələ gətirmək istəyir bağlıdır dirhəmi dinara o da şairdə yoxdur».

Niyə məhz Şeyxülislama müraciət edilir? Çünki o, islam təbliğatçısı və keşikçisidir. İslama görə, varı olanlar olmayanlara əl tutmalıdır. Şeyxülislamın da anbarında buğda var. Bəs onda bu necə şeyxülislamdır ki, hər an olanları görür, onlara əl tutmur?

**Necə muddəti əlimdən qaçıb ol zalımı – dun.
Tutmuşam indi sorağın, sizin anbardədir.**

**İltimasım budu səndən tutub ol səngdili
Verəsən bəndəyə, çün qəsdı – dili – zardədir.**

**Aparım mən də dəyirmanə onun başın əzim,
Dönməyim ta ki dəyirman, nə qədər kardədir...**

Şair ümitsizdir. Ona görə ki, elm sahiblərinə anbarları dolu olan müjtəhid, şeyxülislam əl tutajaqmı? Bədii həqiqəti real duyğularla çox obrazlı və bədii şəkildə əks etdirən Dilus satirik tənqid və ifşanın zəminini, onu doğuran səbəbləri lirik fonda verir:

**Canə yetişdim dəxi, dərdimə bir çarə qıl
Tanrı bilir gəlmişəm təngə bu məkkardən.**

**Gah aparıb bəndəni şövq ilə baqqal edər,
Gündə gərək dad edim bir para həmkadən.**

**Gah tütünçülüyə göndərdi min şövq ilə,
Gah qaçırdır məni məhsilü pakardən.**

**Gah dükandar edər, sən bilirsən bu sözü,
Həqq özü bizardır cümlə dükandardən...**

Buradan göründüyü kimi, şair çox işlərə baş vurub, çox yerlərdə işləyib, gündəlik ruzi, qazanj dalınca düşüb. Anjaq vəziyyəti heç düzəlməyib. Bütün bu səjiyyətlər jəmiyyətin daxili ziddiyyətlərinin inikasıdır. Zəmanə hikmət, elm əhlinə hörmət qoymur, söz əhli. Şair bütün əzab və məşəqqətlərin içərisində sıxılıb, əzilib, fəryad edib. Ən aşağı hədd odur ki, çörək tapa bilmir, onun üçün şeyxülislama üz tutur.

Məhəmmədəmin Dilsuz bütün bu mətləbləri bədii sözün gücü ilə, obrazlı və poetik cizgilərlə ustad bir sənətkar kimi təsvir edir, əsl səbəbkarı, zülm və ədalətsizliyi jəmiyyətin özündə axtarmağı təlqin edir. Oxucu üçün ən

aydın və təsirli məzmun, ifadələr seçir. Qəlb ağrısı çəkən hər bir insan bu halları keçirir. Şairin məharəti ondadır ki, o, ümumiləşdirmə güjündən məharətlə istifadə etmişdir.

Qəsidənin sonrakı beytlərindən məlum olur ki, Mirzə Əbülqasım qəbz verir ki, şair gedib buğdanı kəndxudadan alsın. Amma kəndxuda «dinü imandan» keçər, «çürük daridən» keçməz. Satirik hiddət və kinayə ittihamı çevrilir:

**Mirzə Əbülqasimi xalığı – aləm görüm
Hifz eləsəm cümleyi – afətü azardən.**

**Verdi qəbz kəndinin kəndxudasından alam,
Adı Məhəmmədəli Şimri – şimri sitəmkardən.**

**Mən belə gördüm onu dinü imandan keçər,
Keçməyəcəkdir yəqin bircə çürük daridən.**

**Əcz edərəm hər nə mən, fəidə verməz ona,
Yox xəbəri qeyrətü namusü hər ardən.**

Kəndxuda obrazındakı xarakter cəhəti müvafiq obrazlı ifadə və bənzətmələrlə təsvir edən şair, onun kimi amansız və qeyrətdən, namusdan uənar bir adam olmadığını söyləyir. Ən naqis bir tayfa olan erməniyə də eləsinin ürjəh olmasını rəva görmür:

**Onda bir üz görmüşəm, görməsin heç erməni,
Lütf ilə imdad əgər olmaya sərgardən.**

**Çörəyin çörəkçilər satar üç abbasiyə,
Evdə çörək yox, cibim pakdı dinardən.**

Şeirdə digər obraz qarıdır, şairin həyat yoldaşı. Onun tənə və qəzəbindən də rahatlıq yoxdur:

**Qarı da evdə girib kürsüyə hökm eylər:
Yoxdu pulun nisiyə alma bu bazadən.**

**Bildir ağa lütf edən buğdanı get al. Gətir,
Bişirim evdə, olum eymənlər uşaqdən**

**Bu iki söz eyləyib dəhrdə ajiz mənə,
Səndən utanır üzüm, şərm edirəm qaridən.**

Beləliklə, Məhəmmədəmin Dilsuz elə bir məqamın və məzmunun ifadəsini əks etdirməyə çalışmışdır ki, ümumən götürdükdə jəmiyyət. İnsanlar bu bələlərdən həmişə əzab çəkib, fəryad qoparıb. Şair ən tipik və ümumiləşdirilmiş fonda jəmiyyətin məzmununu əks etdirə bilmiş, tənqid və ifşa ilə öz sənətkar mövqeyini hər şeydən üstün tutmuşdur.

Məhəmmədəmin Dilsuz yaradıcılığının üçüncü əsas sahəsini dini məzmunlu qəsidə və növhələri, sinəzən və mərsiyələri tutur. Sovet ateizm rejimi Ədəbiyyatşünaslıqda məhz belə şeirlərinə görə Dilsuzu, onun kimi onlarla ustad şairləri tədqiqatdan kənarda saxlamışdır. Halbuki digər məzmunlu əsərləri kimi, Sinəzən, mərsiyə və növhələri ilə də Dilsuz qüdrətli bir şairdir. Xalq həyatı, onun ruhi aləmi təziyələrdə oxunan ağılarla. Matəm şeirlərilə həmişə bağlı olub. Dilsuzun şeirləri də bilavasitə xalq ruhunun qəmini və ağrısını ifadə edib. «Xeymədən» rədifli sinəzəni öz ifadəsinə, mənə və məzmununa. Təsir güjünə görə seçilir:

**Əzmi – meydan etdi çün şahı – şahidan xeymədən.
Çıxdı ərşə ol zaman fəryadü əfğan xeymədən.**

**Xeymə icrə ol zaman oldu qiyamət aşikar.
Bir – birə dəydi tamamilən əhli – beyti – dildikar.**

**Damənindən tutdular ol sərvərin xürdü kübar,
Qoymaq dışrə səni, ey şahı – dövrən, xeymədən.**

Mərsiyə və növhə bir janr kimi klassik Azərbaycan poeziyasında Səfəvilər hakimiyyəti dövründən geniş inkişaf tapıb. Şiəliyin haray və nifrətini ifadə edib. Məhərrəmlik təziyələrində xalq zülmə və zalıma, haqsızlıq və ədalətsizliyə qarşı nifrət və etirazını bununla bildirib, haqqın tapdalanması, zülmə üz – üzə gəlməsi çox böyük fəjriyyə və fəlakətlər törədir.

Kərbəla müsibətini, İmam Hüseyn şahidətini əzizləyən xalqın qəzəb və nifrəti məhz bu formalı şeirlərdə, əhvalatlarda öz ifadəsini tapmışdır. Mərsiyə və sinəzənlər “məzmunca bəzi məqamlarda ağıya yaxın olub qəm, qüssə, kədər, yas, ölümə bağlı motivləri özündə yaşadan» şeir forması kimi, öz forma və məzmununa, qayəsinə, ifadəsinə görə ağılardan fərqlənir.

Firudin bəy Köçərli Mərsiyə şeir-janrı forması haqqında dərşarkən məsələni janr məzmun-məna strukturuna-məzmun kodeksinə də diqqəti yönəldir:

«Konkret ədəbi forması olmayan mərsiyə Azərbaycan şeirinin müxtəlif şəkillərində yazılmışdır. Hər il keçirilən məhərrəmlik mərasimindən istifadə edən şairlər hiss və həyəjanlarını, bəşər və onun taleyi haqqında düşüncələrini xalqa çatdırmaq üçün bu ədəbi növə üstünlük vermiş, Kərbəla fəjriyyəsi kimi tarixi hadisələrə müasir rəng verməklə dinləyicini və oxucunu düşündürməyə çalışmışdılar».

Məhəmmədəmin Dilsuz ana dilində-Türk dilində yazdığı qəsidə növhə və sinəzənləri xalq arasında geniş yayılmışdır. Onun peyğəmbər (s.ə.v.) haqqındakı mədhləri, Əli İbn Əbu Talibin (ə) şənində dediyi şeirlər, habelə «ən gözəl şivədə və rəvan dildə yazılan» (Firudin Köçərli) «Hədisi – mərdi – qəssab» hekayəti öz bədii keyfiyyətləri, üslubu ilə də seçilir.

II. MƏHƏMMƏDƏMİN DİLSUZ YARADICILIĞINDA KLASSİK POETİZM VƏ YENİ İFADƏ LİRİZMİ

Dilsuz klassik üslubda və yeni mövzu, məzmun və ideya təqatində yazan şairdir. Onun yaradıcılığı məzmun və qayəsi, ideyası ilə bərabər, bədii xüsusiyyətləri ilə də rəngarəngdir. Lirizm Dilsuz yaradıcılığının əsas cəhətidir. Burada dörd lirizm növü vardır:

- 1- aşıqanə lirizm; 2- mərsiyə, sinəzən, bayatı, qəzəl lirizi;
- 2- 3- təsviri lirizm; 4- satirik ifadə lirizmi.

Aşıqanə lirik şeirin qəzəl forması klassik poeziyamızın əsas janrlarından biri olub. Qəzəl yazmaq şairdən ustalığ tələb edir. XIX əsrin birinji yarısında xalq şeiri tərzi ilə paralel inkişaf edən klassik üslub, klassik ənənələr Dilsuzun da yaradıcılığında əsas xəttidir. Onun qəzəlləri, hər şeydən əvvəl, sadəliyi, dilinin aydınlığı ilə

fərqlənir. Məsələn, “Könül” rədifli qəzəlinə şair sadə ifadə və deyimlərlə məzmun və ifadə baxımından diqqəti çəkən mənalar verə bilmişdir:

Zülfün düşəndə yadə, pərişan olur könül,

Ləli – ləbin xəyalı ilə qan olur könül.

Buradakı ifadələr klassik poeziyadan tanışdır. Amma Dilsuz bu ifadələri obrazlı, məjazi tərzdə işlədərək yeni məzmun yaratmışdır: zülf həmişə pərişan, dağınıq olar, ondandır ki, sənin zülfün yada düşəndə könlüm pərişan olur, sıxılır, narahat olur. Bu pərişanlıq daha bir hal artırır: ləli – ləbin rənginə uyğun hala düşür könül: yəni qan rəngində olur, bu əzab və ağrının rəngidir.

Qəməzən oxun atanda kamal qaşdan keçir,

Zənbur xanəsi kimi şan – şan olur könül.

Hərdəm görəndə bağda ol sərv qəddini.

Bixud sənin dalınja xuruman olur könül.

Ruyun xəyalı ilə yatıb xab eyləsəm,

Xəlvətgahi – vüsaldə mehman olur könül.

Dilsuza lütf üzüylə əgər eyləsən nəzər.

Muri – həq olsa, Süleyman olur könül.

Sənin qəməzən oxun o qədər incə və sərrastdır ki, hətta qaşdan (üzük qaşından) keçir və bu qəməzə arı xanəsində təhlükə baş verərkən nə qədər qaynaşma, narahatlıq, təlaş olursa, mənim könlüm də o cür şan – şan olur. “Şan – şan” olur xalq dilində tez – tez işlənmiş ifadədir: “bağrım başın şan – şan etdi”, yarıq – yarıq, kəsik – kəsik, yara mənalarına yaxın olub daha injə və konkret məzmun ifadə edir.

Qəzəldə bədii-poetik axın və tutum lirik və emosionaldır. Bədii kontrast – antonimlik məjazi xüsusi yer tutur: bağda sərv qəddi – xiffətdən xuraman olmaq, xəyalla yatıb – yuxuda mehman olmaq, xəlvət vüsaldə olmaq –

xəyala uyğundur, əgər Dilsuza lütf gözüylə nəzər eyləsən, həqir qarışqa olsa da, könüldə Süleymandır. Burada qarışqa ilə Süleyman mülkü bənzətməsi rəmzi və poetik məna – məzmunu yeni poetik rənglər vermişdir. Başqa bir qəzəlində də bədii rəmzlərdən, müqayisə və tutuşdurmalarından məharətlə istifadə edən Dilsuz sözün məna və ifadəsindəki lirizmdə üslubi – ifadə injeləmələri yaradır:

**Dilbərim, Leyli yəqin sən kimi məstanə deyil.
Qeys aləmdə bu gün mən kimi divanə deyil.**

**Gərçi bu aləm ara çox gözəlin şöhrəti var,
Baxıram, hər birisi sən kimi dürdanə deyil.**

**Hər könül kim, sənin eşqində olub viranə.
Yeməsin qəm o könül, gənjdə, viranə deyil...**

Qəzəlin bu hissəsinə kimi şair öz gözəlinin vəsfini verir: bu vəs indiyədəyk dəfələrlə işlədilmiş ifadələr əsasında yaradılsa da. Sözlərin işlənmə məqamını, üslubi axarına, simvolik tutumuna, rəmzi açımına görə yeni məna və bənzətmələrlə yeni və poetikdir. Aşiq vurğunluqda və divanəlikdə Qeysdən üstündür. Bu halda, sevgili (məşuqə) də məstanəlikdə, aşiqə vurğunluq bəxş etməkdə, onun əqlini başından almaqda, aşiqin özünü özündən xəbərsiz etməkdə Leylidən üstündür.

Məna və üslubi bağlılıq beytin məzmununa genişlik gətirmişdir. Bu dünyada çox gözəllərin məharəti yayılıb, lakin, mənim gözümdə onların heç biri sənə bərabər deyil; «dürdanə olmaq şərəfi ancaq sənə nəsibdir».

Sonrakı beytdə şair “viranə” sözünün məna çalarını genişləndirmiş, «gənjdə» sözü ilə qarşılaşdırmaqla yeni məna ifadə etmişdir. Yəni sənin eşqinlə könül nə qədər viran olsa da, xaraba qalsa da, darmadağın edilsə də, bu qəm deyil, çünki bununla, bu eşq və məhəbbət dünyasıyla o, viranə, xara ba deyil, gənjdə – xəzinədir.

Qəzəlin ikinci hissəsində məşuqə ilə aşiq arasındakı ruhi bağlılıqlara mane olajaq aşıqlər yada salınır:

**Dolanım başına, öz əhdini inkar eləmə.
Hər kim öz əhdini inkar edə, mərdanə deyil.**

**Basa gör bağına məşuqəsini aşiq gejlər,
Eybi yox bundan ötrü, dostundu, biganə deyil.**

**Olsa hər kimdə riya, yoxdu xərabata yolu,
Hiyləvü rizqü rıyanın yeri meyxanə deyil.**

Aşiqlik – uca mərtəbədir, əhdi inkar eləmək mərdanəlik deyil. Vəfadan kənar olanlar eşq yolunun yolçusu ola bilməzlər.

Qəzəlin üçüncü hissəsində hiylə yolunda olub, sözü ilə əməli arasında vəhdət olmayan “zahidlər” tənqid edilir.

**Zahidin baxma kələmdən yekə əmmaməsinə,
Məscidi qəsb eləyib, qabili bütxanə deyil.**

**Saxlayıb hiyləvü təzvar kəməndin əldə,
Salajaq boynuna, bil, səbhayı – səddanə deyil.
Sayma əfsanə mənim sözlərim, ey məhvəşim,
Pəndi Dilsuzu eşit, həqqdir, əfsanə deyil.**

Dilsuz bədii ifadənin obrazlılığına diqqət yetirən şairdir. Obrazlılıq, sözün və ifadənin özünə məxsus aydın üslub və dildə poetik düzümü üçün şair məjazlardan, misra və sözlərə xüsusi yatım verən intonasiyalardan bacarıqla istifadə edir. “Nədir?” rədifli qəzəli bədii sual və bədii – poetik cavab qarşılaşması üstündə deyilib:

**Eşq Məcnun eləyib saldı məni səhralara,
Bilmədim, Məcnun nədir, Leyli nədir, səhra nədir?**

**Güldə nə hüsni – tərəvət, ya nədir bülbüldə şur,
Gül nədir, gülşən nədir, ya bülbülü – şeyda nədir?**

Məhəmmədəmin Dilsuzun qəzəl dili aydın və sadədir. Bu sadəliyi çox vaxt o ahəng və təqtin nizamı ilə də cilalayır. Məsələn, aşağıdakı qəzəldə səslərin və ifadələrin bir – birini izləməsi xüsusi ritm yaradır:

**Ey məh, nolu, bir bax mənə sarı, səni tarı,
Salma nəzərindən məni – zarı, səni tarı.**

**Əğyar ilə yar olmagilən, durma, oturma,
İnjitmə məni – zarı, fikarı, səni tarı.**

**Gül arizinin aşiqiyəm, ey məhi – xuban,
Həmdəm özünə eyləmə, xari, səni tarı.**

Şeirdə qafiyələnmə iki qatdır: birinci qatı qədifdən (səni tarı) əvvəldir, ikinci qat rədifin qafiyəsidir. Şeir bu hissəsinədək injə səslər deyil, qalın səşələr qafiyəni öz üstünə çəkib, yəni qafiyədə əsas ahəng qalın səslərin üstünə düşüb.

**Bir fəsldi bu, hər kim içə badeyi – gülrəng,
Dildən götürər zəngü qubarı. Səni tarı.**

**Pərvanəsifət başına hər ləhzə dolanım,
Tərk etməgilən məskəni barı, səni tarı.**

Bu qəzəldə qafiyə və bölgünün daha bir məxsusi qatı var: misranın əvvəlində injə səslər, ikinci yarısında qalın səslər ahəng yaradır:

**Hər bisərü bipayilə gəl, eyləmə ülfət,
Pamal eləmə qeyrətü arı, səni tarı.**

**Naz ilə keçib, bəndəyə xəsmanə baxanda.
Bir kəlmə danışdır məni – yarı, səni tarı.**

**Gəl görmə rəva aşiqi Dilsuza ki. hərdəm
Mənsursifət çəkdirə dara, səni tarı.**

Dilsuz Mövlana Məhəmməd Füzuli ədəbi məktəbinin ustalarından biri kimi lirik şeirin ahəng və ritmini öz qəlbinin və ruhunun səsi ilə dilləndirir. O şeirə vəzn, qafiyə qəlibindən deyil, ifadə edəcəyit mənə və məzmunun, ideyanın meyarından xüsusi qiymət verir. Ona görədir ki, elə məzmun və ideyalar vardır ki, onları adijə qəzəl, lirik şeirin ölçüsü miqyasından təsvir etmək mümkün deyil.

Məsələn: “Olmaz” rədifli şeirindəki mənə və məzmunə məxsus olan ahəng gərək idi və şair bu ahəngi ağı – bayatı ruhu üstündə qurmuşdur. Baxmayaraq ki. bayatının heja ölçüsü yeddidir, bu şeirdə isə ondur, amma şeir təsir güjü, ifadəsinə görə xalq ağısı təsiri bağışlayır:

**Ya rəb, bu nə qəmdi, çarə olmaz.
Bir çarə bu ahü zarə olmaz.
Hər il düşər aləmə bu vəhşət,
Aləmləri yandırır bu möhnət,
Hər il olur tazə bu müsibət,
Hərgiz əsəri – şərərə olmaz.**

Misralarda xüsusi sözlərin təkrarı mənanın təsir güjünü artırır, şeirə avaz gətirir:

**Çox bacı çəkib fəğan, açıb baş,
Çox bacı görübdü mərki – qardaş,
Çox bəzi tökübdü didədən yaş,
Zeynəb kimi bəxtiqarə olmaz.**

Başqa bir bənddə “toy”un fənaya düşməyi, şamın qara olmağı, toyun məhz Kərbəladə olmağı məzmunun bədii təsirini daha da artırmışdır:

**Çox toylar olubdu bu fənədə
Çox şəm olub qara, ziyadə,
Qasım da toy etdi Kərbəladə,
Bir böylə toy heç fikarə olmaz.**

Sonuncu bənd ahəngə və ritmə yekun vurur: «bu dərdə özgə çarə olmaz» misrası daha bir qüvvətləndirici amil olur:

**Dilsuz, gəl eylə ahü əfğan.
Doldurdu cahanı cürmü üsyan,
Qeyr bu əzadə ağlamaqdan
Bu dərdə bir özgə çarə olmaz.**

Təziyənin mənasına uyğun olaraq, müsibətə yas tutmaq, onu yad etmək üçün ağlamaq bir çarə hesab edilmişdir ki, bu da şeirin ümumi üslubi axarına daha bir qüvvət vermişdir.

Səslərin və sözlərin təkrarı, bir – birini izləməsi xüsusiyyəti Dilsuzun başqa canrlarda yazdığı şeirlərində də vardır. “Gərək” rədifli yeddiliyi bu cəhətdən xarakterikdir:

**Görmədim heç aşınadə zərrə sifət, həq bilir,
Məhz dildir əxzi – əklü şürbü şöhrət, həq bilir,
Çoxların yolunda çəkdim jövrü möhnət, həq bilir,
Qalmayıb bir para kəsdə buyi – qeyrət, həq bilir,
Hər kəs ilə eyləsən bir ləhzə ülfət, həq bilir.
Görmədim axır vəfasın qeyri – töhmət, həq bilir.
Lalə nisbət dəhr ara bu bağı qan etmək gərək.**

Göründüyü kimi, şeirin hər bir misrasının qafiyə, ahəng tutumu var; hər bir misranın yarı (sonuncu) hissəsi qafiyələnməyə bənddir, yəni ona bağlıdır. İlk baxışda belə görünə bilər ki, əsas diqqət qafiyəyə yönəldilmişdir. Xeyr, hər bir məna, hər bir məzmun bir – birinə bağlanan misralar və onların ölçüsü, üslubu, təqti daxilində tam açıla bilər.

Məhəmmədəmin Dilsuz da bu xüsusiyyətə geniş mənada əhəmiyyət vermiş, zəmanə adamlarının xarakterindəki batili mahətlərə uyğun üslubda öz fikirlərini ifadə etmişdir. Nədir bu uyğun üslub? Birincisi, qəzəb və hiddətdir. İkincisi, satirik eyham, rişxənddir. Bu üslubi təqtlərinə görə, Məhəmmədəmin Dilsuzun üslubunda əsas keyfiyyətlərindən biri də axıcılıqdır.

Epik məzmunu ilə xarakterik olan “Hədisi – mərdi qəssab” adlı mənzum hekayətində də bu axıcılıq var:

**Gah əyan eyləyən zimistanı,
Gah fəsli – bahar edən inşa.**

**Gah salan dəştə məsnədi – kafur,
Gah tökən bəhrə ləleyi – lala.**

**Şəkəri neydən eyləyən jari,
Səniddən abü abdən xara.**

**Növi – insani hər şərəfdə
Sairi – xəlqdən edən qərre...**

Firudin bəy Köçərli Dilsuzun poetika özəlliklərini nəzərdə tutub yazırdı: “Bu şeirlər Dilsuzun təbinin ziyadə rəvan və mövzui olmağına aşikarən şəhadət verir və “Hədisi – mərdi qəssab” axıra kimi belə açıq və rəvan dil ilə yazılıbdır ki. oxuyanlar artıq dərəcədə müstəfil olurlar”.

Tədqiqatçıya görə, «Hədisi – mərdi qəssab» mənzum hekayəti ən gözəl şivədə və rəvan dlildə yazılan» bir əsərdir.

Məhəmmədəmin Dilsuz Dilsuz rəvan təbə və obrazlı ifadə qüdrətinə malik olan bir şair kimi müasirləri içərisində xüsusi hörmətə layiq olmuş, «ustad» ləqəbini almışdır. Şeir – çətin və hikmət tələb edən sənətdir. Bu sahədə ustad sənətkarların, şeirşünasların hörmətini qazanmaq, şübhəsiz ki, daha çətinidir. Dilsuz bu keyfiyyəti məhz şeirlərindəki, lirizmindəki poetik məxsusluq hesabına qazanmışdır. XIX əsrin birinji yarısında qəzəlin üslubunda belə aydınlıq, ifadələrini daha anlaşıqlı, xalq deyimləri tərzində demək – Dilsuz ilhamının güjündən xəbər verirdi:

**Qoydu məni bu dəhrdə avarə gözlərin,
Saldı məni bu qəmlərə ol qarə gözlərin.**

**Ey gül, işim olub gejdə – gündüz fəğan mənim,
Bülbülsifət gətirdi məni zarə gözlərin...**

Bir baxmaq ilə aldı əlimdən qərarımı.

Saldı məni bu bəstəri – bimarə gözlərin.

Səbrim alıb, tükəndi qərarım hərayü hay.

Dilsuza getdi dəhərdə zinharə gözlərin.

Klassik şeirin hər bir canrının özünəməxsus xüsusiyyətləri vardır. Hər canr öz poetikası, bədiiliyi, ifadə imkanları ilə digər canrlardan fərqlənir. Qəzəl və qəsidədə uğurlar qazanan Dilsuz dördlük və müxəmməslərinə, yeddiliyində də xüsusi sənətkarlıq nümayiş etdirmişdir. Müxəmməs bir canr kimi ifadə və üslub tərzinə görə fərqlidir. Dilsuz müxəmməs canrında epik təəssürat, lirik – epik ifadəlilik vermiş, məna və ideyanı qabarıq şəkildə çatdırı bilmişdir:

Dülgərü xarratlar yonulmayıbdır heç biri,

Qalmasın Təbrizdə, ya rəb, bir nəfər kejpəz diri,

Ol dəyirmançıların yoxdur bu dünyada yeri,

Dən verərsən, aparar, dartarlar yarmatək diri.

...yemişəm axırda aləmdə mən bir də dən verəm.

Əlbəttə, hər bir misrada ayrı – ayrı xarakterləri ifadə etmək çətindir. Dilsuz buna bədii yığjamlıq və konkretliklə. Sözdən az və məharətlə istifadə etməklə, sözün qədir – qiymətini yüksək tutmaqla nail olmuşdur. Məna və məzmunja geniş, poetika baxımından yığjam və dəqiq olan müxəmməsin bədii – üslubi ahəngi lirizmlə epik səjiyyənin birləşməsi nəticəsində dolğunlaşmışdır:

Zurxanə əhlinin vəsfən sizə eylim bəyan,

Qırxı bir dumbəklə oynar, yəni işlər pəhləvan,

Şişəkərü camadərdən əql ummun, siz, aman,

Suçilərdən (siz) soruşmun bir nədir dinü iman,

Məhkəmə şagirdlərinin hamısına çəkərəm.

Poetika özəlliyinə görə, Məhəmmədəmin Dilsuzun yaradıcılığı bir neçə istiqaməti ilə, xüsusilə, məzmun və forma, üslub baxımından üç sahədən dolğundun:

- lirikası ilə;
- zamanə və zamanə adamlarının tənqid və ifşasını verən satirik şeirləri ilə;
- mərsiyə, sinəzən və növhələri ilə.

Ustad Məhəmmədəmin Dilsuzun yaradıcılığı öz janr və məzmun, ideya xüsusiyyətlərinə görə, XIX əsr Azərbaycan poeziyasının nadir incilərindəndir. O, klassik poeziyanın yeni dövr üçün bədii – üslubi imkanlarını genişləndirmiş, hər şeydən əvvəl şeir dilini xalq ruhu və həyatı düşüncəsi ilə əlqələndirə bilmişdir. Onun lirikasında obrazlı ifadə və poetik düzüm əsas üslubi keyfiyyətə çevrilmişdir. Qəzəlin forma və məzmunu klassik ənənələr daxilində qorumaqla. Böyük Füzuli ənənələrini davam etdirməklə yeni yaradıcılıq üföqləri yaratmışdır.

Dilsuz poeziyanı janr imkanları daxilində yeni ovqatla yükləmişdir. O, mərsiyə və sinəzənləri, qəsidələri, müxəmməs və dövrüdlükləri ilə ən aydın və tutarlı üslubu bir daha yeni mizanlarla zənginləşdirmişdir. Müasirləri içərisində satirik – üslubu mövqeyi ilə də fərqlənmişdir. Dilsuz zamanə adamlarının xarakterini nəzmsə çəkərkən öz poeziyasını da yaradırdı və poeziyada üslubi ovqatı, lirizmi qoruyub saxlamaq bəjarığı onun yaradıcılığının bədii qüdrəti idi.

Onun dili aydın və sadədir. O yazdığa hər bir şeiri xalq məjlislərində anlaya biləcəyi səpgiyə salmışdır. Onun qəzəl və qəsidələri, sinəzən və növhələri öz poetik yatımı, sərrastlığı ilə oxuju və dinləyiji məjlislərində hörmət qazanmışdır.

NƏTİCƏ

Məhəmmədəmin Dilsuz XIX əsr Azərbaycan poeziyasında özünəməxsus imzası, yeri olan şairdir. XIX əsr Azərbaycan ədəbiyyatı zəngin və genişdir. Mövzu və ideya, canr baxımından da yeni keyfiyyətlər əldə etmişdir. Eyni zamanda bu dövrdəki şairlərin, sənətkarların sayı digər yüzilliklərə görə ayrı – ayrılıqda götürsək şairlərin sayından artıqdır. Belə bir mühitdə, belə bir dövrdə bir şair, sənətkar kimi mövqe qazanmaq, «ustad» ləqəbini almaq hər şeydən əvvəl böyük istedad və bəjarıq tələb edirdi. Dilsuz bir sənətkar, şair kimi bu ada layiq olmuş, öz şair, sənətkar mövqeyini yarada bilmişdir.

Dilsuzun yaradıcılığı janr, məzmun və ideya baxımından rəngarəngdir. Hər şeydən əvvəl, o, lirik şairdir. Klassik ənənələr – klassik canrlar daxilində Dilsuz özünəməxsus yaradıcılıq yolu keçmişdir. Onun lirikası məzmun və formasına görə, bədii ifadə xüsusiyyətlərin əsasən bu yaradıcılıq yolunda ayrışa xətdir.

Qəzəl və qəsidələrində bədii ifadənin, sözün məna tutumuna, ideyasına xüsusi diqqət vermişdir. Lirik – Dilsuz yaradıcılığının canr, poetik növ baxımından birinci sahəsidir.

Hər janrın özünəməxsus ifadə prinsipi var. Qəzəl məhəbbət və sevgi məzmunu daşıyır və bu canrda Dilsuzadək minlərlə şeirlər yazılmışdır. Dilsuz Füzuli ədəbi məktəbinin ən layiqli davamçılarından biri kimi, qəzəldə öz aydın və sadə ifadələri ilə aşiqin hiss və həyəjanlarını, ağrısını, dərini lirik bədii üslubda əks etdirmişdir.

Müəmməsində ictimai – sosial məzmunu meydana vermiş, adamların daxili aləmindəki naqislikləri tənqid etmişdir. Hər peşə sahibi, hər zümrə və təbəqədə ən inə xarakteri ilə, əməli ilə tənqid meydanına çəkilir. Obrazlılıq, bədii yığcamlılıq, sadə üslub Dilsuz yaradıcılığını xarakterizə edən jəhətdir. Ümumiləşdirmə və tipikləşdirmə ictimai məzmunlu şeirlərində daha qabarıqdır.

Məhəmmədəmin Dilsuz XIX əsr Azərbaycan ədəbiyyatında öz meydanı olan şairdir. Onun şeirləri yüz ildir ki, bütün qadağalar və məhrumiyyətlər jəmiyyətində olsa da, xalq məjlislərində oxunmuş, dillərdən düşməmişdir. Dilsuz geniş ədəbi aləmə malik şairdir. Onun yaradıcılığı geniş elmi tədqiqat tələb edir.

ƏDƏBİYYAT

- 1. F.Qasımzadə. XIX əsr Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi. Bakı Azərbaycan Universiteti nəşriyyatı, 1956.**
- 2. F.Köçərli. Azərbaycan ədəbiyyatı. İki cildə, I cild, Bakı, “Elm” nəşriyyatı, 19813. F.Köçərli Azərbaycan ədəbiyyatı. İki cildə, II cild, Bakı, “Elm” nəşriyyatı, 1981**
- 4. Məhəmmədəmi Tərbiyət. Danışməndani – Azərbaycan. Azərbaycanın görkəmli elm, sənət adamları. Azərnəşr, Bakı 1987**
- 5. Azərbaycan Sovet Ensiklopediyası, III cild, Bakı 1978**
- 6. Necə qan ağlamasın daş bu dün (mərsiyələr, sinəzənlər, qəsidələr), Bakı, “Yazıçı”, 1993**
- 7. Cənubi Azərbaycan antologiyası. I cild, Bakı, “Elm” nəşriyyatı, 1981**

THE ORTHOEPIC SYSTEM OF MODERN AZERBAIJANI: PHONETIC LAWS, NORMATIVE DIVERGENCES, AND CODIFICATION STANDARDS

Guler Suleymanova

Lecturer at the Department of Azerbaijani Language and Technology of Its Teaching,
Azerbaijan State Pedagogical University

ABSTRACT

This paper presents a systematic and exhaustive investigation into the orthoepic rules and normative principles governing the modern Azerbaijani literary language. Orthoepy—the standardized system of correct pronunciation—plays a vital role in maintaining the structural integrity, phonetic harmony, and communicative clarity of spoken discourse. This study examines the core phonetic processes that create divergences between orthography (*yazılış*) and orthoepy (*deyiləniş*), including vowel assimilation, elision, consonant lenition, voicing, and stress dynamics. Furthermore, the paper analyzes the impact of dialectal variation and global loanword integration on pronunciation standards, while evaluating the modern codification efforts executed by the Nasimi Institute of Linguistics at the Azerbaijan National Academy of Sciences. Through an interdisciplinary framework combining acoustic phonetics and prescriptive linguistics, this research provides a definitive guide to the orthoepic mechanics of contemporary Azerbaijani.

Keywords: *Azerbaijani language, orthoepy, orthoepic norms, phonetics, vowel harmony, consonant assimilation, stress, codification.*

Orthoepy (*from the Greek orthos – correct, epos – speech, word*) is the set of standardized, socially accepted, and mandatory pronunciation rules established in the spoken branch of a literary language. Like every developed national language, modern literary Azerbaijani operates in two distinct forms: written and spoken. Just as orthographic rules ensure the stability of written language, orthoepic norms regulate the refinement, unity, and intonational proportion of spoken discourse. In linguistics, orthoepy is not merely a technique for "reading or speaking correctly"; it is an essential scientific category reflecting the internal laws of a language's phonetic system, vowel harmony, consonant interactions, and stress dynamics. In the contemporary era—characterized by the rapid expansion of mass media (television, radio, podcasts), theater, cinema, public speaking, and digital communication—preserving and precisely studying orthoepic norms holds paramount importance. Although the orthographic system of the Azerbaijani language is primarily based on the **phonetic principle** ("writing as you pronounce"), there is not, and cannot be, a complete identity between spelling and pronunciation. If the spoken language were pronounced exactly as it is written, speech would become artificial,

overly complex, and reduced to mere "letter-by-letter reading." Divergences between orthoepy and orthography stem from the following objective factors:

1. **The Economy of Effort Principle (*Physiological Ease*):** Speech organs tend to expend minimal energy during pronunciation.
2. **Phonetic Processes:** Phonetic phenomena such as assimilation (gaining similarity), dissimilation (gaining difference), elision (sound dropping), prothesis, and epenthesis (sound addition) occur in live speech rather than in script.
3. **Historical-Etymological Factors:** Although the spelling of Arabic, Persian, and European loanwords may retain source-language conventions, their pronunciation is adapted to the phonetic laws of Azerbaijani.

The Azerbaijani language possesses 9 vowel phonemes (*a, e, ə, i, ı, o, ö, u, ü*). The pronunciation of vowels within words and across word boundaries adheres to strict orthoepic rules.

The orthoepy of words containing adjacent vowels is closely linked to the evolution of orthographic rules:

Homogeneous double vowels: In words containing identical double vowels (*saat, maaş, bədii, təəssüf*), both vowels are retained in writing, but in pronunciation, one vowel drops while the other is **lengthened**:

1. *saat* → [sa:t]
2. *maaş* → [ma:ş]
3. *bədii* → [bədi:]
4. *təəssüf* → [tə:ssüf]

Heterogeneous double vowels: In words containing vowel combinations such as *aə, əa, eə, iə, ıə, ıə, a* transitional linking consonant [y] is inserted during speech:

1. *aillə* → [ayilə]
2. *stansiya* → [stansiya]
3. *teatr* → [teyatr]
4. *müəllim* → [mü'əllim] (Note: According to modern orthoepic standards, vowel elision no longer occurs in *ü-ə* combinations like *müəllim, müəyyən, şücaət*; they are pronounced as [müəllim]).

3.2. Pronunciation of Long Vowels

Native Azerbaijani words (with very few exceptions) do not possess long vowels. Long vowels are characteristic of Arabic and Persian loanwords. The vowels *a, e, ə, i, o, u* are pronounced long in certain words (*alim* [a:lim], *elan* [e:lan], *fəzilət* [fəzi:lət]).

Note: The vowels **I** and **Ü** are generally not pronounced long in Azerbaijani.

The pronunciation of consonants represents the richest and most complex domain of Azerbaijani orthoepy. The voiced consonants **b, c, d, g** occurring at the end of a word are devocalized and pronounced as their voiceless counterparts when the word stands alone or is followed by a word starting with a **consonant**:

1. *kitab* → [kitap]
2. *kənd* → [kənt]
3. *ağac* → [ağaç]
4. *pədaqoq* → [pədaqok]

However, if followed by a word or suffix starting with a **vowel**, the root-final voiced consonant retains its original voicing:

1. *kitab oxumaq* → [kitab oxumaq]
2. *kənd evi* → [kənd evi]

. Pronunciation Contexts of Letters Q and K

Pronunciation Contexts for 'Q':

1. Word-initially: Pronounced as [q] (*qələm* → [qələm]).
2. Between two vowels: Shifts to [ğ] (*qonaqlar* → [qonağlar] is avoided, but *qonağa* → [qonağa]).
3. Word-finally: Pronounced as a voiceless velar/uvular fricative [x] (*bulaq* → [bulax], *qatıq* → [qatox]).
4. Preceding or following a voiceless consonant: Pronounced as [k'] (*nöqsən* → [nök'sən]).

Pronunciation Contexts for 'K':

1. In native words with front vowels: Yields a palatalized [k/y] or [x'] sound (*çiçək* → [çiçəx'], *kəpənək* → [kəpənəx']).
2. In European/Russian loanwords: Pronounced as a hard [k] (*klub* → [klub], *kassa* → [kassa]).
3. Between two vowels: Shifts to [y] (*çiçəyə* → [çiçəyə]).

C-Ç and D-T Assimilation:

- *otdan* [ottan] (the consonant *d* following a voiceless consonant devocalizes to *t*).
- *itdir* \ [ittir].

N-to-M Nasal Assimilation Before B and P:

- When **nb** or **np** letter combinations occur within a word, **n** is pronounced as [m]:
 - *günbəz* \ [gümbəz]
 - *sünbül* \ [sümbül]
 - *anbar* \ [ambar]

Specific orthoepic rules apply during the pronunciation of grammatical suffixes:

Suffix Construct /	Written Form	Orthoepic Realization	Example
Lən / Lan Suffix	<i>-lən, -lan</i>	[dən], [dan] / [mən], [man]	<i>ruhlanmaq</i> → [ruhdammaq] / [ruhdanmax]
Plural Suffix	<i>-lar, -lər</i>	[rar], [rər] / [nar], [nər] / [dar], [dər]	<i>qarlar</i> → [qarrar], <i>oğlanlar</i> → [oğlannar], <i>atlar</i> → [atdar]
Ablative Case	<i>-dan, -dən</i>	[nan], [nən]	<i>atamdan</i> → [atamnan]
Professional Suffix	<i>-çi, -ci, -çu, -çü</i>	[ç'i]	<i>neftçi</i> → [neftçi]

The Azerbaijani language possesses a rich dialectal landscape (Eastern, Western, Northern, and Southern groups). While each dialect features unique phonetic characteristics, literary orthoepy relies on a **supra-dialectal theoretical and practical standard**. Codification Efforts: The codification and official regulation of orthoepic norms in the Republic of Azerbaijan are executed by the Nasimi Institute of Linguistics at the Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS). Officially approved Orthoepic Dictionaries and Guidelines eliminate phonetic ambiguity and maintain national standards. Primary principles of modern orthoepic codification:

1. **Unification:** Selecting a single standardized realization from various spoken alternatives.
2. **Mass Media Standardization:** Eliminating dialectal deviations in broadcasting, journalism, and public rhetoric.
3. **Assimilation of Foreign Terminology:** Harmonizing international loanwords with native Azerbaijani articulatory habits.

CONCLUSION

Azerbaijani orthoepy is a dynamic system backed by rich historical traditions and precise phonetic laws. Core mechanisms—such as vowel harmony, consonant assimilation, word-final devoicing, and vowel length constraints—endow spoken Azerbaijani with its characteristic musicality and expressive clarity. Mastering orthoepic norms and applying them faithfully in daily speech is essential for educators, public figures, media professionals, and scholars alike. Preserving orthoepic accuracy ensures that national identity and linguistic heritage are passed down flawlessly to future generations.

REFERENCES

1. Abdullayev, Ə. Z. (2008). *Müasir Azərbaycan dili: Fonetika* [Modern Azerbaijani language: Phonetics]. Baku: Maarif.
2. Axundov, A. A. (1981). *Azərbaycan dilinin fonetikasi* [Phonetics of the Azerbaijani language]. Baku: Maarif.
3. Nasimi Institute of Linguistics, ANAS. (2021). *Azərbaycan dilinin orfoepiya lüğəti* [Orthoepic dictionary of the Azerbaijani language]. Baku: Elm.
4. Cəfərov, N. Q. (2002). *Azərbaycan ədəbi dilinin tarixi* [History of the Azerbaijani literary language]. Baku: Elm.
5. Həsənov, H. A. (2005). *Müasir Azərbaycan ədəbi dili və nitq mədəniyyəti* [Modern Azerbaijani literary language and speech culture]. Baku: Baku University Press.

THE ORIGIN OF MONGOLIA CHOIR

Sereenen Altan-Uya

Doctor of Arts./ Ph.D./

Abstract

This article discusses the origin and development of Mongolian choir, the factors that influenced the emergence of that choir, and the composers and conductors who played a key role.

Main part:

Origin of the choir:

A choir (/kwaɪər/ KWIRE) is a musical ensemble of singers known as a choir or choir (from the Latin choir, meaning "dance in a circle"). Choir music, in turn, is music written specifically for such an ensemble, or, in other words, music performed by an ensemble. Choirs may play music from the classical repertoire of medieval music to the present day or from the repertoire of popular music. Most choirs are led by a conductor, who directs the performance with hand and facial movements. The term "choir" is often used for groups associated with a church (whether or not they occupy a space), while a choir performs in a theater or concert hall, although this distinction is not rigid. Choral songs can be sung without musical instruments or with piano, accordion, trumpet, small ensemble, or orchestra. Since ancient times, when people began to work together and live together, it is clear that they have felt the grandeur and beauty of singing together in their daily work, joy, and festivals. Although this is not called a choir, it can be considered the origin of later choirs. In the folk songs of any nation, polyphonic singing has been considered a type of musical art and has been called differently. For example: in Western Europe, the Slavs (kolyadka), in England (carol), in American blacks (spiritual), in Mongolia (Turleg), etc. Polyphonic singing has historically been distinguished as folk, church, civil, professional, etc. Ancient history and archaeological evidence indicate that polyphonic singing was widely used in folk and religious ceremonies in countries such as Babylon and India. For example, as early as 1000 BC, the Hebrews sang a hymn to their king David, consisting of a 300-person choir, wind instruments, and other instruments. It is believed that the ancient Greeks and later the Byzantine Empires made a significant contribution to the development of polyphonic music.

The development of the choir in the Western Church began in earnest between 900 and 1100 AD. At this time, the Gregorian chant, sung in a single voice, became widespread, which marked the beginning of the mass, a type of church choir. From the Middle Ages, the organum, an early form of polyphonic music, began to

appear. The strong influence of the choir on people was reflected in the fact that Western churches began to use it extensively in religious music and worship.

By 900-1000 AD, the order of choirs had already been formed in Western churches, and the art of choir had reached a fairly developed stage. At this time, church choirs began to sing with 2-3 voices. The centers of church polyphonic music and music were large churches and monasteries, while the centers of secular music were universities, where secular polyphonic music and motets were performed.

Since the Renaissance, polyphonic choirs and music have entered a period of flourishing development, and various forms of secular polyphonic music, as well as the principles of choral composition, have already been formed.

Starting from the 17th century, I.S. Bach, G.F. Handel, and J. Haydn created major choral works such as odes and odes, and K.V. Gluck, W.A. Mozart, G.Verdi, and J.Bizet used choirs in their famous operas, while L.Beethoven used choirs for the first time in the history of music in symphonic compositions.

With the advent of the 20th century, choirs began to be composed in various structures and forms, and the scope of this art has expanded even further. Today, choirs are used in all genres of music, including symphonies, operas, and dance performances.

The emergence of professional choirs in Mongolia:

Although the history of Mongolian choirs is relatively young, if we look closely at the characteristics, unique styles, and traditions of their national music, we can see that they are a people with an ancient history and rich heritage of singing in many voices.

Our people have a history of communicating with each other through music and developing their talents and aesthetic thinking during public celebrations and festivals. In every part of Mongolia, festivals have been celebrated with the help of musical instruments, and it is unthinkable without long songs. Mongolians sing their famous singers in their songs at festivals, especially in the songs of the night songs, the singers sing their melodies in the melody, the rhythm, and the repetition of the melody. This singing is called turleg, and turleg is sung in the form of heterophony, a type of polyphonic singing. It is a form of polyphonic singing that is common in folk songs of all peoples. Singing in this heterophonic form is not only found in the long song tradition. Mongolians have a tradition of competing with each other in singing at festivals. This is common in all regions of Mongolia, and in some regions it is combined with a soloist and a group singing together. Singing in this form may be reminiscent of Antiphon, which is sung in heterophonic form. Other forms of polyphonic

singing that are commonly seen during Mongolian festivals include sur, shagain uuhai, and giingoo, which are also common.

Based on these, it can be said that the tradition of polyphonic singing, which deeply reflects the unique lifestyle and characteristics of national music, has been passed down from generation to generation among Mongolians from ancient times to the present.

The art of singing, which originated from the tradition of folk music and has acquired a certain civilizational status, and in particular polyphonic singing, a new genre, emerged in Mongolian art 2-3 centuries ago.

"For example, at the Nomun Khan Monastery in Chin Suzge, in the former Sain Noyon Khan Aimag, and at the Nomun Khan Monastery in Chin Suzge, in the present-day Galuut Suman, Bayankhongor Aimag, when the summer season was in full swing, the Mongolian ritual feast was introduced, and after the reading of the Khural, the Gur song was sung in high and low tones during the sacrifice, feast, and feast."

This new genre, created by successive generations of prominent representatives of Mongolian religion, led by Luvsanshirav, who lived between 1701 and 1882, is the "Gur duu" sung between 1800 and 1900. The Gur duu, a religious hymn composed based on the dialect and style of the Gur duu, specifies the singing style and order of the soloist. From this, it can be seen that heterophony, a form of multi-voice singing, has been widely used in Mongolian folk songs, especially in the "Gur duu", and it has been developed by Mongolians with traditional and innovative thinking.

The first step in the development of professional choral art in Mongolia can be considered to have begun after the People's Revolution of 1921. From this time, they were introduced to modern music and began to spread and promote Western musical culture. At that time, newly established clubs, red corners, red ger, and primary and secondary schools opened choir groups and circles to widely involve the public. In this way, voluntary choir groups and circles in our country have opened the door for the further stable development of professional choir art. As a result of the implementation of a specific policy in the 1930s and 1940s to train qualified personnel in professional art fields in Mongolia, the first art school was established in 1937 and began to train national personnel in various fields of art. Since 1940, many professional art organizations have been established, and favorable conditions have been created for the development of modern professional music art. In 1943, F.I. Kleshko was invited from the USSR to work as a specialist trainer and choir teacher at the State Musical Drama Theater, becoming the first person to develop professional choir art in Mongolia. One of his

first Mongolian students, the famous urt singer and honored actor J. Dorzhdagva, was a professional choir teacher in Mongolia. “As soon as I arrived, the director of the State Central Theater selected 7 people from among the drama actors, and this became the basis of the choir,” F.I. Kleshko wrote in his memoirs.

On January 9, 1947, at the 2nd meeting of the Mongolian People's Revolutionary Party, a decision was made to expand the State Musical Drama Theater's song and concert department, and a small number of singers, including famous singers J.Dorjdagva, V.Surenkhorloo, L.Tsogzolmaa, D.Yanjinlham, Tsendsuren, O. Davaadorj, and G.Dulmaa, performed as long and short soloists. J.Dorjdagva "Working with Teacher Kleshko for 5 years, I grew from a choir singer to a national expert who could conduct and organize choirs." J.Dorjdagva worked continuously in the Dornod aimag Song and Dance Ensemble from 1948 to 1951 and as a choir teacher at the Music and Dance Secondary School from 1962 to 1965, making a significant contribution to the development of modern choral art. In addition, among our senior composers, the People's Artist of the Mongolian People's Republic and State Prize winner B.Damdinsuren, L.Murdorj, S.Gonchigsumlaa, D.Luvsansharav, and T.Chimeddorj played a particularly important role in the development of professional choirs in Mongolia. These conductors have not only mastered the skills of organizing large and small choral works, from choral works such as choral music and hymns to national operas, but their works have already gone beyond the professional theater stage and have firmly entered the permanent repertoire of rural and volunteer choral groups, making a significant contribution to the formation of modern Mongolian choirs.

Conclusion:

Many types of choirs have originated in different ways in different countries around the world, but I wanted to study how choirs originated among the nomadic peoples of Mongolia and what influenced them. In the course of this research, it is concluded that, similar to the origin of ancient choirs, choirs among nomadic Mongols originated from the nomadic tribes that existed in our land 2000 years ago, and they came to sing together during festivals. Therefore, choirs originated in Mongolian tribes from 200 BC, when they were singing together in public celebrations.

Bibliography:

- Michael Kennedy; Joyce Bourne Kennedy (2007). Oxford Concise Dictionary of Music (Fifth ed.). Oxford University Press, Oxford. ISBN 9780199203833.
- Espie Estrella. "The Conductor of an Ensemble". about.com.Archived from the original on 15 April 2013. Retrieved 26 September 2019.

MÜASİR ANTROPOLOGİYADA GERONTOLOGİYANIN SOSİAL-PSİXOLOJİ İSTİQAMƏTLƏRİ

Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA

Azərbaycan Devlet Pedaqoji Universiteti, Bioloji ögretim texnologiji bölmü

(amalya.hasanova59@mail.ru) ORCID: 0000-0002-2196-3215

MODERN ANTROPOLOJİDE GERONTOLOJİNİN SOSYO-PSİKOLOJİK YÖNLERİ

Özet

Modern antropolojide gerontolojik çalışmalar (yaşlanmanın antropolojisi veya etnogerontoloji) yaşlanmayı yalnızca biyolojik bir düşüş olarak değil, aynı zamanda karmaşık bir sosyokültürel, evrimsel ve biyososyal süreç olarak da inceler. Sosyal gerontoloji, birçok bilimin kesiştiği noktada oluşur: beşeri bilimler, sosyal bilimler, doğa bilimleri, ekonomik bilimler. Tıbbi-biyolojik bir bakış açısından, yaşlı bir kişi yaşa bağlı değişikliklere uğrayan, organların ve sistemlerin işlevlerinin yanı sıra telafi edici mekanizmaların bozulmasına yol açan canlı bir organizma olarak kabul edilir. Bu nedenle, yaşlanan insan vücudu, sağlık durumunu, yaşam kalitesini iyileştirmeyi ve aktif yaşı uzatmayı amaçlayan terapötik ve önleyici tedbirler gerektirir. Sosyo-psikolojik açıdan sosyal gerontoloji, yaşlı bir kişinin ruhunun özelliklerini, toplumla ilişkisini, yeni bir sosyal duruma uyumunu dikkate alır. Sosyal gerontolojinin teorik temeli, insan ve toplumla ilgili birkaç ilgili bilimden oluşur: sosyal hizmet teorisi, antropoloji, sosyoloji, tıp, hukuk, psikoloji, etik vb. Bir bilim olarak sosyal gerontolojinin teorik ve metodolojik temellerinden bahsettiğimizde, eski bir insan bilimi olarak onun derin özüne ve sosyal bağlarına dönüyoruz. Sosyal gerontolojinin acil pratik görevleri arasında yaşlıların sosyal refahının iyileştirilmesi, yaşam koşullarının iyileştirilmesi, onurlu bir sosyal varoluşun sağlanması yer alır. En derin sosyal temel, asıl amaç, aile, kolektif, ulus, bir bütün olarak toplumdaki tüm ilişkiler sisteminin uyumlaştırılmasıdır. Böylece sosyal gerontolojinin pratik özü, içeriğini bir bilim olarak tanımlar. Sosyal gerontoloji, sosyal bilimlerle yakından ilişkilidir: sosyoloji, siyaset bilimi, demografi, etik ve hukuk. Sosyal gerontolojinin sosyoloji ile ilişkisini göz önünde bulundurarak şunu not ediyoruz: sosyoloji, belirli grupların toplumunu, davranışlarını ve inançlarını inceler – yaşlılar, aileler, çocuklar, erkekler, kadınlar, sapkın davranışları olan insanlar vb. sosyoloji bilgisi, sosyal hizmet uzmanının yaşlıların sosyal sorunlarını araştırmasına olanak tanır.

Anahtar kelimeler: modern antropoloji, yaşlanmanın antropoloji, sosyal gerontoloji, sosyal varoluş, yaşam kalitesi

THE APPLICABILITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN BIOMETRIC RESEARCH

Associate Professor, Amalya Hasanova

Azerbaijan State Pedagogical University, Department of Biology Instructional Technology

(amalya.hasanova59@mail.ru) *ORCID*: 0000-0002-2196-3215

Abstract

In modern anthropology, gerontological studies (anthropology of aging or ethnogerontology) study aging not only as biological degradation, but as a complex sociocultural, evolutionary and Biosocial process. Social gerontology is formed at the junction of many Sciences: humanitarian, social, natural, economic. From a medical and biological point of view, an elderly person is considered as a living organism that undergoes age-related changes that lead to violations of the functions of organs and systems, as well as compensatory mechanisms. Therefore, the aging human body requires therapeutic and preventive measures aimed at improving the state of health, quality of life and prolonging active age. Socio-psychologically, social gerontology considers the features of the psyche of an elderly person, his relationship with society, adaptation to a new social situation. The theoretical basis of social gerontology is made up of several related sciences about man and society: the theory of social work, anthropology, sociology, medicine, law, psychology, ethics, etc. Speaking about the theoretical and methodological foundations of social gerontology as a science, we touch on its deep essence and social connections as a former human science. Belonging to the direct practical tasks of social gerontology is the improvement of the social well-being of an elderly person, the improvement of living conditions, the provision of a decent social existence. The deepest social Foundation, the main goal is to harmonize the entire system of relations – in the family, team, Nation, society as a whole. Thus, the practical nature of social gerontology determines its content as a science. Social gerontology is closely related to the social sciences: sociology, political science, demography, ethics and law. Considering the relationship of social gerontology with sociology, we note the following: sociology studies society, the behavior and beliefs of certain groups – elderly people, families, children, men, women, people with deviant behavior, etc. knowledge in the field of sociology allows the social worker to explore the social problems of older people.

Keywords: modern anthropology, anthropology of aging, social gerontology, social existence, quality of life

Giriş. Qocalmanın antropologiyası və ya etnogerontologiya. Müasir antropologiyada gerontoloji tədqiqatlar (yaşlanma antropologiyası və ya etnogerontologiya) qocalmanı yalnız bioloji tənəzzül kimi deyil, mürəkkəb sosial-mədəni, təkamül və biososial proses kimi öyrənir. Sosial gerontologiya bir çox elmlərin qovşağında formalaşır: humanitar, sosial, təbii, iqtisadi. Tibbi və bioloji baxımdan yaşlı bir insan, orqan və sistemlərin funksiyalarının pozulmasına, habelə kompensasiya mexanizmlərinə səbəb olan yaşa bağlı dəyişikliklərə məruz qalan canlı bir orqanizm kimi qəbul edilir. Buna görə də, qocalmış insan orqanizmi sağlamlıq vəziyyətinin, həyat keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına və aktiv yaşın uzadılmasına yönəlmiş terapeutik və profilaktik tədbirlər tələb edir. Sosial-psixoloji cəhətdən sosial gerontologiya yaşlı bir insanın psixikasının xüsusiyyətlərini, cəmiyyətlə münasibətlərini, yeni sosial vəziyyətə uyğunlaşmasını nəzərdən keçirir. Sosial gerontologiyanın nəzəri əsasını insan və cəmiyyət haqqında bir neçə əlaqəli elm təşkil edir: sosial iş nəzəriyyəsi, antropologiya, sosiologiya, tibb, hüquq, psixologiya, etika və s. Sosial gerontologiyanın bir elm kimi nəzəri və metodoloji əsaslarından danışarkən, onun keçmiş insan elmi kimi dərin mahiyyətinə və sosial əlaqələrinə toxunuruq. Sosial gerontologiyanın birbaşa Praktik vəzifələrinə aid olan yaşlı bir insanın sosial rifahının yaxşılaşdırılması, yaşayış şəraitinin yaxşılaşdırılması, layiqli sosial varlığın təmin edilməsidir. Ən dərin sosial təməl, əsas məqsəd bütün münasibətlər sistemini – ailədə, komandada, millətdə, bütövlükdə cəmiyyətdə uyğunlaşdırmaqdır. Beləliklə, sosial gerontologiyanın Praktik mahiyyəti onun məzmununu bir elm kimi müəyyənləşdirir. Sosial gerontologiya sosial elmlərlə sıx bağlıdır: sosiologiya, politologiya, demoqrafiya, etika və hüquq. Sosial gerontologiyanın sosiologiya ilə əlaqəsini nəzərə alaraq aşağıdakıları qeyd edirik: sosiologiya Cəmiyyəti, müəyyən qrupların davranışlarını və inanclarını öyrənir – yaşlı insanlar, ailələr, uşaqlar, kişilər, qadınlar, deviant davranışlı insanlar və s. sosiologiya sahəsindəki biliklər sosial işçiyə yaşlı insanların sosial problemlərini araşdırmağa imkan verir. Məsələn, sosial sahə mütəxəssisinin əsas bacarığı, bu və ya digər problemi olan bir insanla necə danışacağını bilməyi əhatə edən müsahibədir ki, açılınsın, güvənsin və özünü təhlükəsiz hiss etsin. Məlumat toplayaraq təhlil etdikdən sonra sosial işçi fəaliyyət planını müəyyənləşdirir və bununla da problemin həllinə analitik yanaşma təmin edir. Beləliklə, sosiologiya bilikləri sosial gerontologiya üçün faydalıdır. Siyasi elm dövlətin və onun institutlarının, habelə yerli özünüidarəetmə orqanlarının, qurumların, ictimai və dini təşkilatların, vətəndaşların sosial siyasət adlanan cəmiyyətin sosial sahəsini inkişaf etdirmək və idarə etmək fəaliyyətlərini öyrənir. Sosial siyasət yaşlılara münasibətdə sosial işin istiqamətlərini, onlara sosial yardım və dəstək verilməsini müəyyənləşdirir. Eyni zamanda, sosial gerontologiya tədqiqatları yaşlı vətəndaşların sosial problemlərinin səbəblərini açıqlayaraq dövlət siyasətinə təsir göstərə bilər. Demoqrafiya bu prosesin sosial-tarixi şərtlərində

əhalinin çoxalma qanunları elmidir. Demografiya əhalinin yaş quruluşu ilə əlaqəli kütləvi sosial prosesləri öyrənir və sosial gerontologiya üçün əhəmiyyətini təşkil edən əhalinin "qocalması" proqnozunu tərtib etməyə imkan verir.

Etika-əxlaq və əxlaq doktrinası, humanizm prinsiplərinə əsaslanaraq sosial işçilərin, eləcə də bütövlükdə cəmiyyətin Yaşlı və yaşlı insanlara mənəvi davranışının müəyyən normalarını müəyyənləşdirir. Sosial işçinin fəaliyyəti üçün zəruri olan başqa bir əlaqəli intizam hüquqşünaslıqdır. Qanunvericilik aktları, pensiya təminatı, mülki, ailə və mənzil hüququnun nəzəri və praktik aspektləri barədə məlumat olmadan yaşlı bir müştəriyə məsləhət vermək, həyat problemlərinin həllində ona kömək etmək və maraqlarını müdafiə etmək çətindir. Yaşlı insanlarla işləməkdə olan sosial işçilər psixologiya məlumatlarından, yəni gerontologiya və inkişaf psixologiyasının bir qolu olan, yaşlı insanların psixikasının və davranışının xüsusiyyətlərini, dəyər istiqamətlərini öyrənən gerontopsixologiyadan geniş istifadə edirlər. Fərdləri öyrənən psixoloqlar onların inkişaf mexanizmlərini, psixikasına və davranışlarına təsir edən vacib amilləri, həmçinin kollektivlərin psixologiyasını anlamağa çalışırlar. Sosial İş və psixologiya arasındakı fərqləri aydınlaşdırmaq üçün birincisi tərifini insanlar və onların ətrafı arasındakı münasibətlərlə əlaqəli bir peşə kimi istifadə etmək məsləhətdir. Bu tərifdən belə çıxır ki, sosial işçilər müştərilərin problemlərini qiymətləndirmək və lazımi müdaxilə planlarını həyata keçirmək üçün həm sosiologiya, həm də psixologiya biliklərindən istifadə etməlidirlər. Eyni zamanda, sosial işçilər yalnız psixoloqlar kimi bir şəxsə və ya sosioloqlar kimi sosial mühitə diqqət yetirə bilməzlər, çünki hər iki problemin müxtəlif aspektlərini öyrənirlər, onların konstruktiv həllinin inkişafına kömək edirlər.

Gerontologiya, bir elm olaraq tibblə, yəni yaşlı insanların xəstəliklərinin müalicəsi və qarşısının alınması ilə məşğul olan geriatriya ilə sıx bağlıdır. Tədqiqat sahəsindəki sosial gerontologiya yaşlı insanları həm sosial, həm də tibbi baxımdan nəzərdən keçirməlidir. Sosial işçi kifayət qədər hərtərəfli tibbi hazırlıq tələb edir, çünki yaşlı insanlar daha çox tibbi və sosial yardıma ehtiyac duyurlar və geriatr həkimi ilə təmasda işləyirlər. Məsələn, qərbdə inkişaf etmiş peşə terapevti (birbaşa əlillərlə işləyən mütəxəssis) tibb və reabilitasiya məsləhətləri sahəsində bilik əldə etməyi təmin edir. Sosial gerontologiyanın qarşılıqlı əlaqədə olduğu bioloji elmlər arasında antropologiya fərqlənir – insanın bioloji bir növ kimi inkişafı elmi. Müxtəlif etnik qrupların, xüsusən də yüzilliklərin antropoloji tədqiqatları gerontologiyanı həm XARİCİ, həm ətraf mühit, həm də daxili amillərin insanın qocalma prosesinə və bioloji yaşına təsiri barədə məlumatlarla zənginləşdirir. Sosial gerontologiya da ekologiya ilə əlaqəlidir. Ətraf mühit amillərinin cəmiyyətin rifahına təsiri əhəmiyyətlidir və yaşlı üzvləri ətraf mühit amillərindəki dəyişikliklərə xüsusilə həssasdırlar. Elmi bilik sistemi, artıq qeyd edildiyi kimi,

problemlərin həllində əsas və tətbiq olunan istiqamətdən asılı olaraq şərti olaraq bölünə bilər. Fundamental elmlər əsasən epistemoloji problemlərin həllinə yönəldilmişdirsə, tətbiq olunan elmlər sosial fəaliyyətin çevrilməsinə yönəldilmişdir. Bu baxımdan sosial gerontologiya tətbiqi elmlər qrupuna aiddir. Müxtəlif müşahidələr üçün müxtəlif məzmunlu empirik materialın toplanması, təhlili, konkret sosial proseslərin və hadisələrin öyrənilməsi, ictimai həyat faktları üçün ilkin əsas təcrübədir. Sosial iş təcrübəsini onun dərk edilməsi və nəzəri ümumiləşdirilməsi şəklində elmi bilik sistemi şəklində toplamağa imkan verir.

Müasir gerontologiya çərçivəsində nəzərdən keçirilən qocalma anlayışı tənəzzül, çatışmazlıq və sosial təcridlə əlaqələndirilməkdən uzaqlaşmışdır. Bunun əvəzinə, qocalıq daxili bütövlüyə, idrak və mənəvi potensiala, şəxsi və ekzistensial inkişaf imkanına malik olan xüsusi bir həyat mərhələsi kimi başa düşülməyə başlayır. Qocalıq aktiv uzunömürlülük və uğurlu baxımdan müsbət identifikasiya və yenidən düşünmə obyektinə çevrilir.

Müasir gerontologiya qocalığın sırf biotibbi anlayışından integrativ anlayışına keçidi qeyd edən bir hərəkət olaraq, müxtəlif metodoloji təməllər üzərində qurulub. Onun əsas prinsipi qocalığın mənə, imkanlar və şəxsi resurslarla doymuş, tam və mənalı bir həyat mərhələsi kimi tanınmasıdır. Bu yanaşma intizam ixtisaslaşmasından kənara çıxmağı və fənlərarası biliklərə müraciət etməyi tələb edir.

Müasir gerontologiyanın metodoloji əsasları, təbiət elmlərinin (tibb, biologiya, gerontobiokimya), sosial fənlərin (qocalma sosiologiyası, sosial iş, demoqrafiya), humanitar elmlərin (fəlsəfə, etika, mədəni tədqiqatlar, psixologiya) və praktik sahələrin (gerontopedaqogiya, incəsənət terapiyası, gerontodizayn və s.) nailiyyətlərini birləşdirən fənlərarası yanaşmaya əsaslanır. Bu birləşmə bizə qocalmanı xətti fizioloji proses kimi deyil, çoxqatlı mədəni-tarixi, antropoloji və ekzistensial fenomen kimi nəzərdən keçirməyə imkan verir. Fənlərarası fənlərarası münasibətlər bizə qocalıq dövrünün təhlilinə şəxsiyyət, həyat tərz, fiziki varlıq, ünsiyyət, sosial əlaqələr və nəsillərarası münasibətlər kimi məsələləri daxil etməyə imkan verir. M. Heidegger, E. Husserl, P. Ricoeur və H. Gadamerə qədər uzanan hermenevtik və fenomenoloji ənənələrin integrasiyası yolu ilə əhəmiyyətli metodoloji genişlənmə əldə edilir. Bu məntiqdə yaş yalnız "xarici" bioloji atribut olmaqdan çıxır və insan varlığının bir ölçüsü kimi ortaya çıxır, fərd tərəfindən yaşanır və şərh olunur. Əhəmiyyətli olan təkcə insanın neçə yaşında olması deyil, həm də onun necə qocalması, bu prosesə hansı mənalara bağlanması və fiziki varlıqları, yaddaşı, itkiləri və ümidləri ilə necə əlaqəli olmasıdır. P. Ricoeurə görə, qocalma sadəcə zamanın bir faktı deyil, həm də hadisələrin geriye və proyeksiyada mənə qazandığı şəxsiyyətin povest quruluşu, "povest edilmiş həyat"dır. Bu baxımdan, qocalıq, insanın həyatını ardıcıl bioqrafik bir hekayəyə integrasiya edərək, "varoluş bütövlüyünə" (E. Erikson) nail olma və sonluluq astanasında mənə yaratmaq aktını yerinə yetirə biləcəyi

bir dövrdür. Üçüncü vacib metodoloji komponent, qocalığın itirilmiş mədəni və etik statusunu bərpa etməyə çalışan dəyər əsaslı qocalma fəlsəfəsi olan yaş aksiologiyasıdır. O, qocalığı tənəzzül kimi deyil, bilik, yaddaş, müdriklik, qayğı və mənəvi yetkinliyin unikal formalarının daşıyıcısı kimi görür.

Nəticələrin müzakirəsi

Yaş təkcə təqvim və ya fizioloji parametr deyil, həm də varlığın bir quruluşudur. M. Heidegger tərəfindən təklif edilən varlıq antropologiyasına uyğun olaraq, qocalıq, insanın öz "ölümə doğru varlığının" müvəqqətiliyini, kövrəkliyini və unikallığını kəskin şəkildə yaşadığı bir mərhələ kimi, həddindən artıq "məhdudluğa açıqlıq" dövrü kimi başa düşülə bilər. Eyni zamanda, bu liminal təbiət özü ilə orijinalıq, müdriklik və daxili azadlıq potensialını daşıyır.

Beləliklə, "yeni gerontologiya" reduksionizmi dəf etməyə və qocalığı laqeydləşdirməyə, onun mənə, ləyaqət və sosial varlıq hüququnu tanımağa qadir olan metodoloji cəhətdən plüralist və fəlsəfi cəhətdən zəngin biliklər toplusu inkişaf etdirir. Yaşa mədəniyyət, etika və özünüdərk fenomeni kimi yanaşır və bu fenomen o qədər də yanaşma tələb etmir, həm də anlayış, hörmət və humanitar dəstək tələb edir. "Yeni gerontologiya"nın ən əhəmiyyətli sahələrindən biri ekzistensial gerontologiyadır - qocalmanı bioloji və ya sosial-mədəni fakt kimi deyil, mənə, kimlik, tamamlanma və transsendensiya sualları ilə dolu xüsusi bir varlıq forması kimi şərh edən konseptual perspektiv. Yaşlıların idrak funksiyalarında və davranış strategiyalarında dəyişikliklərə diqqət yetirən klassik inkişaf psixologiyasından fərqli olaraq, ekzistensial yanaşma qocalıq həyatının ontoloji və mənalı statusuna diqqət yetirir:

Qocalıq antropoloji ümumiləşdirmə dövrü kimi. Qocalıq insanların həyatları haqqında ən çox düşündükləri, qiymətləndirmə apardıqları, bioqrafik təcrübəni integrasiya etməyə çalışdıqları və həyatlarını vahid bir povest kimi anladıqları mərhələdir. Erik Eriksonun vurğuladığı kimi, yetkinlik eqo bütövlüyü və ümitsizlik mərhələsində kulminasiya nöqtəsinə çatır ki, bu mərhələdə fərd həyatının dəyəri və əhəmiyyəti ilə bağlı suallarla qarşılaşır. Ən əhəmiyyətli sahələrdən biri yeni gerontologiya nın bir hissəsi ekzistensial gerontologiyadır — yaşlanmanın bioloji və ya sosial-mədəni bir həqiqət kimi deyil, mənə, şəxsiyyət, tamlıq və transsendensiya sualları ilə doymuş xüsusi bir varlıq forması kimi şərh olunduğu konseptual bir perspektivdir. Fərqli olaraq yaşlıların idrak funksiyalarındakı dəyişikliklərə və davranış strategiyalarına yönəlmiş klassik inkişaf psixologiyasından ekzistensial yanaşma ontoloji və gec həyatın semantik vəziyyəti:

Qocalıq antropoloji nəticə dövrü kimi. Yaşlı bir insanın yaşadıklarına yenidən baxdığı, nəticələrini yekunlaşdırdığı, bioqrafik təcrübənin integrasiyasına və həyatını aşağıdakı kimi dərk etməyə çalışdığı

mərhələdir, yəni tam bir povest. Erik Eriksonun vurğuladığı kimi, yetkinlik bütövlükdə mən mərhələsi ilə başa çatır ümitsizliyə qarşı" (ego integrity vs. despair), şəxsiyyətin dəyər məsələləri ilə qarşılaşdığı və həyat yolunun əhəmiyyəti. Məhz bu yaş dövrü ən kəskin şəkildə yaşanır yaddaş, günahkarlıq kimi fəlsəfi kateqoriyalar, qəbul, bağışlanma, minnətdarlıq, vida və ümid. Bu dövr yalnız xatirələrlə deyil, həm də şəxsiyyətin yenidən qurulması ilə müşayiət olunur. Yaşlanma əvvəlki sosial rolları (peşəkar, valideyn) məhv edir, sual doğurur öz müqəddəratını təyinetmənin adi formaları, eyni zamanda daxili üçün yer açır azadlıq və yeni özünüdərk. Yaşlı adam xarici faydalılığa deyil, daxili əsaslara — mənəvi, mədəni, mənəvi əsaslara əsaslanaraq özünü yenidən qurur.

Nəticə. Qocalıq mənəvi inkişaf üçün bir məkan kimi. Qocalıq insanın düşüncə, bağışlama, daxili harmoniya və bütövlük qabiliyyətini qazandığı bir mənəvi böyümə və ekzistensial yetkinlik dövrünə çevrilə bilər. V. Frankl vurğulamışdır ki, insan "mən"i sonluluqla qarşılaşma anında, ölümsüzlük illüziyalarının yox olduğu və varlığın fundamental suallarının insana açıldığı anda ən dərin şəkildə ortaya çıxır: İnsan "mən"i yalnız qocalıq və ölüm qorxusunu dəf etməklə tam şəkildə ortaya çıxar bilər. Sonsuz gələcəyin illüziyası yox olduğu yerdə mənə azadlığın əsas mənbəyi kimi ortaya çıxır. Qocalığın qüsurlar və faydasızlıq dövrü kimi mədəni damğalanması kontekstində ekzistensial gerontologiya qocalığı antropoloji və ontoloji cəhətdən əhəmiyyətli bir zaman kimi bərpa edir, bu zaman yalnız sonun qəbul edilməsi mümkün deyil, həm də fərdin etik transformasiyası, xarici rollardan daxili varlığa keçid mümkündür.

Qocalma sosial vəzifələrdən azadlıq kimi. Qocalıq ekzistensial azadlığın unikal bir formasını - sosial rolların, produktivist normaların və ya xarici gözləntilərin təzyiqi olmadan özü olmaq azadlığını açır. Bu, insanın həqiqətən vacib olan şeylərə: münasibətlərə, bağışlamağa, qayğıya, yaradıcılığa və mənəvi təcrübəyə diqqət yetirə biləcəyi bir azadlıqdır. Bu baxımdan, qocalma, fürsətlərin azalmadığı, əksinə həyatın mənalılarının dəyişdirildiyi ikinci bir yetkinlik dövrü kimi şərh edilə bilər. Beləliklə, qocalmanın ekzistensial ölçüsü, yaşı son kimi deyil, insan varlığının ən dərin aspektlərinin cəmləşdiyi antropoloji təcrübənin zirvəsi kimi yenidən düşünməyə imkan verir: azadlıq, məsuliyyət, yaddaş, sevgi və mənə. Bu yanaşmanı özündə birləşdirən müasir gerontologiya sadəcə yaşlılara qayğı göstərməyi deyil, həm də bütövlükdə cəmiyyət üçün humanistləşmə mənbəyi kimi onların daxili dünyasına diqqət yetirməyi təklif edir. Demografik dəyişikliklər və ömrün uzadılması dövründə bəşəriyyət qocalma fenomeninin köklü şəkildə yenidən düşünülməsinə ehtiyac duyur. Yeni gerontologiya müasirliyin çağırışlarına cavab verə bilən, qocalığın reduksionist və damğalayıcı

modellərini dəf edə bilən və onu insan həyatının dəyər və antropoloji cəhətdən zəngin bir vəziyyəti kimi təsdiqləyə bilən fənlərarası və fəlsəfi yönümlü bir paradigma kimi ortaya çıxır.

Qocalığın tənəzzül anlayışından şəxsi yetkinlik və ekzistensial azadlıq mərhələsi kimi başa düşülməsinə keçid yeni bir yaş fəlsəfəsinin inkişaf etdirilməsi imkanını açır. Bu fəlsəfədə yaşlı insan biotibbi müşahidənin obyekt deyil, mənə, yaddaş, müdriklik və vətəndaş məsuliyyətinin subyektidir. Qocalma məqsəd deyil, transformasiyadır: məhsuldarlıqdan düşüncəyə, hərəkətdən düşüncəyə, bədən genişlənməsindən mənəvi dolğunluğa keçid. Tədqiqatlar göstərir ki, fenomenologiya, hermenevtika, ekzistensializm və aksiologiya da daxil olmaqla müasir gerontoloji konsepsiyalar qocalığı həyatın mənəli inteqrasiyasının baş verdiyi ontoloji hadisə kimi başa düşməyə imkan verir. Bu yanaşma cəmiyyətdən siyasi, mədəni və təhsil strategiyalarını dəyişdirməsini tələb edir: qəyyumluqdan tanınmağa, seqreqasiyadan iştiraka, çatışmazlıqdan ləyaqətə keçid. Beləliklə, müasir gerontologiya sadəcə elmi bir intizam deyil, zaman, yetkinlik və mənə fəlsəfəsinə çevrilir və yaşa qarşı kinik və ya utilitar münasibətə humanist alternativ təklif edir. O, qocalığın insan bütövlüyü, düşüncə dərinliyi və dəyər əsaslı yetkinlik mərhələsi kimi imicini formalaşdırır və beləliklə, qocalığı həyatın sonu kimi deyil, metafizik kulminasiya nöqtəsi kimi təsdiqləyir.

KAYNAKLAR

1. Həsənova A.M, Rüstəmli R.A., (2021) Müasir təbiətşünaslığın sosial-sinergetik konsepsiyası, ADPU nəşriyyatı, Bakı – 31-121 s.
2. Hubble N. Ageing, narrative and identity: new qualitative social research. Hampshire; 2013.
3. Hubble N. Ageing, narrative and identity: new qualitative social research. Hampshire; 2013.
4. Харари, Ю. Sapiens: краткая история человечества / Ю. Харари. – М. : Синдбад, 2016. – 520 с. 105.
5. Харари, Ю. Homo Deus. Краткая история будущего / Ю. Харари. – М. : Синдбад, 2018. – 496 с. 106.

KOTƏKAMÜL PROSESİNİN MÜASİR TEXNİKİ-SİNERGETİK KONSEPSİYALARI

Doçent Doktor, AMALYA HASANOVA

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Bioloji öyrətim texnologiyası bölməsi

(amalya.hasanova59@mail.ru) ORCID: 0000-0002-2196-3215

EVİRİMSEL SÜRECİN MODERN TEKNIK-SİNERJİK KAVRAMLARI

Özet

Kibernetiğin iki temel ilkesi, homeostaz ve hiyerarşi – kendi kendini düzenleyen sistemlerin bütünlüğünü ve istikrarlı işleyişini sürdürmek için doğal veya özel olarak oluşturulmuş programların uygulanmasını sağlamayı amaçlayan bir faaliyet olarak yönetime ilişkin yeni görüşlerin temelini oluşturdu. Modern dünya, bilgi devrimi ve bilgisayarlaşma, karmaşık sosyo-doğal süreçlerin matematiksel modellemesindeki ilerlemeler ve hesaplamalı (bilgisayar) deneyler bağlamında, eski yöntem ve modellerin kullanımı pratik değildir. Eski yöntemler doğrusal düşünceye ve doğrusal yaklaşımlara dayanır ve mevcut verilerden çıkarılır. Bunlar genellikle modelin aşırı karmaşıklığı ve mümkün olduğunca çok parametreyi dikkate alma ve dahil etme arzusuyla ilişkilidir. Karmaşık sosyal süreçleri modellemeye yönelik önceki metodolojik yaklaşımlar, geleceğin belirsizliğini, gelecekte gelen evrimsel süreçleri belirleyen faktörleri, evrimdeki kaotik süreçlerin yapıcı doğasını, karmaşıklığın gelişimindeki hızlı süreçlerin rolünü ve daha fazlasını hesaba katmaz veya en azından hafife alır. Sinerji, dünyadaki karmaşık sistemlerin evrimi ve kendi kendine örgütlenmesi teorisidir. Modern (Darvin sonrası) bir evrimsel paradigma gibi davranan sinerji, elbette dünyada neler olup bittiğini veya olacağını tahmin edemez. Sinerjik metodolojiye dayalı somut önerilerde bulunmak veya daha doğrusu vaatlerde bulunmak mantıksızdır. Bununla birlikte, sinerji, karmaşık sosyal sistemlerdeki süreçlerin bilimsel araştırması, tahmini ve modellenmesi için genel kurallar sağlayabilir. Sinerji, prensipte var olamayan şeyleri tespit edebilir, yani evrimsel dışlama için belirli kurallar oluşturabilir. Bilimsel yaklaşım, aslında, her zaman araştırma yönünün daralmasıdır. Sınırların, başarılmaması temelde imkansız olan şeylerin bilgisi, başlı başına son derece önemli bir bilgidir

Anahtar kelimeler: evrimsel süreç, homeostaz ve hiyerarşi, evrimsel paradigma, sosyal sistemler, matematiksel modelleme

MODERN TECHNICAL-SYNERGETIC CONCEPTS OF THE COTECAMUL PROCESS

Associate Professor, Amalya Hasanova

Azerbaijan State Pedagogical University, Department of Biology Instructional Technology

(amalya.hasanova59@mail.ru) *ORCID*: 0000-0002-2196-3215

Abstract

Two basic principles of cybernetics — homeostasis and hierarchy — formed the fundamental basis of new views on management as an activity aimed at ensuring the implementation of natural or specially created programs to maintain the integrity and stable functioning of self-regulating systems. In the context of the modern world, the information revolution and computerization, advances in mathematical modeling of complex socio-natural processes and computational (computer) experiments, it is inappropriate to use old methods and models. The old methods are based on linear thinking and linear approximations and are extracted from existing data. They are often associated with excessive model complexity and the desire to take into account and include as many parameters as possible. Previous methodological approaches to modeling complex social processes do not take into account or at least underestimate the uncertainty of the future, the factors that determine evolutionary processes from the future, the constructive nature of chaotic processes in evolution, the role of rapid processes in the development of complexity, and much more. Synergetics is the theory of evolution and self-organization of complex systems worldwide. Synergetics, which acts as a modern (post-Darwinian) evolutionary paradigm, of course, cannot predict what is happening or will happen in the world. It is unreasonable to make specific recommendations, or rather promises, based on a synergistic methodology. Nevertheless, synergetics can provide general guidelines for Scientific Research, Forecasting and modeling processes in complex social systems. Synergetics can detect things that cannot exist in principle, that is, formulate certain rules of evolutionary exclusion. The scientific approach, in essence, is always a narrowing of the direction of research. Knowing its limitations, what is fundamentally impossible to achieve, is in itself quite important knowledge

Keywords: evolutionary process, homeostasis and hierarchy, evolutionary paradigm, social systems, mathematical modeling

Giriş. Özünütənzimləyən sistemlərin bütövlüyü. Özünütəşkil nəzəriyyəsi. Mürəkkəb dinamik sistemlərin idarə olunmasındakı böhran 20-ci əsrin ortalarında canlı orqanizmlərdə özünütənzimləmə modellərinə əsaslanan kibernetik idarəetmə nəzəriyyəsinin inkişafına təkan vermişdir. Kibernetikanın iki əsas prinsipi — homeostaz və iyerarxiya — idarəetməyə özünütənzimləyən sistemlərin bütövlüyünü və sabit fəaliyyətini qorumaq üçün təbii və ya xüsusi olaraq yaradılmış proqramların həyata keçirilməsini təmin etməyə yönəlmiş bir fəaliyyət kimi yeni baxışların fundamental əsasını təşkil etmişdir. Sonrakı tədqiqatlar göstərdi ki, idarəetməyə kibernetik yanaşma sistemlərin statik nizam və sabit fəaliyyət vəziyyətində olduğu fazanın zaman çərçivəsi ilə məhdudlaşır. Sistemlərin həyat dövründə bu faza davamlı daxili və xarici dəyişiklik prosesinin xüsusi bir halıdır. O, qaçılmaz olaraq transformasiya, sistemin yenilənməsi, ardıcıl nizamsızlıq prosesləri (köhnə nizamın məhvi), alternativlərin sınaqdan keçirilməsi və nəhayət, yeni bir nizamın yaranması mərhələsinə yol verir. Bu proseslər qeyri-xətti, qeyri-sabitlik, açıqlıq və dinamik iyerarxiya ilə xarakterizə olunur və sinergetikanın fundamental prinsipləri kimi özünütəşkilatın ümumi nəzəriyyəsi kimi tanınır [1].

Sinergetik proseslərin riyazi olaraq sübut edildiyi fizika və kimya sahələrində inamla özünü təsdiqləyən özünütəşkil nəzəriyyəsi təbiət elmlərinə yayıldı və təsadüf və zərurət, nizam və kaos, təkamülün mahiyyəti, yaradıcılıq, tamamlayıcılıq və s. arasındakı əlaqə ilə bağlı dünyagörüşünün klassik anlayışını kökündən dəyişdirən yeni bir paradigmanın təməlini qoydu. Sosial idarəetmə əsasən köhnəldiyi və dövrün çağırışlarına cavab vermədiyi üçün idarəetmə səviyyəsi aşağı düşür. Aydın olur ki, ənənəvi olaraq qurulmuş sosial idarəetmə formaları və metodları, xüsusən də dövlət və vətəndaş cəmiyyəti arasındakı münasibətlərə aid olanlar, böhran hadisələrinin sürətlə artan yükünə tab gətirə bilmir və böhran vəziyyətindədir, lokallaşmamış sosial fəlakətlər təhdid edir [2].

Sinergetik metodologiya. Kibernetikanın iki əsas prinsipi — homeostaz və iyerarxiya — idarəetməyə özünütənzimləyən sistemlərin bütövlüyünü və sabit fəaliyyətini qorumaq üçün təbii və ya xüsusi olaraq yaradılmış proqramların həyata keçirilməsini təmin etməyə yönəlmiş bir fəaliyyət kimi yeni baxışların fundamental əsasını təşkil etmişdir. Müasir dünya, informasiya inqilabı və kompüterləşmə, mürəkkəb sosial-təbii proseslərin riyazi modelləşdirilməsindəki irəliləyişlər və hesablama (kompüter) təcrübələri kontekstində köhnə metod və modellərdən istifadə etmək yersizdir. Köhnə metodlar xətti düşüncəyə və xətti yaxınlaşmalara əsaslanır və mövcud məlumatlardan çıxarılır. Onlar tez-tez həddindən artıq model mürəkkəbliyi və mümkün qədər çox parametri nəzərə almaq və daxil etmək istəyi ilə əlaqələndirilir. Mürəkkəb sosial prosesləri modelləşdirmək üçün əvvəlki metodoloji yanaşmalar gələcəyin qeyri-müəyyənliyini, gələcəkdən təkamül

proseslərini müəyyən edən amilləri, təkamüldə xaotik proseslərin konstruktiv təbiətini, mürəkkəbliyin inkişafında sürətli proseslərin rolunu və daha çoxunu nəzərə almır və ya heç olmasa az qiymətləndirir. Sinergetika, dünya miqyasında mürəkkəb sistemlərin təkamülü və özünütəşkili nəzəriyyəsidir. Müasir (Darvin sonrası) təkamül paradigması kimi çıxış edən sinergetika, əlbəttə ki, dünyada nələrin baş verdiyini və ya baş verəcəyini proqnozlaşdırma bilmir. Sinergetik metodologiyaya əsaslanaraq konkret tövsiyələr vermək, daha doğrusu vədlər vermək əsassızdır. Buna baxmayaraq, sinergetika elmi tədqiqatlar, mürəkkəb sosial sistemlərdə proseslərin proqnozlaşdırılması və modelləşdirilməsi üçün ümumi qaydalar təqdim edə bilər [3].

Sinergetika prinsipə mövcud ola bilməyən şeyləri aşkar edə bilər, yəni müəyyən təkamül istisna qaydalarını formalaşdırma bilər. Elmi yanaşma, mahiyyət etibarilə, həmişə tədqiqat istiqamətinin daralmasıdır. Məhdudiyyətləri, əldə edilməsi fundamental olaraq mümkün olmayan şeyləri bilmək özü olduqca vacib bilikdir.

Birgə təkamül problemləri. Müxtəlif təkamül meyllərinin mövcudluğunu və gələcəyə gedən yolun qeyri-müəyyənliyini aydın şəkildə tanımaq vacibdir. Mürəkkəb sosial sistemlərin gələcək vəziyyətləri sadəcə açıq və gözlənilməz deyil; gələcək təşkilatlanmanın mümkün formalarının spektrləri, gələcəyə gedən mümkün yolların sahəsi mövcuddur. Təkamül yolları çoxsaylı ola bilsə də, onların sayı sonsuz deyil. Attraktor strukturlarının spektri davamlı deyil. Hər şey, islahat fəaliyyəti subyektinin niyyətlərini təşkil edən hər şey müəyyən bir sosial mühitdə (müəyyən bir sosial sistemdə) mümkün deyil. Gələcək sosial təşkilatlanma formaları açıqdır, əvvəlcədən müəyyən edilmiş imkanların spektridir. Gələcəyə gedən yollar qeyri-müəyyəndir, təkamülün müəyyən keçidləri mövcuddur. Bu, sosial inkişafda idarə olunan açıqlıq, qorunan və özünü təmin edən inkişaf problemini ortaya qoyur. Gələcəyə aparıcı ahəngdar bir yol seçmək problemi yaranır. Təbiət və bəşəriyyət, eləcə də müxtəlif sivilizasiya və geosiyasi varlıqlar müxtəlif yollarla inkişaf etdiyindən, birgə inkişaf problemi, birgə təkamül problemi ortaya çıxır. Eyni zamanda, dünya və onun təkamül yolları haqqında öz vizyonunu başqa dünyagörüşlərinə və sivilizasiya dəyərlərinə sahib olanlara sırmaq qanunsuzdur. “Dünyanı xilas etmək”yolu digər dünyagörüşlərini və həyat tərzlərini boğmaqdan ibarət ola bilməz [4].

Özünütəşkilatın ümumi qanunlarına uyğun olaraq, mürəkkəb sosial-təbii sistemlər öz inkişaf yollarını izləməyə məcbur edilə bilməz. Əksinə, öz meyllərini necə asanlaşdıracağını və sistemləri bu yollar boyunca necə istiqamətləndirəcəyini anlamaq lazımdır. Məsələn, təbiəti ayrı-seçkilik etməyən və düşünmədən xarici müdaxiləni davam etdirməklə pozmaq əvəzinə, təbiətin öz təbii inkişaf meyllərinə diqqət yetirmək və onlarla rezonans yaratmağı öyrənmək lazımdır. Ümumiyyətlə, bu yanaşma Şərq həyat tərz, düşüncə tərz və insan

fəaliyyəti ilə üst-üstə düşür. Şərq həmişə “təbiiliyə riayət etmək” və “proseslərin təbiətinə qarşı zorakılıq etməmək” ilə xarakterizə olunub.

Təkamül proseslərini gələcəkdən müəyyən etmək. İnkişaf bir sistemin keçmişi, tarixi və ənənələri ilə deyil, gələcək, təkamülü cəlb edən strukturlar ilə müəyyən edilir. Attraktor strukturlarının spektrlərini, sosial sistemlərin özünüinkişafının "məqsədləri" spektrlərini modelləşdirmək mümkündür [5].

Nəticələrin müzakirəsi.

Sinergetikanın bütün uğurlarına baxmayaraq, reallığın daim yeni aspektlərini əhatə etməsinə, onu yeni universal idrak və dünyagörüşü metodu kimi şərh etməyə imkan versə də, problem ondadır ki, o, cəmiyyətin özünütəşkilini istənilən digər proses və xaosdan nizama keçid səviyyəsi ilə analogi olaraq nəzərdən keçirir. Hər yerdə ortaq bir alqoritm fəaliyyət göstərir, bunun sayəsində qeyri-tarazlıq mühitindəki dalğalanmalar salınım prosesləri üçün cazibədar rolunu oynayan müəyyən "bifurkasiya nöqtələrinə" cəlb olunur və beləliklə, bu proseslər üçün sistemli şəkildə müəyyən edilmiş sabitlik rejiminin formalaşmasına imkan verir.

Sinergetikanın baniləri vurğulayırdılar ki, "sistemlərdə bifurkasiya nöqtələrinin yaxınlığında əhəmiyyətli dalğalanmalar müşahidə olunur. Belə sistemlər bir və ya daha çox təkamül yolu seçməzdən əvvəl "tərəddüd edir"... Kiçik bir dalğalanma tamamilə yeni bir istiqamətdə təkamülü tetikleyebilir ki, bu da makroskopik sistemin bütün davranışını kəskin şəkildə dəyişdirir".

Buradan belə nəticə çıxır ki, cəmiyyətdə nizam zahirən öz-özünə, yəni insanın subyektiv təsiri olmadan yaradıla bilər. Sosial sistemin müxtəlifliyini ifadə edən on minlərlə salınım ritmini birləşdirən nəhəng qüvvələr və birliklər, müxtəlif dalğa prosesləri, daxilindəki hər hansı bir şeyi dəyişdirmək, tənzimləmək və ya yenidən qurmaq istəyən hər hansı bir subyektin söylərini aşan özünəməxsus obyektiv bir nizam dünyası (rejimi) vardır. Yalnız bu cür söylər və maraqlar "rezonans" vəziyyətinə, sistemin parametrlərində dəyişiklik səviyyəsinə çatdıqda insanlar fərq yarada bilərlər.

Mürəkkəb strukturların birləşməsi qanunları. Müəyyən bir sosial mühitdə vaxt və material xərclərinin çoxqat azalmasına, arzuolunan və heç də az əhəmiyyətli olmayan, nail oluna bilən strukturların rezonanslı həyəcanlanmasına gedən yolun olduğunu aydın şəkildə anlamaq vacibdir. Yönləndirilmiş morfogeneza yolu açıq, qeyri-xətti sosial mühitlərdə mürəkkəbliyin kortəbii böyüməsi də mümkündür. Sonuncu, DNT replikasiyası kimi morfogeneza və "möhürləmə" bioloji proseslərinin bir növ analogunu təmsil edir.

Hazırkı bifurkasiya dövründə inkişaf etmiş bazar cəmiyyətinə doğru yavaş, əsrlər boyu davam edən səyahət üçün vaxtımız yoxdur. Tədricən və ziqzaqvari təkamül yolunu qısaltmağa məcburuq. Bu dövrün keçid

müddətini, dağıntılarını və mənəvi və maddi məhrumiyyətlərini kəskin şəkildə azaltmalıyıq. Ən güclünün sağ qalması əzablı yolunun dramını keçməliyik. Buna nail olmaq üçün mürəkkəb sosial mühitlərdə attraktor strukturlarının spektrlərini təyin etmək üçün yanaşmalar tapmaq və təkamül attraktorlarına yaxın strukturları rezonanslı şəkildə həyəcanlandırmağı öyrənmək arzuolunan olardı. Müxtəlif mədəni-tarixi və geosiyasi varlıqların birləşdirilməsi zərurəti hər kəs üçün aydındır. Belə birləşmə prosesi əslində böyük itkilər, tarixi səpmələr və gecikmələrlə davam edir, baxmayaraq ki, bu, ümumi sivilizasiya trendini təşkil edir. Məlum olur ki, mədəni-tarixi xüsusiyyətləri, inkişaf templərini, həyat keyfiyyətini və s. qoruyarkən dünyanın müxtəlif elementlərinin birgəyaşayışı, birgəyaşayışı və konvergensiyası qanunları mövcuddur [6].

Sinergetika bizə müxtəlif dövrlərdə inkişaf edən mürəkkəb strukturların, eləcə də sadə bir strukturun daha mürəkkəb bir struktura "inteqrasiyasını" müəyyən etməyə imkan verir. Bu qanunları bilmək bizə müxtəlif templərdə və müxtəlif inkişaf mərhələlərində inkişaf edən ölkələri, regionları və geosiyasi varlıqları birləşdirmək metodlarını anlamağa imkan verir. Hər hansı bir struktur, nə hər hansı bir metod, nə də hər hansı bir əlaqə dərəcəsi, nə də hər hansı bir inkişaf mərhələsi mürəkkəb bir strukturda birləşdirilə bilməz. Mürəkkəb bir təkamül sisteminin qurulması üçün məhdud bir birləşmə metodları dəsti mövcuddur.

Nəticə.

Tək bir mürəkkəb strukturun yaranması üçün onu təşkil edən daha sadə strukturlar arasında müəyyən dərəcədə üst-üstə düşmə olmalıdır. Müəyyən bir topologiya, üst-üstə düşmə "arxitekturası" qorunmalıdır. Müəyyən bir nisbət hissi olmalıdır. Sadəni mürəkkəbə birləşdirən amil, sözün ümumi mənasında bazar olan xaosun, dalğalanmanın, dağılmanın müəyyən bir analoqudur. Beləliklə, xaos (yəni müxtəlif növ mübadilə prosesləri) təkcə təkamül yolunun seçilməsi prosesində deyil, həm də mürəkkəb təkamül bütövünün qurulması prosesində konstruktiv rol oynayır. Məcəzi mənada desək, xaos hissələri vahid bir bütövə bağlayan yapışqan"rolunu oynayır. Hissələrin bütövə inteqrasiyasının əsas prinsipi aşağıdakı kimi formalaşdırıla bilər: sadə inkişaf edən strukturların vahid mürəkkəb bir quruluşa sintezi onların təkamülünün ortaq tempinin yaradılması yolu ilə baş verir. Bundan əlavə, mürəkkəb bir strukturun müxtəlif fraqmentlərindəki proseslərin intensivliyi (məsələn, sosial mühitdə müxtəlif ölkələrdə iqtisadi inkişaf səviyyəsi, həyat keyfiyyəti, informasiya dəstəyi və s.) fərqli ola bilər. Birləşmə faktı o deməkdir ki, sosial proseslərin eyni inkişaf tempi mürəkkəb bir strukturun müxtəlif fraqmentlərində müəyyən edilir. Quruluşlar tək bir temp dünyasına daxil olur və eyni sürətlə inkişaf etməyə başlayır.

Sinergetika inkişaf və təkamül haqqında mövcud ənənəvi baxışlardan fərqli bir sıra nəticələr verir. Konvergensiyaya gəldikdə, sinergetika təkamül prosesinin hansı nəticəyə gətirib çıxardığı sualına qəti cavab vermir. Əksər tədqiqatçılar təkamülü divergensiya prosesi ilə əlaqələndirənlər də, sinergetika təkamül və bifurkasiya mərhələləri arasında tsiklik bir dəyişikliyi tanıyır. Bundan əlavə, divergensiya prosesləri bifurkasiya mərhələsində, konvergensiya isə təkamül mərhələsində üstünlük təşkil edir. Baxışlardakı fərq təkamül prosesindəki xəttlilik və qeyri-xəttlilik anlayışları ilə əlaqədardır. Attraktorları və ya dartmaları, sıçrayışları və ya təkamül mərhələlərini əhatə etməyən xətti, bir istiqamətli bir proses üçün təkamülün divergensiya təbiətindən danışmaq olar. Lakin inkişaf proseslərinin qeyri-xəttiliyi, polivariantlığı və tsiklik təbiəti hər iki prosesi təkamül ssenarisinə daxil edir. İnkişafın mənbəyi olan mühərrik məsələsində dialektikada özünü təşkil anlayışı oxşar nəticələrə gəlir və ziddiyyətləri təsdiqləyir. Fərq ondadır ki, dialektika yalnız bir sistemin daxili ziddiyyətlərini tanıyır, sinergetika isə xarici ziddiyyətləri tanıyır.

KAYNAKLAR

1. Həsənova A.M, Rüstəmli R.A., (2021) Müasir təbiətşünaslığın sosial-sinergetik konsepsiyası, ADPU nəşriyyatı, Bakı – 91-130 s.
2. Budanov, V.G. (2018) Synergetic paradigm and its creators. Complexity. Mind. Postnonclassic. (3), 56–72. Available from: doi:10.12737/article_5c063435bc0800.62284481. (In Russian)
3. Budanov, V.G. (2015) Synergetics and complexity theory: an interdisciplinary approach. Pt I: Principles. Methodology. Education. Kursk, Universitetskaya Kniga. (In Russian)
4. Ebeling, W. & Feistel, R. (2019) Self-organization in nature and society and strategies for building the future. Social Sciences and Humanities. Domestic and Foreign Literature. Series 11: Sociology. (3), 145–187. (In Russian)
5. Hörz, H. (2019) Human behavior in social systems. Synergetics as heuristic. In: Belkina, G.L. (ed.) (2019) The human world: Uncertainty as a challenge. Moscow, URSS, 274–294. (In Russian) Knyazeva, E.N. &
6. Kurdyumov, S.P. (2011) Synergetics: Time nonlinearity and coevolution landscapes. Moscow, KomKniga. (In Russian)

AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT CLIMBING MOUNTAINS BY MELISSA DENNISON

Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT

Technical University of Civil Engineering Bucharest, Faculty of Engineering in Foreign Languages,

Department of Foreign Languages and Communication, philology, anadrobot@yahoo.com, ORCID

0000-0002-2556-6233

Abstract

The purpose of this paper is to analyse the following haiku poem: "climbing mountains/ beetle on a/ fingertip," written by Melissa Dennison (Bradford, England), and published on September 4, 2026 in the Mainichi Japan under the selection of Dhugal J. Lindsay. This haiku poem is an example of how this poem, originating in sixteenth-seventeenth century Japan, is a proof of the continuous practice around the world of this type of poem. The haiku poem continues to be relevant today. The poem by Dennison uses the structure of juxtaposition, to present a contrast between a large level and a small level: the mountains and the fingertip. The mountains and the fingertip, while belonging to different worlds, can also be connected by similarities. The fingertip is compared with a mountain, having in view the size of the beetle. This poem relies on a comparison based on proportions, while at the same time relying on the tension between these two proportions. The beetle may stand for the human being, facing a mountain. The poetic persona may be reflecting on their own status in this world, seeing herself as insignificant when considering the larger picture of the scale of the entire world. We may have a personal universe which is important to ourselves, but, if we detach from our problems, these may seem insignificant in comparison with global-level issues. This detachment can be attributed to Zen Buddhist meditation. The methodological framework is composed of reader-response criticism, psychology and psychoanalysis.

Keywords: Zen Buddhism, meditation, free associations, psychoanalysis, juxtaposition

1. INTRODUCTION

Haiku originates in sixteenth-seventeenth century Japan (Keene, 1999), but it is practiced at international level.. Although it is presented in literary history books and dictionaries as a three-line poem following a fixed five-seven-five syllable pattern, the haiku poem cannot be reduced to this form only. The fixed form does not explain the complexity of the haiku poem. The fixed form represents only the classic, traditional form of the haiku poem, in both Japanese and international context.

Historically, the form developed from Japanese linked-verse poetry forms, such as *hokku*, from which the haiku poems by Basho started (Atanasiu, 2026). Basho played an important role in changing the opening verse, or *hokku*, into an independent form. The term “haiku,” however, belongs to a later period and became established in the nineteenth century. Contemporary poets start from a Japanese tradition while adapting its techniques to different languages and cultures.

Present day online haiku authors’ communities can bring insight into the way in which the haiku poem is understood, starting from its fixed, classical form, to the modern form, which has been visible in Japanese culture, with the free haiku movement started by Ogiwara Seisensui (1884–1976) (Kimura, 2022), as well as in Western culture, where similar debates which began in Japanese culture over the classical and modern haiku forms continue.

In order to better understand the haiku poem, analysing a particular poem is useful. This is a current practice in online haiku communities. The haiku poem is still under research, as there is not one single type of haiku poem. There is no single definition for the haiku poem, as it is a complex and varied poem, just like Western lyrical poems.

1.1. Theoretical Framework

One of the best known features of the haiku poem in the Western world is the juxtaposition. Based on juxtaposition, two images are placed beside one another, which leads to another level of meaning, which is a level of abstract reflections and figurative meaning of the visual, concrete images. The reader will compare the images and reconstruct the abstract layer of meaning.

The haiku poem needs an actively engaged reader, which is why, for the analysis of the selected haiku poem, the paper relies on reader-response criticism. Based on Rosenblatt's (1994) transactional theory of reader response criticism, reading can be understood as a transaction between reader and text.

From a psychological perspective, the haiku poem can be understood as an experiment related to a different type of perception. It is a type of perception relying on apparently objective view of the world, as the poem relies on visual, external elements, but which can suggest emotional experiences and which can bring forward for readers various free associations. Freud's (1922) psychoanalytic method of free associations encouraged attention to whatever thoughts arise in relation to an image.

Japanese haiku poems have been associated with Buddhist philosophy. Zen Buddhism emphasizes fresh perception, which means a way of looking at the world by leaving behind everything we have been taught about it and about the way it functions.

2. METHOD

The following haiku poem has been chosen for analysis in this paper: "climbing mountains/ beetle on a/ fingertip," written by Melissa Dennison (Bradford, England), and published on September 4, 2026 in the Mainichi Japan under the selection of Dhugal J. Lindsay.

The analysis relies on close text analysis. As we examine the poem's structure, we notice its three-lines format, conciseness, visual imagery, and absence of direct explanations. The main images—"mountains," "beetle," and "fingertip"—can be understood in relation to one another, with particular attention to scale and juxtaposition (Hiraga, 1999). The climbing of the mountains is juxtaposed with the climbing of the beetle on a fingertip. We notice that, for the beetle, the fingertip of a human being can be compared to a mountain. This is, however, not the only interpretation, as the human being can be compared to a beetle. This suggests that we need to look at our problems from a larger perspective, and notice that we need to detach from the apparently large and worrying issues we are dealing with. At the scale of the Earth, human beings are the size of a beetle.

Readers arrive at this interpretation as they work through free associations, similarly to this process that is found in psychoanalytic sessions. One word and image leads to another, and readers develop this short, visual poem into entire abstract, philosophical reflections, regarding the place of the human being in this world.

The first line of the poem chosen for analysis in this paper includes the mountains, which are part of an image symbolizing heights, greatness, obstacles and challenges, as well as human aspiration. The second and third lines change the scale of the scene: the reader witnesses a "beetle" on a "fingertip." The difference and comparison between the mountain and fingertip is the main source of the poem's tension.

The poem's meaning appears due to the relationship between images. The function of juxtaposition is the following: two images are placed in a relationship of tension, requiring the reader to build a connection between them. The cutting line or *kireji* creates a gap that the reader needs to fill.

Dennison's haiku poem can be interpreted as a poem about relativity of perspective, while considering the large vs small scale presented under the form of the human being and of the beetle. The beetle is physically small, but the fingertip on which it stands may be seen by the beetle as very large. The poem creates a miniature world that mirrors the human experience of confronting the mountains. The human being may appear large in relation to a beetle but small in relation to a mountain, the planet, or the universe. The poem thus invites readers to consider a reversal of perspective: what appears insignificant from one perspective may become very large from another. This reversal of perspectives can lead to psychological and existential reflections.

According to Zen Buddhism, the poem relies on a fresh way of perceiving the world, through meditation and through leaving behind everything we have been taught about the world. In the case of this poem, we may consider that each and every individual and his or her perspective matter, based on the current mindset of individualism in the Western world. Based on this mindset, individuals matter since they are unique, and each and every experience should be considered from the particular perspective of a particular individual. One example is psychoanalysis, where the meaning of various experiences relies on the individual perspectives. Psychoanalysis does not rely on a template for treating every individual experience, even if these experiences are, apparently, similar. Every individual reacts differently and thinks differently. The same can be had in mind in relation to the haiku poem and the related ways of perceiving the world.

From the point of view of juxtaposition, in the poem selected for analysis, the first image is “climbing mountains.” The second image is “beetle on a / fingertip.” The two images are not connected by directly expressed logical sequences of events. There is no direct statement explaining why climbing mountains should be associated with a beetle on a fingertip. Readers, however, based on clues and free associations, create the connection and continue to reflect at an abstract level. The reader's participation is essential. The words “mountains,” “beetle,” and “fingertip” activate memories, associations, experiences, and comparisons in the minds of the readers.

Based on the psychoanalytic process of free associations, the mountain is associated with the idea of height, difficulty, but also with achievement and vulnerability. Further on, we notice smallness associated with the beetle, the fingertip. Next, we notice the references to the body, associated with the self. In relation to the

beetle, the human beings can consider that the image of the beetle reflects their own relationship with the universe.

Zen Buddhism invites readers to consider that this poem reflects its contemplative, meditative mood.

3. RESULTS

The poem by Dennison establishes a dramatic contrast of scale, between the beetle and the human being, as well as between the implied contrast between the human being and the universe. Mountains are among the largest natural elements with which human beings are confronted. They occupy a large geographical space and function symbolically as representations of difficulty, endurance, and aspiration. The poem then moves to the “beetle,” one of the smallest creatures in the human environment. The final image, that of the “fingertip,” introduces the human body which can be used as a comparative element to the beetle regarding scale.

4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

The haiku poem by Dennison prompts readers to reflect on personal problems and the larger world. It is a meditation on proportion. People experience the world based on their inner world. Their immediate concerns are psychologically large. A personal problem can occupy an entire day, week, or period of life. The poem introduces detachment. By imagining the beetle's world, the reader is temporarily displaced from the human world scale. The poem suggests that the significance of the personal problems changes when the frame of reference changes. A psychological experience can be enormous to the person experiencing it while it is very small in relation to the larger world. The poem encourages a contemplative attitude.

REFERENCES

- Atanasiu, C.T. (2026). Prin sindrila sparta, fan din Carul Mare. PIM Publishing House, Iasi, Romania.
- Dennison, M. (2026). Haiku in English: Sept. 4, 2026.
<https://mainichi.jp/english/articles/20260825/p2g/00m/0su/023000c>
- Freud, S. (1922). Introductory lectures on psycho-analysis: A course of twenty eight lectures delivered at the University of Vienna. G. Allen & Unwin.
- Hiraga, M. K. (1999). "Blending" and an Interpretation of Haiku: A Cognitive Approach. *Poetics Today*, 461-481.
- Keene, D. (1999). *Seeds in the heart: Japanese literature from earliest times to the late sixteenth century*. Columbia University Press.
- Kimura, T. (2022). Haiku and Modernism in Japan. *Haiku, other arts, and literary disciplines*, 234-246.
- Rosenblatt, L. M. (1994). *The reader, the text, the poem: The transactional theory of the literary work*. Siu Press.

DİGİTAL BRANDING OF CULINARY PRODUCTS IN PEMALANG

Himmatul Aliyah¹, Indah Naila Zulfa², Nabilati Naela Makhasin³, Rhessa Maulida⁴, Mahya Akmelia⁵

^{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: himmatul.aliyah24036@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The development of digital technology has changed the way Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) promote and introduce their products to consumers. In the culinary sector, digital branding has become an important strategy for building brand identity, increasing brand awareness, and expanding market reach. This study aims to describe the implementation of digital branding among culinary MSMEs in Pemalang and its potential to strengthen the identity of local culinary products. The study uses a descriptive qualitative approach based on relevant literature and information concerning digital marketing, local culinary products, and MSME development in Pemalang. The findings indicate that digital branding can help culinary businesses introduce their products beyond local markets through social media, digital catalogs, visual content, and online interactions with consumers. Digital branding is not limited to the use of logos, names, or packaging, but also includes the presentation of product stories, production processes, local characteristics, and consumer experiences. Products such as Bandeng Salto from Ulujami demonstrate how local identity and regional characteristics can become important elements in developing a culinary brand. Meanwhile, digital marketing activities among MSMEs in Tegalmati show opportunities to improve product visibility and expand promotional reach through digital media. However, challenges remain, particularly in terms of digital skills, content creation, consistency, and maintaining local identity in broader markets. Therefore, strengthening digital capabilities and collaboration among MSMEs, communities, and local government is important to support the development of culinary digital branding in Pemalang. Digital branding can consequently serve not only as a marketing strategy but also as a means of preserving and promoting local culinary identity in the digital era.

Keywords: digital branding, culinary MSMEs, brand awareness, local identity, Pemalang.

CREATIVE PRODUCT DEVELOPMENT IN TOURISM: STRENGTHENING LOCAL IDENTITY AND CREATIVE ECONOMY IN PEMALANG REGENCY

Nindi Aulia¹, Fika Dea Lova², Ismi Nurhanifah³, Cahya Amelia⁴, Dwi Tika Wulan Sari⁵

**^{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: nindiaulia269@gmail.com

Abstract

Tourism development is increasingly influenced by creativity, innovation, and the ability to transform local potential into products and experiences with added value. This study discusses the development of creative products in tourism in Pemalang Regency by examining the relationship between local potential, creative economy, destination identity, and tourism experiences. The study is based on a review of several relevant studies concerning the creative economy, Banyumudal Tourism Village, Benowo Park, and the “Pemalang Pusere Jawa” city branding program. The findings indicate that Pemalang Regency has considerable potential for developing creative tourism products, supported by creative economy actors, tourism villages, natural and cultural attractions, culinary products, crafts, and local products. Creative products can take various forms, including handicrafts, fashion, culinary products, souvenirs, visual identities, cultural performances, festivals, and community-based tourism experiences. However, challenges remain, particularly regarding low product value, limited innovation, inconsistent visual identity, and inadequate digital promotion. The cases of Banyumudal and Benowo Park demonstrate the importance of consistent visual branding in communicating destination characteristics, while local products such as Goyor woven fabric illustrate how traditional products can contribute to destination identity. Therefore, creative product development in Pemalang should focus on utilizing local uniqueness, improving product innovation, strengthening consistent visual identity, optimizing digital technology, and increasing collaboration among communities, creative industry actors, government, academics, and other stakeholders. These strategies can support tourism competitiveness while creating economic opportunities and strengthening Pemalang’s regional identity.

Keywords: Creative Product; Tourism; Creative Economy; Destination Branding; Local Identity; Pemalang Regency

PEMALANG HALAL FOOD INDUSTRIAL AREA: A STRATEGIC CONCEPT FOR DEVELOPING AN INTEGRATED HALAL FOOD MANUFACTURING HUB

Tabik Asghar Ramadhani ¹, M. Abdul Latif ², Muhamad Haikal Adzimil Anam³, Ghatfan Alhamda Rahman⁴,
Muhammad Hidayatullah 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: tabik.asghar.ramadhani24189@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The development of a Halal Food Industrial Area in Pemalang Regency represents a strategic opportunity to strengthen regional economic growth through the integration of local resources, halal value chains, and food processing industries. This study presents a conceptual framework for developing Pemalang as a Halal Food Manufacturing Hub by integrating agricultural, fisheries, livestock, MSME, investment, institutional, and digital potentials. The halal industrial area is viewed not merely as a concentration of halal-certified businesses, but as an integrated ecosystem that ensures halal integrity throughout the value chain, from raw material production and processing to storage, packaging, distribution, marketing, and consumption. Pemalang has a strong economic foundation, particularly in agriculture, as well as potential commodities such as rice, corn, pineapple, mango, meat, and fish that can be further processed into higher-value halal products. The proposed development model emphasizes the strengthening of local raw materials, commodity downstreaming, MSME empowerment, digital supply-chain traceability, investment facilitation, and market expansion toward national and global markets. Institutional collaboration among local government, industries, MSMEs, cooperatives, farmers, livestock producers, fishers, financial institutions, universities, research institutions, and halal certification authorities is considered essential to ensure effective coordination. Nevertheless, several challenges must be addressed, including raw material continuity, standardization, halal certification, infrastructure, financing, market access, and institutional capacity. Therefore, the development of Pemalang as a Halal Food Manufacturing Hub should be implemented gradually through mapping, consolidation, downstreaming, standardization, and market expansion, supported by comprehensive feasibility studies and measurable development indicators.

Keywords: Pemalang; halal food industry; halal value chain; halal manufacturing hub; MSMEs; food processing; regional development

HALAL CULINARY TOURISM AS A CREATIVE ECONOMY STRATEGY FOR STRENGTHENING LOCAL CULINARY POTENTIAL IN BATANG REGENCY

Miftakhudin¹, Muhammad Naziih Haniif², Irfandi Rizqullah³, Sauqi Masda Qama⁴, Adhi Wira Pradana Sugiyanoro⁵

^{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: miftakhudin24158@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The development of halal tourism has expanded beyond the provision of religiously compliant food and beverages to encompass a broader travel experience that considers accessibility, clear halal information, Muslim-friendly facilities, service quality, and consumer comfort. Within this development, halal culinary tourism can serve as a strategic approach to connect Muslim tourists' needs with local economic potential. This study discusses the concept and development opportunities of halal culinary tourism in Batang Regency by integrating local culinary potential, tourism, creative economy, and the empowerment of Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs). Batang Regency has strategic geographical conditions and diverse tourism resources, including coastal areas, mountainous destinations, waterfalls, historical sites, and religious tourism. These resources provide opportunities to integrate local culinary products into the overall tourist experience. The development of halal culinary tourism is not limited to halal certification but also involves product innovation, attractive packaging and presentation, accessibility, digital marketing, clear halal information, and the strengthening of local cultural narratives. Traditional culinary products can therefore be transformed from ordinary consumption goods into creative economic products and distinctive tourism attractions. Furthermore, collaboration among MSMEs, local communities, tourism managers, local government, halal certification institutions, and other tourism stakeholders is essential to establish an integrated halal culinary tourism ecosystem. Such integration may encourage tourists to explore not only culinary destinations but also villages, MSME centers, traditional markets, cultural activities, and other tourist attractions. Accordingly, halal culinary tourism has the potential to strengthen the competitiveness of Batang Regency as a Muslim-friendly destination while creating broader economic value and supporting the preservation and development of local culinary and cultural heritage.

Keywords: Halal Culinary Tourism; Creative Economy; Local Culinary; MSMEs; Batang Regency

HALAL CREATIVE PRODUCTS IN PEMALANG: DEVELOPING LOCAL CRAFTS THROUGH HALAL VALUES, CULTURAL IDENTITY, AND CREATIVE ECONOMY

Syihabud Din¹, Nafal Fikri², May Naila Khoiroh³, M. Nasrul Rusydi Al Arzaqinaa⁴

^{1,2,3,4} Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Economics, Central Java, Indonesia

Email: syihabud.din24035@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The development of *Halal Creative Products* offers an opportunity to integrate creativity, cultural identity, innovation, and Islamic values into the development of local products. In Kabupaten Pemalang, this concept is particularly relevant to the craft subsector, which has strong potential to transform traditional crafts into products with higher economic, cultural, and market value. This study discusses the concept of *Halal Creative Products* in Pemalang by examining the relationship between halal principles, creative processes, local cultural identity, product quality, branding, and marketing. The discussion shows that halal should not be understood merely as a label attached to a product, but as an approach that can be considered throughout the production process, including the selection of materials, production procedures, cleanliness, storage, packaging, and marketing. This approach is increasingly relevant as the Pemalang local government has encouraged the acceleration of halal certification for micro, small, and medium enterprises and the strengthening of halal product branding. In the craft sector, attention to halal materials and production processes can be combined with local motifs, traditional techniques, natural materials, contemporary designs, and cultural storytelling. Such integration can create products that possess functional, aesthetic, cultural, ethical, religious, and economic value simultaneously. Therefore, the development of halal creative crafts in Pemalang can serve as a strategy to strengthen local product competitiveness while preserving cultural identity. The concept also provides opportunities for local crafts to enter wider markets by responding to growing consumer attention to quality, ethical values, sustainability, and religious considerations. Ultimately, halal certification should function not only as an end goal but also as part of a broader effort to establish a culture of halal production integrated with creativity, innovation, quality, and local identity.

Keywords: *Halal Creative Products; Craft Industry; Creative Economy; Halal Certification; Cultural Identity; Pemalang*

DEVELOPING THE HALAL INDUSTRY ECOSYSTEM IN PEMALANG REGENCY: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN CERTIFICATION, INSTITUTIONAL SUPPORT, AND DIGITALIZATION

Fina Himatul KHUSNA¹, Eva KHAERiyAH², Kamilah FIDINI³, Novi MARISKA⁴, Hernawati⁵

**^{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: fina.himatul.khusna24121@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

This study explores the development of the halal industry ecosystem in Pemalang Regency, with particular emphasis on the home-based food industry and micro, small, and medium enterprises (MSMEs). Drawing on three relevant studies, the analysis addresses local producers' perceptions of halal certification, the strengthening of the regional halal ecosystem through mentoring programs, and the roles of certification, the digital economy, and sharia financial institutions in advancing halal industry development. The findings show that business actors in Pemalang already possess a reasonably strong awareness of the importance of halal certification, yet they continue to face obstacles related to limited information, certification costs, and restricted access to certification services. This indicates that the halal ecosystem in Pemalang remains at a developing stage, in which producer awareness has grown but institutional support has not yet reached an optimal level. The study further shows that halal certification not only guarantees product compliance but also enhances market competitiveness and consumer trust, while digitalization broadens market access and sharia financial institutions help address the capital constraints faced by home-based producers. Strengthening the halal ecosystem in Pemalang therefore requires closer collaboration among local government, certification bodies, halal mentors, business actors, and sharia financial institutions, together with more intensive outreach, accessible certification assistance, and reinforcement of the entire halal value chain from raw materials to marketing. With these measures, Pemalang has the opportunity to build a halal industry ecosystem that is not only compliant with sharia principles but also inclusive, competitive, and sustainable, contributing to regional economic growth and the competitiveness of local products.

Keywords: halal industry ecosystem; halal certification; home industry; digital economy; sharia financial institutions; Pemalang Regency.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SOCIAL CHANGE: BETWEEN INNOVATION, INEQUALITY, AND THE RECONFIGURATION OF HUMAN RELATIONS

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

The rapid development of artificial intelligence has become a major catalyst for social change, influencing institutions, professional practices, and everyday interactions. This paper examines the complex relationship between artificial intelligence and contemporary society, focusing on the opportunities generated by technological innovation, as well as on the social risks associated with its expansion. Using a conceptual and interdisciplinary approach, the analysis explores transformations in education, employment, communication, and human decision-making. Artificial intelligence can facilitate access to information, personalize learning, improve productivity, and support solutions to complex social problems. At the same time, its unequal distribution may deepen existing disparities between individuals, professional groups, and communities. Algorithmic bias, employment insecurity, digital exclusion, surveillance, and the erosion of personal autonomy represent significant challenges that require sociological attention. The paper argues that artificial intelligence should not be understood solely as a technological instrument, but as a social force whose effects depend on the values, institutions, and power relations that guide its development and use. Responsible governance, digital education, transparency, and inclusive public policies are therefore essential for ensuring that technological progress contributes to social well-being. The study concludes that the integration of artificial intelligence into society must preserve human dignity, social responsibility, and equitable participation.

Keywords: Artificial Intelligence, social change, social inequality, human relations, digital transformation

1. INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) has entered ordinary organizational routines, but its consequences cannot be inferred from technical capability alone. An identical tool can reduce administrative work in one setting and intensify monitoring in another. The question is how access, institutional rules and the distribution of discretion shape those outcomes. This article develops a sociological interpretation of AI as a changing arrangement of resources, tasks and authority. It uses published descriptive indicators to anchor, rather than test, the conceptual argument.

The analytical contribution is a distinction among three levels: unequal opportunity to use AI, reallocation of work and judgment within institutions, and changes in the conditions of human interaction. These levels interact, yet none is reducible to the rate of adoption. The analysis therefore keeps enterprise adoption, individual generative AI use and modeled occupational exposure separate. Eurostat (2025a, 2026) and the International Labour Organization (ILO; Gmyrek et al., 2025) measure different populations and phenomena.

The public debate often moves directly from a demonstration of what an AI model can do to a prediction about how society will change. That shortcut conceals the conditions under which a capability becomes a practice. A system must be purchased or made available, connected to an existing workflow, accepted by users, supervised by an institution and assessed against a purpose. The people who perform these steps do not have equal resources or the same authority. As a result, the sociological object is neither an isolated model nor an undifferentiated society. It is the situated relationship among technology, organizations and people who may benefit from, resist or be evaluated through it.

This article asks three linked questions. First, through which mechanisms might unequal access to AI become an unequal capacity to benefit? Second, how does organizational adoption alter the division of labor and the location of accountable judgment? Third, what happens to trust, explanation and reciprocity when an automated output becomes part of an encounter between people? The questions address different outcomes. Someone may have access to a service while lacking the ability to challenge its recommendation; a worker may be highly exposed to automation potential while retaining a secure position; and a student may use a tool frequently without learning more effectively. Keeping these distinctions visible is the central methodological commitment of the paper.

The argument is situated between technological optimism and generalized alarm. AI can support translation, information retrieval, drafting, pattern recognition and more timely assistance. Those capabilities may save time

and make services easier to reach. Their advantages depend on accuracy, relevant training, accessible interfaces and an institution able to correct failures. The same deployment can introduce uneven surveillance, opaque decisions or dependence on a supplier. OECD research on job quality emphasizes that the organization of work mediates whether a technology relieves tedious tasks or raises work intensity (OECD, 2023). UNESCO's guidance likewise treats human capacity, privacy and pedagogical design as conditions for meaningful educational use (Miao & Holmes, 2023).

The article contributes a structured interpretation rather than an estimate of a single net social effect. It connects published indicators to a framework of access, institutional implementation, social interaction and distributional outcomes. Five tables distinguish mechanisms and evaluation questions; eight figures show different descriptive patterns in enterprise and individual use. The theoretical discussion sets out why the same percentage can carry different meanings depending on its denominator and the institutional setting. The findings then interpret each visual as evidence with a defined scope. The conclusion develops a research agenda that would make claims about equity, autonomy and well-being testable rather than rhetorical. This organization follows the congress template while avoiding repetition between prose, tables and charts.

1.1. Conceptual Framework

A relational view of technology treats its effects as contingent on organizational choices and social position. Diffusion can widen gaps when early users possess connectivity, skills, time and influence, while late users face costs and uncertain benefits. At the workplace, the distribution of gains depends on whether AI complements employees' expertise or narrows their autonomy. The OECD (2023) describes both changes in tasks and possible effects on job quality, including privacy and work intensity. Exposure to generative AI, in turn, describes a potential for task transformation; it does not measure actual displacement (Gmyrek et al., 2025).

1.1.1. Technology as a Social Arrangement

An AI output reaches a person through a chain of decisions about data, infrastructure, procurement, interface design and organizational rules. The resulting action can appear automated even when human labor has selected training material, written prompts, checked responses or handled exceptions. A sociological account therefore follows the chain of mediation. In a school, a generated explanation may support a teacher's lesson or substitute for a conversation that would reveal a student's misconception. In an office, an automated summary may release time for complex work or become a new measure of expected speed. Technical similarity does not imply social

equivalence. What matters is who defines the task, who receives credit for success and who bears the cost of error.

The term AI also groups unlike technologies. Eurostat's enterprise measure includes systems that analyze written language, generate text or images, recognize speech, process images, automate workflows and enable autonomous movement (Eurostat, 2025a). These systems enter different professional relationships and can carry different forms of risk. The broad adoption indicator is useful for measuring diffusion, but cannot tell us whether an institution uses a text assistant for internal drafting or a system that influences decisions about people. This conceptual heterogeneity explains why a sociological analysis must distinguish task, authority and consequence before evaluating an intervention.

A relational approach directs attention to the distribution of voice. Procurement staff, developers, managers, frontline employees and service users may all participate in one AI deployment, yet only some can change its settings or discontinue it. Formal human oversight can be nominal when the person asked to verify outputs lacks time, expertise or the ability to override them. Conversely, well-designed review may strengthen human judgment by exposing uncertainty and inviting correction. The issue is not merely whether a human remains somewhere in the process, but whether that person has the knowledge, resources and legitimate authority required to act. This argument motivates the institutional and interactional categories in Table 1.

1.1.2. Diffusion and Cumulative Inequality

Access is often described as a binary division between users and nonusers. In practice, there are several thresholds: reliable connectivity, an appropriate device, language support, time to experiment, training, permission to use a service and a reason to regard it as helpful. A person may pass one threshold and fail another. An employer may purchase software without enabling meaningful use among all staff. The unequal distribution of these enabling conditions can make early gains cumulative: those already able to experiment obtain skills, integrate tools into routines and influence what counts as competent performance. Others confront higher expectations without comparable support. This is a theoretical mechanism, not a measured effect of the percentages reported below.

The distinction between access and benefit is especially important across firm sizes. Large enterprises may have teams that negotiate contracts, assess privacy, train employees and monitor system performance. Smaller organizations may depend on general-purpose products and have less capacity to test them in local conditions. Eurostat identifies a clear size gradient in adoption, while noting that implementation complexity, scale and

costs may help explain it (Eurostat, 2025a). These possible explanations should be investigated rather than assumed. A size difference cannot by itself reveal whether small firms face lack of capital, unsuitable products, limited skills, sector composition or a rational judgment that current tools offer little value.

The individual data add a second dimension. A high rate of generative AI use among young adults can coexist with diverse forms of understanding, from occasional experimentation to critical and sustained use. Older adults' lower use should not automatically be labeled a deficit. Nonuse may express unfamiliarity, exclusion, privacy concerns or simply a lack of perceived need. A policy that equates participation with compulsory adoption risks erasing legitimate choices. An equitable approach supplies the conditions to use a tool when it serves a person's goals while preserving alternatives for those who decline it. This is a more demanding standard than maximizing a single headline adoption rate.

Inequality may also emerge after the moment of use. Some individuals can verify an answer with professional knowledge, while others must rely on its surface plausibility. Some can challenge an automated recommendation through established channels; others may have no practical route to redress. In this sense, the distribution of interpretive and procedural resources matters alongside the distribution of devices. Equity requires asking whether benefits, errors, waiting times and appeals differ by age, education, occupation, language and organizational position. It also requires attention to those absent from a particular survey's denominator, such as very small enterprises in the Eurostat business measure.

1.1.3. Work, Tasks and Organizational Power

Predictions about AI and employment frequently collapse three distinct propositions. Occupational exposure means that a set of tasks could be affected by a technology under specified assumptions. Adoption means that an organization reports using a relevant system. Displacement means that employment has actually ended or changed as a consequence. None of these follows mechanically from the other two. The ILO's refined index estimates task exposure using task information, expert input and AI model predictions; it explicitly points toward job transformation rather than treating potential exposure as a count of lost jobs (Gmyrek et al., 2025). The OECD similarly emphasizes changes in work content and job quality alongside employment questions (OECD, 2023).

The social outcome of task change depends on bargaining power and organizational choices. If routine work is reduced, employees may gain time for judgment, care and coordination. Alternatively, managers may use time savings to increase output targets, reduce discretion or intensify monitoring. Workers may need new skills to

check outputs and resolve unusual cases, yet this less visible work may not be recognized or rewarded. The effects of AI therefore pass through job design: how tasks are bundled, who controls the pace and which forms of expertise count. A narrow measure of productivity cannot capture whether work has become more meaningful, safer or more secure.

Algorithmic management presents a particularly clear example of the relation between technical assistance and authority. A system can help schedule tasks or identify patterns that a supervisor would overlook. It can also make workers subject to continuous ranking, obscure the grounds of a decision or shift accountability from a manager to a seemingly neutral score. The OECD notes the possibilities for both improved consistency and harm to privacy, autonomy or fairness when AI supports managerial decisions (OECD, 2023). The appropriate evaluative question is therefore whether employees know the relevant criteria, can contest errors and participate in revising rules. These conditions are organizational and political, not features guaranteed by a model's accuracy alone.

1.1.4. Education, Knowledge and Human Agency

Educational use poses a different question from enterprise uptake. A tool may produce a fluent answer without showing whether a learner has understood the underlying reasoning. It may help a student explore alternatives, receive immediate feedback or overcome a language barrier. It may also conceal misconceptions, reproduce an error or encourage submission of work that the student cannot explain. The teacher's task shifts from providing every answer to designing work that makes understanding visible and checking where generated material enters the learning process. UNESCO's guidance calls for human-centered design, age-appropriate use, privacy protection and the development of human capacity (Miao & Holmes, 2023).

Human agency in learning has at least three components. Students should understand what a system can and cannot establish, retain opportunities to practice unaided judgment and have a way to disclose its contribution without stigma or ambiguity. Teachers need time and institutional support to evaluate tools rather than being expected to absorb new monitoring duties invisibly. Institutions must determine what information can be entered into an external service and who is accountable for a harmful or incorrect response. A blanket rule that either prohibits all use or permits all use misses differences between brainstorming, formative feedback, final assessment and sensitive student information. Table 3 develops a setting-specific set of questions from these principles.

1.1.5. Interaction, Trust and Accountability

Human relations are altered when one participant relies on a generated response that the other cannot see or examine. This may improve communication by translating, summarizing or explaining information more clearly. It can also produce uncertainty about authorship, intention and responsibility. When a manager delivers a recommendation informed by an algorithm, the worker may need an explanation of both the machine's contribution and the manager's judgment. When a public service sends an automated response, the citizen must know where to seek a responsible person if it is wrong. Trust is sustained by intelligible procedures and reliable correction, rather than by anthropomorphic presentation of a system.

Transparency is therefore relational rather than merely technical. Providing a dense technical description does little for a person who needs to know why a request was refused and what can be done next. Meaningful disclosure should fit the decision and the affected person's ability to act. A low-stakes drafting aid may require a different explanation from a system that influences assessment, allocation or eligibility. The OECD AI Principles connect transparency, accountability, fairness and respect for human rights to trustworthy AI (OECD, 2024). These principles become sociologically useful when translated into the practical capacities of people who encounter systems: notice, understanding, challenge and remedy.

Interaction also includes nonuse and refusal. A person who chooses to speak to a teacher, clinician, administrator or colleague rather than an automated interface may be protecting privacy, seeking empathy or dealing with a matter too complex for a routine answer. Preserving a human channel is not simply a concession to those unfamiliar with technology. It allows institutions to detect exceptional cases and maintain reciprocal accountability. Whether such channels remain genuinely available is an empirical question. Waiting time, accessibility and staff authority should be observed, because an advertised alternative may be practically unusable.

1.1.6. A Synthesis for Empirical Assessment

The five strands of the framework connect in a sequence without implying technological determinism. Access determines who can enter a system. Institutional implementation shapes the available tasks and rights. Interactions reveal whether people can understand and challenge outputs. Distributional assessment asks who ultimately receives gains or bears costs. Feedback from complaints and outcome measurement should then alter the institution's design. A change at any stage can redirect the result. This framework is deliberately more

specific than a claim that AI is either beneficial or harmful. It identifies observations needed to decide among competing explanations in a particular setting.

Its limits are equally clear. The descriptive indicators used in this article cannot measure trust, learning, wage change, discrimination or autonomy directly. Their value is to show the scale and unevenness of diffusion and to locate settings that deserve further inquiry. A full empirical test would combine longitudinal administrative or survey data with interviews, workplace observation and records of complaints or appeals. It would specify a comparison group and examine whether differences predated deployment. The conceptual framework thus guides evidence collection while guarding against an unwarranted causal interpretation of aggregate adoption figures.

Before turning to measurements, the argument needs a vocabulary that separates presence from consequence. Table 1 organizes four levels of inquiry. Its columns pair each level with an observable question and a warning about inference. The table is conceptual and therefore contains no new percentages. It guides the reading of later graphs: a firm can report adoption without proving equal access among workers, and a person can report use without demonstrating trust or benefit.

Table 1. Distinct meanings of AI related change

Level	Observable question	Interpretive limit
Access	Who can use tools with adequate skills and infrastructure?	Use does not establish benefit.
Institution	Who selects systems and retains the right to contest outputs?	Adoption does not establish fair decisions.
Interaction	How do users disclose, verify and negotiate AI assistance?	Frequency does not measure trust.
Distribution	Which groups gain time, pay or voice?	Group averages conceal differences.

Note. The levels organize the argument; they are analytical categories, not estimates.

Source: Author's conceptual synthesis of the cited literature.

The table makes an important separation: diffusion occurs at the level of access, while social value appears only when an institution translates access into accountable practice and a distribution of outcomes. A study that asks only whether a respondent used AI may miss whether the use was voluntary, whether an error could be corrected and whether gains accrued to a different group. These omissions matter because adoption is comparatively easy to count, while voice and power require more situated evidence. The framework therefore treats each successive level as a new empirical question rather than an automatic consequence of the preceding one.

2. METHOD

This is a structured conceptual review supported by secondary descriptive statistics. Sources were selected for publicly documented definitions and relevance to three domains: EU enterprise adoption, EU individual use and global occupational exposure. Eurostat's enterprise survey covers firms with at least 10 employees and self-employed persons; its 2025 survey sampled about 157,000 EU enterprises. The household measure asks people aged 16–74 about generative AI use in the previous three months. The ILO index models occupational exposure from task information and expert assessment (Eurostat, 2025, 2026; Gmyrek et al., 2025).

Percentages are reproduced from Eurostat's published chart workbook and statistical articles. The 2023 EU enterprise figure comes from Eurostat's 2024 release. Values are rounded to one decimal place in graphics. Dashed fitted lines in Figures 1–4 describe only the plotted years; with two observations they are connecting slopes, not forecasts or inferential models. Cross-sectional Figures 5–8 show distinct profiles and contain no temporal trend line. Countries and categories are illustrative selections, explicitly identified in the captions. There is no original survey, causal identification, or harmonization across the three source populations.

The review proceeds in four steps. It first fixes the unit of observation for each source. It then extracts descriptive contrasts relevant to the framework, including change over time, organizational size, national and sectoral variation, demographic use and reported nonuse. Next it asks which social mechanism a contrast could plausibly illuminate. Finally it states what the aggregate indicator cannot resolve. This sequence prevents a chart from serving as a substitute for an explanation. It also reduces duplication: the figures display percentages, while the tables identify conceptual distinctions and practical evaluation questions not contained in the source spreadsheets.

A percentage can be compared only with attention to its denominator. Enterprise adoption refers to enterprises in scope, while Figure 4 reports a share of nonadopting enterprises. The household figures refer to people or to nonusers, depending on the question. Sectoral and technological categories may overlap when firms use several systems. The plotted trend lines in Figures 1–4 are visual descriptions, not statistically estimated trajectories with predictive confidence. With two years, every fitted straight line passes through both observations by construction. Cross-sectional category charts intentionally contain no line described as a temporal trend. This decision follows the logic of the data while preserving the requested variety of graphic styles.

No source was used to assert that a specific person's job was lost, that a learner's achievement improved or that trust declined. Citations in the theoretical discussion identify the institutional reports that motivate questions

about work, education and governance; claims about possible mechanisms are explicitly framed as interpretations. The article does not conduct a systematic review with exhaustive search and quality scoring. Its original contribution is conceptual integration and a transparent reading of selected official indicators. Generalization must therefore remain limited to the reported populations and the stated theoretical propositions. The framework identifies the kinds of relationships that an adequate study should measure. The descriptive findings now show where those relationships may be especially consequential, beginning with the spread of organizational use. Each figure answers one limited question, and each accompanying interpretation returns to the social mechanism it can illuminate. The sequence then moves from enterprises to individuals, before bringing occupational exposure back into the discussion.

3. FINDINGS

EU enterprise adoption rose from 8.0% in 2023 to 19.95% in 2025 (Figure 1). The increase marks diffusion within a defined firm population, not universal use by workers or residents. The size gradient remained pronounced in 2025: large firms were more likely to report AI use than smaller ones (Figure 2). Access to implementation capacity is therefore a plausible institutional mechanism, though these aggregate figures alone do not identify its causes.

The first graphic establishes the scale of organizational diffusion before considering which firms benefit. It uses one consistent EU enterprise indicator across three annual observations. This is the only figure with more than two time points, allowing a descriptive fitted line to convey the direction of the observed series. The chart does not measure the intensity of use within a firm, the quality of implementation or any resulting social outcome. Reading it as a baseline prevents later differences among groups from being mistaken for a general absence of change.

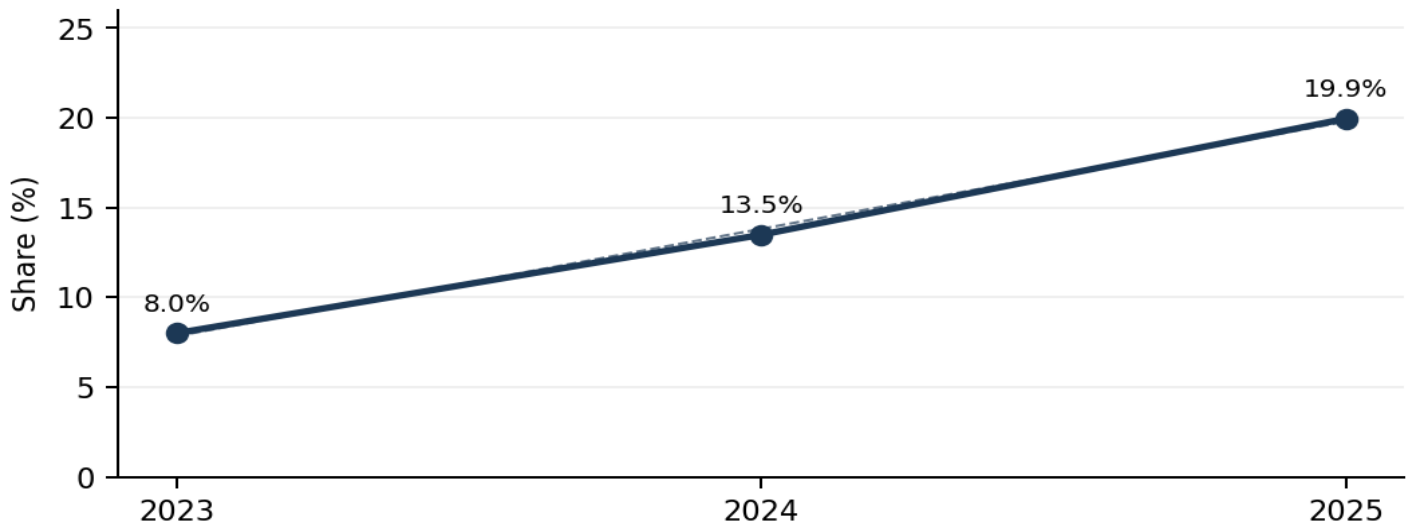


Figure 1. EU enterprise adoption of at least one AI technology, 2023–2025

Note. Enterprises with at least 10 persons employed; dashed line is a descriptive linear fit across three annual observations.

Source: Eurostat (2025a), *isoc_eb_ai*; Eurostat (2025b), 2023 baseline.

The observed rise is consistent with a process in which AI becomes a more ordinary organizational resource. It is not evidence that every worker in a reporting firm interacts with AI, or that an institution has delegated consequential decisions to it. Nor does a fitted line across three observations warrant a forecast. Sociologically, the series marks an expanding field of possible encounters between systems and established routines. The critical next question concerns the distribution of the capacity to shape those routines. If access to implementation staff and opportunities for experimentation is unequal, growth in an aggregate share can coexist with widening differences among organizations.

An EU average can conceal the organizational resources needed to convert a purchase into routine practice. To examine that problem, the next figure compares three enterprise size classes in the same two survey years. Its lines show how each class changed over the observed interval, while the vertical distance among lines expresses a cross-sectional inequality. The relevant sociological question is whether resources for training, oversight and technical integration travel with organizational scale. The percentage itself cannot answer that question, but it identifies a strong contrast deserving explanation.

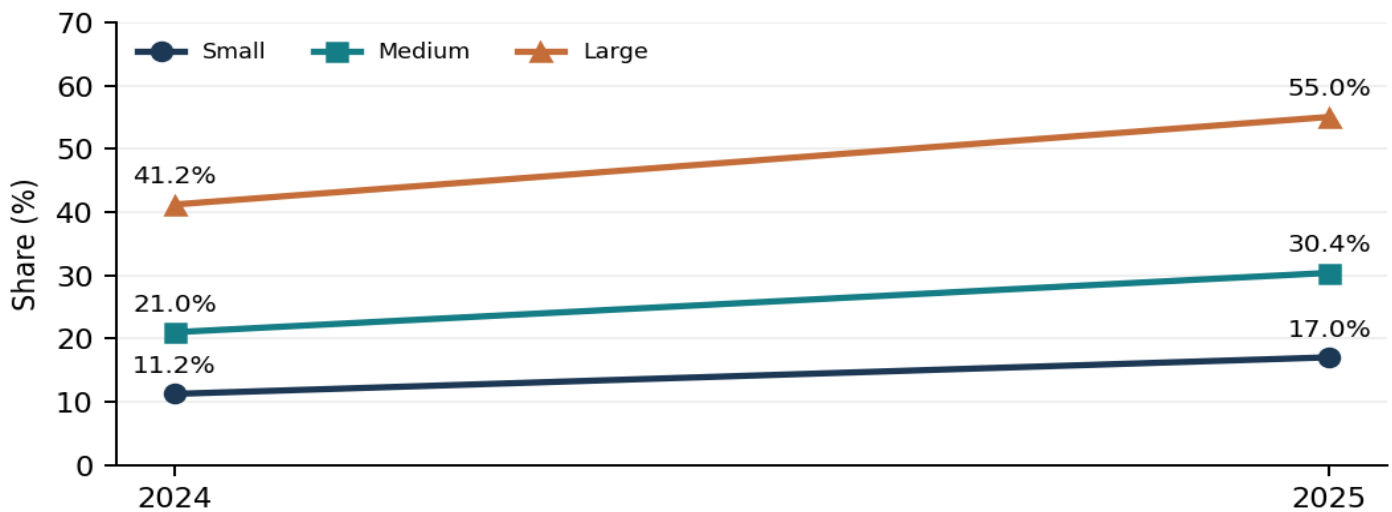


Figure 2. AI adoption by enterprise size in the EU, 2024–2025

Note. Small, medium and large size classes; dashed segments describe the two observed years and do not predict future uptake.

Source: Eurostat (2025a), Figure 1 source workbook, *isoc_eb_ai*.

The persistence of the size gradient suggests that adoption follows organizational capacity as well as technical availability. A large firm may spread fixed costs, create internal standards and recruit specialized staff; a small firm may have fewer such options. These are plausible mechanisms, not causes demonstrated by this chart. The two-year increase in every displayed class also cautions against portraying smaller firms as static. Research should ask whether their adoption produces similar benefits once sector and task are held constant. It should further examine employee participation: a formally adopting firm can distribute tools widely or confine them to management, with very different implications for power and skill formation.

The selected countries in Figure 3 show that a common policy environment does not erase national variation. Denmark and Finland are high uptake examples; Poland and Romania are low uptake examples. The comparison is descriptive and cannot attribute differences to one factor. Even among firms that did not use AI, prior consideration varied with size (Figure 4), suggesting that interest and implementation are separate stages. National context may condition access through the composition of industries, skills systems and institutional support. Figure 3 deliberately selects two relatively high-adoption and two lower-adoption EU members to display the spread visible within a shared statistical framework. It is not a league table or a representative

sample of countries. The Romanian observation is particularly relevant to the author's setting, but a country percentage describes firms in scope rather than the practices of any named Romanian institution.

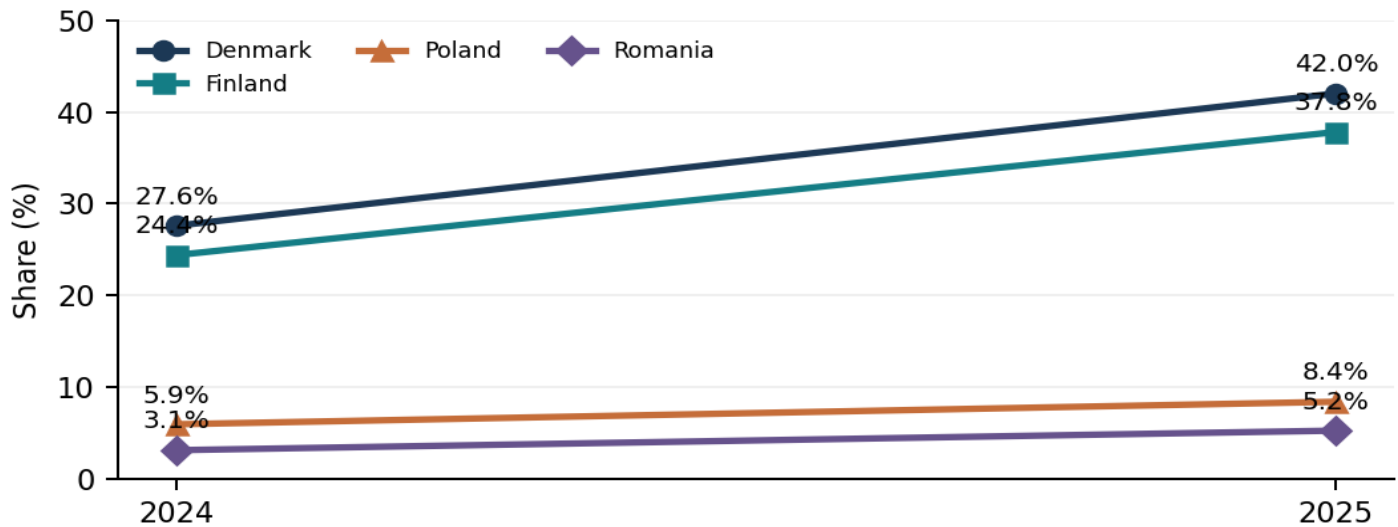


Figure 3. Selected country differences in enterprise AI adoption, 2024–2025

Note. Selected high and low uptake EU members; the dashed two point lines describe observed change only.

Source: Eurostat (2025a), Figure 2 source workbook, isoc_eb_ai.

The high and low country examples all show growth, but their starting positions and 2025 levels differ. An interpretation that attributes this spread solely to national culture would ignore the composition of enterprises and the conditions of the survey. The comparison instead frames questions about infrastructure, digital training, investment and sector mix. For Romania, the relatively low enterprise percentage should not be used to claim that Romanian citizens, schools or particular occupations never use AI. They belong to other populations. The appropriate sociological inference is more limited: organizational diffusion was uneven across national settings even under a comparable EU indicator, warranting contextual study.

A nonadopting firm may have considered AI and still chosen not to implement it. This distinction separates awareness or interest from realized use. Figure 4 reports the share of firms without AI that had considered using it, divided by enterprise size. Its denominator differs from that of Figures 1–3. Comparing the two kinds of percentage as if they were directly additive would be an error. The figure instead helps identify an intermediate decision stage at which organizational constraints or assessments of utility may intervene.

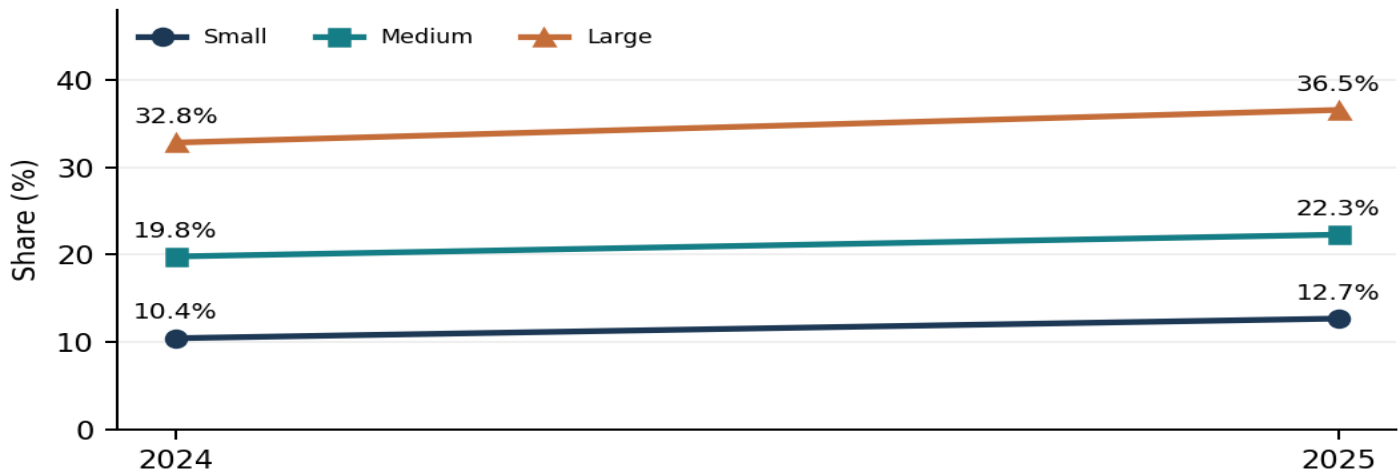


Figure 4. Nonadopting EU enterprises that had considered AI, 2024–2025

Note. Denominator is enterprises using no AI; firm size classes; dashed segments show observed year to year change.

Source: Eurostat (2025a), Figure 6 source workbook, *isoc_eb_ai*.

Consideration without implementation demonstrates that nonuse is not always a lack of awareness. The size differences could reflect costs, uncertainty, shortage of expertise or a judgment that available products do not solve a useful problem. Eurostat reports that among firms that had considered AI, lack of relevant expertise and uncertainty about legal consequences were common reasons not to use it (Eurostat, 2025a). This supports an inquiry into capability and governance, but does not let us assign any particular reason to the firms in the plotted size classes. Policies might therefore combine credible information, practical support and freedom to decline unsuitable tools rather than assuming that all nonadopters require persuasion.

The size and consideration comparisons raise questions about how institutions convert technical availability into practice. Table 2 lists four decision points that lie between procurement and experienced outcomes. It sets a possible benefit beside a risk to investigate. This arrangement is deliberately different from an adoption table: it proposes observable organizational processes rather than restating prevalence. It also distinguishes the purchase of a tool from the rights and capacities of employees who must use or live with it.

Table 2. Institutional routes from capability to unequal outcomes

Decision point	Potential gain	Risk requiring scrutiny
Procurement	Shared access to useful systems	Vendor dependence and uneven local capacity
Training	More staff can check outputs	Skills support concentrated in favored roles
Work allocation	Routine tasks become less burdensome	Remaining work intensifies or narrows
Review and appeal	Errors are corrected by accountable people	Unclear routes to challenge recommendations

Note. The mechanisms are hypotheses for organizational investigation, not causal findings from Figures 1–4.

Source: Author’s conceptual synthesis of the cited literature.

None of the beneficial routes in Table 2 follows automatically from a procurement decision. Training can be selective; review can be nominal; and a reduction in routine steps can coincide with tighter deadlines. Employees' accounts, policies and operational records would need to be compared to see which pathway occurred. The table thus reframes the size gradient: differences in resources may influence not only whether firms adopt, but also whether their adoption gives workers time, autonomy and meaningful oversight. Measuring use without examining the organization of work would leave the mechanism invisible.

Sectoral adoption in Figure 5 and the technology mix in Figure 6 indicate that “AI use” is not a single practice. Information and communication firms have substantially greater uptake than construction firms. Within all EU enterprises, text analysis is more common than systems enabling autonomous physical movement. These dimensions matter because the social stakes of a language assistant, a decision workflow and a mobile machine differ.

The sectoral comparison shifts the focus from organizational scale and national context to the kinds of work that firms perform. The four selected activities span a wide range of reported AI use. Because the data refer to one year, a bar chart shows differences in prevalence without suggesting temporal movement. The comparison is relevant to task composition: an information-intensive service and a physical construction workflow need not have the same opportunities for a particular AI system.

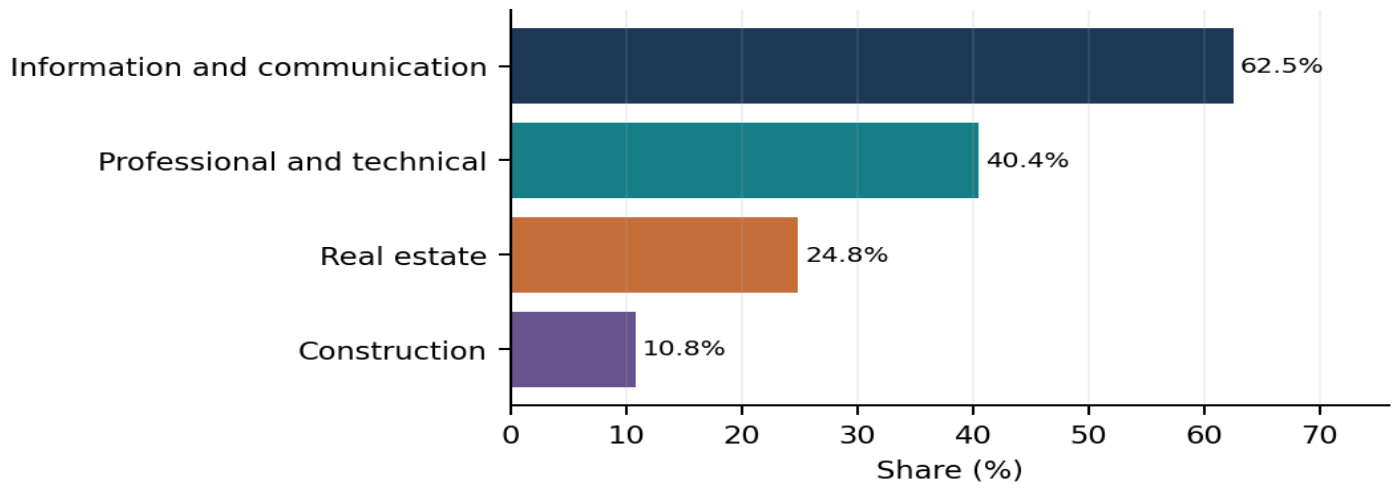


Figure 5. Enterprise AI adoption in selected EU sectors, 2025

Note. Percentage of enterprises in each sector; selected sectors illustrate variation; categories are not a time series.

Source: Eurostat (2025a), Figure 3 source workbook, *isoc_eb_ain2*.

The contrast between information and communication and construction is compatible with differences in task digitization and opportunities to process text, data or images. It cannot establish that one sector is more innovative or socially valuable. In construction, AI might be used for specialized planning while many day-to-day tasks remain physical; an aggregate enterprise indicator does not show intensity or impact. Sectoral context is therefore essential when evaluating who bears costs and who gains from adoption. A uniform target for every industry could reward superficial uptake and obscure improvements that matter within a specific workflow. Comparative research should examine the task before interpreting the sector's percentage.

The aggregate label AI adoption can obscure the type of technology an organization actually uses. Figure 6 disaggregates four selected forms, from analysis and generation of language or media to autonomous physical movement. Each bar refers to the share of all in-scope EU enterprises reporting a technology; the categories overlap. The comparison prepares the distinction between the spread of software used for symbolic work and the much smaller reported prevalence of embodied autonomy.

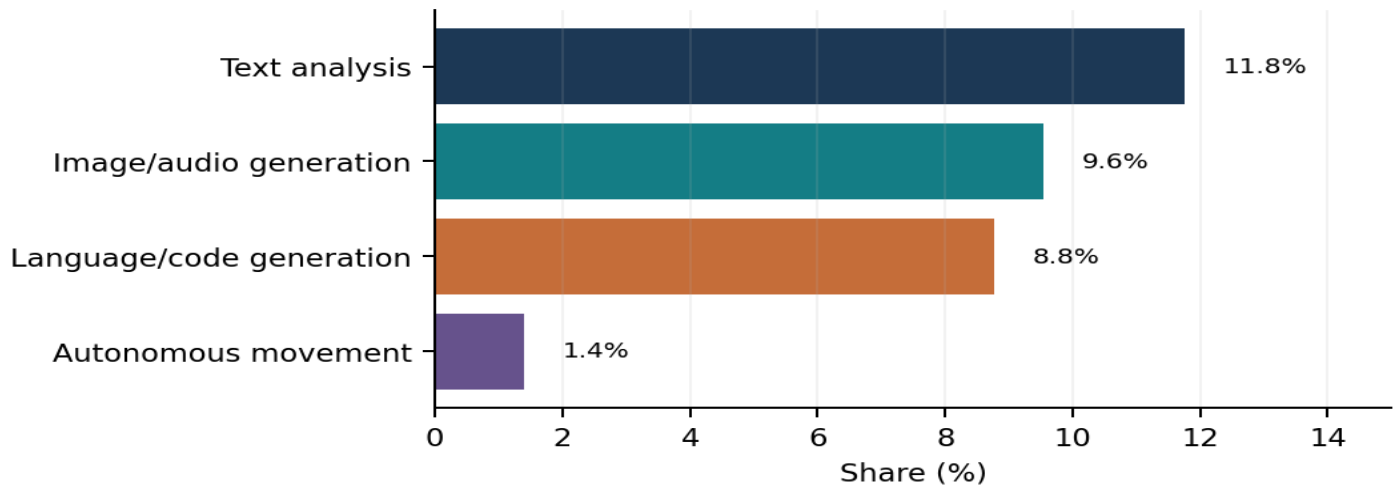


Figure 6. Selected AI technologies used by EU enterprises, 2025

Note. Percentage of all in scope enterprises; categories can overlap because a firm may use more than one technology.

Source: Eurostat (2025a), Figure 4 source workbook, *isoc_eb_ai*.

Text analysis and content generation are more prevalent in the displayed data than autonomous movement. This distribution gives weight to concerns about knowledge work, authorship and the verification of generated material. It does not mean that the less prevalent technology is socially negligible: a system used in a consequential physical setting could affect people substantially despite a low adoption share. The fact that categories overlap also prevents adding these bars to estimate total uptake. The sociological task is to match each technology to its site of use, affected relationships and review mechanism, rather than assign a single social effect to the category AI.

The sector and technology figures describe organizations, while the abstract also names education as a site of change. Table 3 translates the earlier theoretical account into four educational settings without claiming that the enterprise data measure schools. Its purpose is to identify the human judgment required when generative AI assists preparation, drafting, feedback or administration. The comparison helps specify what responsible use means for different tasks, instead of applying one undifferentiated classroom rule.

Table 3. Questions for assessing AI in education

Use setting	Educational opportunity	Human responsibility
Lesson preparation	Adapt examples to learner needs	Teacher checks accuracy and local relevance
Student drafting	Support exploration and revision	Student explains authorship and reasoning
Feedback	Offer timely formative suggestions	Teacher judges fairness and final assessment
Administration	Reduce routine documentation	Institution restricts sensitive data access

Note. This is an analytical application to education, not a measurement of schools or students.

Source: Author's conceptual synthesis of the cited literature.

The four educational settings create different stakes for authorship and data protection. A teacher's draft lesson can be checked before students see it, whereas a generated recommendation in an assessment may directly affect a learner's opportunity. A student's brainstorming can support understanding if the student explains and revises the result; it can undermine assessment if the submitted output substitutes for that process. These distinctions make a human-centered principle operational. Researchers should observe how teachers and students negotiate disclosure and checking, and evaluate learning rather than count prompts or licenses (Miao & Holmes, 2023).

Individual adoption exhibits a different distribution. Eurostat (2026) records a wide age gap and a substantial education gradient (Figure 7). These cross-sectional percentages neither show an individual's ability nor establish the reason for nonuse. The reported main reason among nonusers is often lack of perceived need, well above uncertainty about operation or privacy concerns (Figure 8). A policy that assumes everyone wants the same tool could therefore misread a deliberate choice as exclusion.

Enterprise adoption cannot tell us who uses generative AI in ordinary life. Figure 7 turns to the 2025 household survey and selects age and educational groups with explicitly distinct classifications. These are comparisons within a single year, not trajectories of individuals as they age. The chart does not show whether users rely on AI every day, what they do with it or whether it improves their lives. It provides a starting point for examining unequal opportunity and capability.

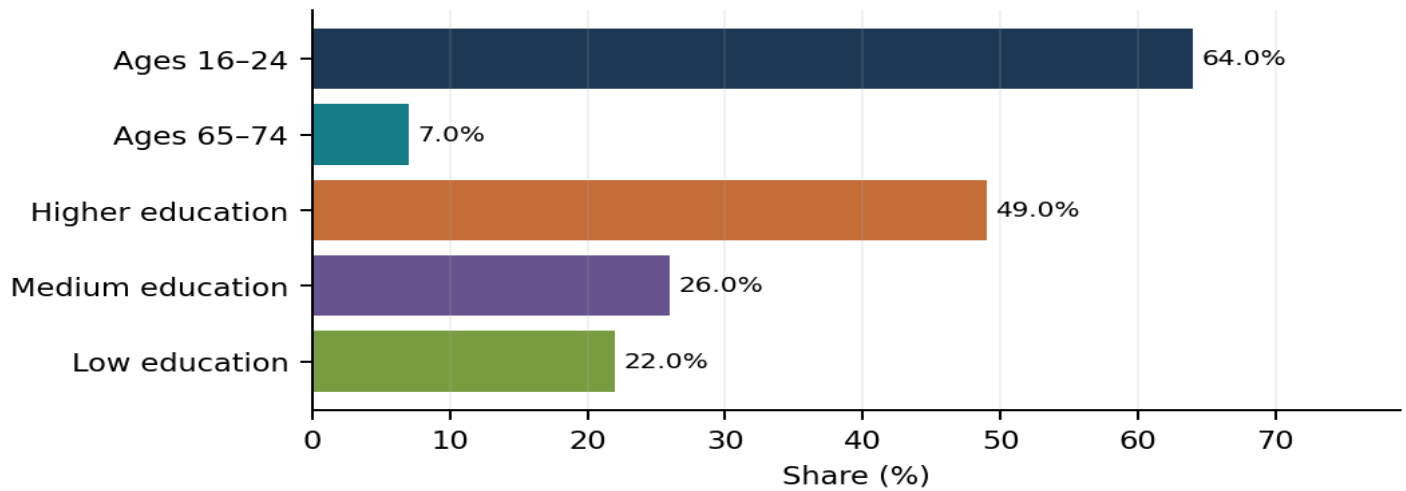


Figure 7. EU generative AI use across selected demographic groups, 2025

Note. Use in previous three months; age and education categories overlap and are shown as separate comparison groups, not additive shares.

Source: Eurostat (2026), *isoc_ai_iiau*.

The marked age contrast and education gradient suggest unequal entry into current generative AI practices. However, the comparison cannot isolate the role of schooling from occupation, digital familiarity, interest or available time. The groups also intersect: a highly educated older person and a young person with limited schooling do not fit a simple two-group story. An inclusive policy should therefore assess situated barriers and benefits, not define all nonusers as deficient. The chart gives a reason to investigate who can critically verify outputs, who has access to training and who can choose an alternative human service when the tool is unsuitable.

The final figure considers the people who did not use generative AI during the household survey's reference period. Instead of presuming a single digital barrier, it displays selected reported reasons for nonuse. The categories are drawn from a question about the main reason and refer to nonusers, not the entire EU population. This choice matters for policy: interventions aimed at awareness, operational skill, privacy or relevance would respond to different situations. A single outreach campaign would not necessarily address all four.

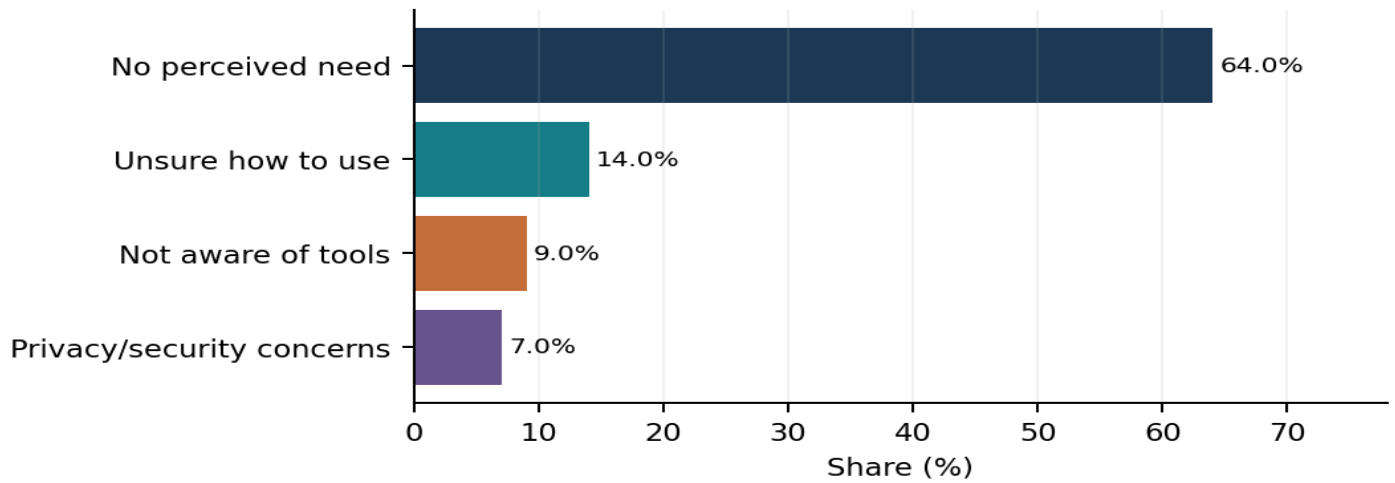


Figure 8. Main reason EU nonusers report for not using generative AI, 2025

Note. Distribution among nonusers; selected reasons from the published account; no temporal trend is implied.

Source: Eurostat (2026), *isoc_ai_iaiuxr*.

The prominence of no perceived need challenges a purely technical account of the digital divide. Some nonusers may have adequate access and reasonably judge that the tools do not serve their purposes. Others may not perceive a use because examples are inaccessible or irrelevant to their work. The aggregate response cannot distinguish these possibilities. The smaller privacy category should also not be dismissed: for the people selecting it, trust and data protection may determine whether use is acceptable. The sociological response is to ask what need a service addresses, who defines that need and whether refusing the tool carries a hidden penalty. This closes the empirical sequence by returning adoption to agency.

Having considered who uses tools, the analysis turns to what happens between people when a tool mediates an exchange. Table 4 selects four relationships relevant to education, work and public services. Each row presents an achievable benefit and a question that a qualitative study could ask the people involved. The questions should not be read as survey findings. Their value is to show why a favorable adoption percentage leaves trust, disclosure and the ability to contest decisions unsettled.

Table 4. Human relations affected by AI mediation

Relationship	Possible benefit	Question for qualitative research
Teacher and learner	More timely help	Does assistance preserve dialogue and authorship?
Manager and worker	Clearer task coordination	Can the worker contest a system recommendation?
Service provider and client	Faster information access	Does the client know when a response is generated?
Public institution and citizen	More accessible routine guidance	Who explains an adverse or incorrect decision?

Note. The questions identify empirical work needed; they are not observed outcomes.

Source: Author's conceptual synthesis of the cited literature.

The common thread is the ability to maintain reciprocal accountability. In each relationship, the other person should know enough about the tool's role to understand whom to approach and what can be challenged. A quick answer may be valuable, but speed cannot replace an explanation when a student, worker, client or citizen is materially affected. The empirical questions are deliberately open: AI mediation may strengthen communication under one set of rules and diminish it under another. Interviews and observation can reveal whether those affected experience a real possibility of dialogue, rather than an institutional promise of it.

The ILO estimates that about one quarter of global employment falls in occupations with some generative AI exposure, with 3.3% in its highest exposure category. Its estimate is 34% for high income countries and 11% for low income countries; the highest exposure category covers 4.7% of women's and 2.4% of men's employment globally (Gmyrek et al., 2025). These modeled shares complement the figures without constituting a ninth chart. They indicate where task redesign and social dialogue deserve attention, not how many jobs have disappeared. Taken together, the exhibits show expanding but unequal use. They do not establish whether AI has improved welfare or damaged a particular relationship. The discussion therefore converts the observed contrasts and conceptual distinctions into conditions for evaluation. It also specifies where public policy and institutional design could make those conditions observable and open to correction.

4. DISCUSSION, CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The evidence supports a bounded conclusion: uptake is rising, yet it is distributed unevenly across firms, sectors and people. Occupational exposure broadens the scope of potential change, but remains distinct from measured adoption and realized harm. The conceptual framework suggests that inequality can appear at access,

implementation and accountability stages. Even broad diffusion will not guarantee equitable outcomes if workers, learners and citizens lack meaningful review of consequential decisions.

The final table draws the article's concepts into a practical evaluation agenda. It does not repeat the descriptive values already shown in the figures. Instead, it specifies information an institution would have to collect to decide whether access, work quality, procedural fairness and agency improve after implementation. Each proposed indicator is paired with a decision rule to examine. These rules are starting points for governance and research design rather than universal legal thresholds.

Table 5. Evaluation agenda for inclusive AI governance

Domain	Indicator to collect	Decision rule to examine
Access	Use and benefit by age, education and firm size	Provide targeted support where barriers persist
Work quality	Task intensity, autonomy and training access	Review gains alongside burden on workers
Procedural fairness	Error rates and appeals by affected group	Suspend or revise systems with unexplained gaps
Human agency	Ability to opt out and obtain human review	Keep accountable oversight in high stakes settings

Note. Proposed measures for future research and governance; no new data are claimed.

Source: Author's conceptual synthesis of the cited literature.

An evaluation built on Table 5 would compare conditions before and after deployment and examine differences among groups, not merely report a favorable overall average. A rise in service speed, for example, might coexist with more errors for people using a minority language or with more unrecognized checking work for staff. The governance response should be responsive to those distributions. The table also keeps human agency measurable: the existence of an opt-out option or human reviewer has to be tested for reachability, timeliness and authority. A policy statement alone does not establish that a person can obtain a remedy.

Four practical steps follow. Institutions should document which people and tasks their systems affect, offer appropriate training without compulsory use for every purpose, make consequential AI recommendations contestable, and evaluate distributions of benefit and burden. Research should collect longitudinal outcomes rather than treating a short adoption series as evidence of social improvement. It should compare the lived experiences of users and nonusers and investigate specific organizations, since the published aggregates cannot establish causal pathways.

Limitations are substantial. The EU enterprise and household measures use different denominators and different definitions of AI. The enterprise time series is short, the individual measure is cross-sectional, and the ILO

measure models possible exposure. The selected sectors, countries and population groups do not exhaust their respective populations. No claim here estimates the effect of AI on employment, educational achievement, trust or inequality. The article instead supplies explicit distinctions and researchable questions for assessing those effects.

The article's central finding is an analytical one: social change associated with AI proceeds through institutions that assign access, tasks, authority and responsibility. The descriptive evidence demonstrates that the opportunity to encounter AI is unevenly distributed, yet it leaves open the question of what any particular encounter achieves. EU firms adopted AI at different rates across time, size, country and sector. Individuals reported different use by age and education, and many nonusers cited no perceived need. The ILO's task-based index identifies potential occupational transformation with a distinct global denominator. None of these measures is a direct indicator of dignity, fairness, learning or a person's ability to challenge an adverse decision. A credible account must connect each measure to the mechanism it can actually observe.

The theoretical analysis shows why greater adoption can produce more than one social trajectory. In an institution that invests in training, communicates limits and gives people effective review, a tool may expand the capacity to respond, learn and solve problems. Where management imposes opaque targets, uses outputs to monitor staff or leaves errors without remedy, the same class of technology may weaken autonomy or reinforce existing differences. These are conditional propositions. To test them, researchers should identify the workflow before and after deployment, document who can overrule a recommendation and compare experiences across differently positioned groups. An adoption rate alone cannot adjudicate between augmentation and intensified control.

A first recommendation concerns access without coercion. Public institutions and employers should identify material and skills barriers while allowing meaningful alternatives where AI use is unnecessary or unsuitable. Training should include the ability to recognize uncertainty, verify content and understand what information may be disclosed. Evaluation should ask whether people gain a practical capability, not merely an account or login. In education, that means assessing understanding and preserving teacher-student dialogue. In public services, it means maintaining a reachable human route for complex cases. Accessibility must be tested with those who have less time, weaker digital skills, disability-related needs or limited language support, rather than inferred from an average user test.

A second recommendation concerns the organization of work. Employers should discuss task redesign with affected employees before implementation and revisit expectations after deployment. If AI removes routine steps, a fair evaluation should account for the new work of checking, correcting and explaining outputs. Measures of output per hour need to be interpreted alongside job security, work intensity, autonomy, training and the distribution of rewards. Representatives of staff should have a route to question monitoring practices and errors in personnel decisions. Occupational exposure estimates can help prioritize where to investigate, but they must not be announced as forecasts of redundancies. This distinction can prevent anxiety from being amplified by a misleading statistic.

A third recommendation concerns explanation and remedy. An institution should state when AI influences a consequential interaction, record who is responsible for final judgment and provide a usable avenue of appeal. The information offered to an affected person should explain the operative reason for a decision and the next available action. Reporting a generic model description does not meet this need. Organizations should examine error and appeal outcomes across groups because a system may appear satisfactory overall while imposing a concentrated burden. Procurement contracts should allow documentation, evaluation and correction over the life of a system. The OECD's principles provide a governance direction, but their effectiveness depends on such operational arrangements (OECD, 2024).

The study also suggests a specific research design. A future comparative project could select schools, employers or public services adopting similar tools under different rules. It would observe baseline differences, interview both users and nonusers, record time saved and new checking work, and track errors, complaints and decisions over several periods. Quantitative outcomes could be disaggregated by age, education, occupation and role, while qualitative inquiry would explain why a numerical pattern arose. Researchers should document the model, task, institutional setting and changes to the system during observation. Such a design would connect the broad diffusion described here to situated social outcomes without treating an aggregate correlation as causation.

There are limitations to both the published data and the present synthesis. The enterprise series covers only firms above the stated employment threshold, and the household survey captures use during a particular three-month reference period. Cross-sectional differences by age and education cannot separate life-course effects from skills, opportunity or preference. Short time series cannot establish lasting trends, and selected examples cannot represent every EU country or sector. The ILO index concerns potential exposure, not actual adoption, displacement or net employment. This article has no original interviews and cannot report experiences of

Romanian teachers, workers or students as empirical findings. Its sociological claims are consequently propositions for testing and carefully bounded interpretations of public statistics.

Ultimately, the reconfiguration of human relations is neither predetermined by the architecture of a model nor reducible to the number of adopters. It is produced in mundane choices about lesson design, workplace targets, disclosure, data use, review and appeal. The possibility of innovation remains significant, but its public value has to be demonstrated through outcomes that people can experience and contest. Human dignity, responsibility and equitable participation are therefore criteria for assessing deployment, not decorative aims appended after it. The most defensible conclusion is a call for institutions to make their AI practices visible, revisable and answerable to those who live with their consequences.

REFERENCES

- Eurostat. (2025a). *Use of artificial intelligence in enterprises*. Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Use_of_artificial_intelligence_in_enterprises
- Eurostat. (2025b, January 23). *Usage of AI technologies increasing in EU enterprises*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250123-3>
- Eurostat. (2026). *Use of artificial intelligence by individuals*. Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Use_of_artificial_intelligence_by_individuals
- Gmyrek, P., Berg, J., Kamiński, K., Konopczyński, F., Ładna, A., Nafradi, B., Rosłaniec, K., & Troszyński, M. (2025). *Generative AI and jobs: A refined global index of occupational exposure (Working Paper No. 140)*. International Labour Organization. <https://doi.org/10.54394/HETP0387>
- Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *OECD employment outlook 2023: Artificial intelligence and the labour market*. <https://doi.org/10.1787/08785bba-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). *OECD AI principles*. <https://www.oecd.org/en/topics/ai-principles.html>

IDENTITY, TRADITION, AND CULTURAL ADAPTATION IN CONTEMPORARY SOCIETY: A SOCIOCULTURAL ANTHROPOLOGICAL PERSPECTIVE

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 societies are characterized by accelerated cultural transformations generated by globalization, migration, urbanization, digital communication, and intensified contact between different social groups. This paper examines the relationship between identity, tradition, and cultural adaptation from the perspective of sociocultural anthropology. Through a conceptual analysis, it explores how individuals and communities preserve, reinterpret, or transform cultural practices in response to changing social environments. Traditions are approached not as fixed elements inherited unchanged from the past, but as dynamic cultural resources that acquire new meanings according to present needs and circumstances. Cultural identity is similarly understood as a continuous process shaped by collective memory, social interaction, belonging, and negotiation. The paper highlights the emergence of hybrid identities, particularly among people and communities exposed to migration and digital forms of interaction. Although cultural adaptation can encourage dialogue, creativity, and social inclusion, it may also produce tensions related to belonging, authenticity, generational differences, and the loss of cultural heritage. Sociocultural anthropology provides an essential framework for understanding these processes within their specific historical and social contexts. The study concludes that maintaining cultural continuity does not exclude change; instead, communities remain culturally resilient when they can integrate new influences while preserving meaningful elements of their heritage.

Keywords: Cultural identity, tradition, cultural adaptation, sociocultural anthropology, globalization

1. INTRODUCTION

Cultural identity is often discussed as though it were a stable possession carried intact from one generation to the next. Everyday observation suggests a more demanding account. People use languages differently with relatives, colleagues and institutions; ceremonies change when families move; and digital communication allows a practice to circulate well beyond its original place. Some changes are welcomed by participants, while others are experienced as loss or exclusion. A sociocultural anthropological perspective begins with the people who make and interpret these practices. It asks how continuity is accomplished, what is negotiated when circumstances change and whose version of a tradition becomes publicly recognized.

The contemporary setting makes these questions visible without making change entirely new. Migration alters where relatives live and how they maintain relationships. Urbanization changes the proximity of generations and access to shared places. Digital media create new audiences and records for performances that may once have been local or ephemeral. Economic inequality shapes who can attend, produce and transmit cultural activities. None of these forces acts on an undifferentiated community. Age, resources, legal position, language and the authority to speak for a group condition how change is experienced. Anthropology therefore treats adaptation as a situated social process rather than a simple score of assimilation or cultural survival.

This paper asks how cultural identity is made through memory, participation and recognition; how traditions can be transmitted while being reinterpreted; and how people negotiate belonging across migration, generations and digital environments. It also examines the difference between cultural contact and access to cultural life. A resident can live in a diverse city without participating in the same spaces as neighbors. A family can preserve a practice through modified forms rather than repeating it exactly. A person can consume cultural media online without sharing the relationships through which a community defines a practice. These distinctions guide the conceptual argument and delimit what published indicators can show.

The argument combines a focused theoretical reading with secondary descriptive statistics. Eurostat data illustrate changing migration backgrounds, urban residence, cultural participation and selected digital cultural purchases. UNESCO's framework for intangible heritage emphasizes transmission, community recognition and recreation in changing circumstances (UNESCO, 2003). Stuart Hall's account of cultural identity and diaspora helps explain why shared histories and differences can both matter to belonging (Hall, 1990). The indicators neither test Hall's theory nor measure an individual's sense of identity. Their purpose is to identify social conditions in which questions of transmission and participation warrant closer qualitative investigation.

The article makes three contributions. First, it distinguishes cultural continuity from unaltered repetition, showing why an adapted practice can remain meaningful. Second, it identifies the relationships through which belonging is negotiated: households, local institutions, cultural settings and mediated networks. Third, it proposes an evaluation agenda that joins the voices of practitioners with attention to material access. Six tables set out conceptual contrasts and research questions; eight figures display distinct percentages with explicit populations and years. Each is introduced and interpreted separately, so the visuals support rather than duplicate the anthropological analysis. The conclusion develops implications for community-led safeguarding, inclusive cultural participation and future fieldwork.

1.1. Conceptual Framework

The framework approaches identity as a claim made in relationships, tradition as a practice sustained through transmission, and adaptation as a negotiated response to changed circumstances. It integrates a theory of diaspora with the community-centered logic of living heritage while keeping demographic and participation measures at a different analytical level (Hall, 1990; UNESCO, 2003). The six themes below move from self-description to the resources and media through which people can participate.

The article first needs to distinguish related concepts that are often used interchangeably. Table 1 separates cultural identity, tradition, heritage, adaptation and participation according to the kinds of evidence required to study them. Its purpose is methodological: a percentage of foreign-born residents may define a research context, but it cannot directly establish any of the meanings in the first four rows. This conceptual map organizes the more specific arguments that follow.

Table 1. Conceptual distinctions in the study of cultural change

Concept	Primary focus	Appropriate evidence
Identity	Belonging and recognition	Narratives, interaction and classification
Tradition	Repeated, interpreted practice	Observation of teaching and performance
Heritage	Practice valued by its bearers	Community decisions and safeguarding
Adaptation	Response under changed conditions	Accounts of options and constraints
Participation	Access and involvement	Attendance plus lived experience

Note. The concepts overlap in practice but refer to different questions; no numerical indicator measures all five.

Source: Author's conceptual synthesis based on Hall (1990) and UNESCO (2003).

The distinctions show why the article does not present demographic change as evidence of identity change. People can share a birthplace and disagree about tradition; they can participate in the same venue for very different reasons. A practice may be publicly listed as heritage while its bearers contest how it is represented. Separating these concepts makes empirical work more precise and reduces the temptation to infer meaning from

an easily available indicator. The next theoretical sections develop the relationships through which each concept becomes socially consequential.

1.1.1. Identity as Position and Relation

An identity claim answers more than the question of origin. It may state a connection to a language, place, family history, practice or political community, but it is also made before an audience that can recognize, question or reject it. People may describe themselves differently in a household, at school, on a state form and in a transnational association. This does not make identity insincere. It shows that belonging is produced in relationships and institutions rather than stored as a single private essence. Hall's discussion of diaspora presents cultural identity through both shared history and the transformations of representation, difference and power (Hall, 1990). An anthropological inquiry should therefore study the situations in which people explain who they are and the consequences of those explanations.

Position matters because the ability to define a community is uneven. Elders may be treated as guardians of a remembered practice; younger members may create new versions; organizations may select a public emblem that is easier to display than the diversity of ordinary experience. Gender and class can determine whose knowledge is considered authoritative. States may classify residents through citizenship or birthplace, yet those categories are not identical to attachment or self-understanding. When discussing hybrid identity, the analyst must avoid turning a person's mixed experience into a fixed label imposed from outside. The question is how people use available histories and relationships to build a livable account of belonging.

The same individual can sustain multiple ties without distributing loyalty in fixed proportions. A migrant may participate in the everyday routines of a destination city and continue obligations to relatives elsewhere. A child born in the destination country may inherit stories without sharing the migration experience. Such situations are sometimes described as between two cultures, but that expression can imply that each culture has a sealed boundary. In practice, common foods, styles, languages and ceremonies are themselves products of prior encounters. Ethnographic attention would ask when a person experiences these connections as compatible, when they become contested and which institutions demand a singular answer.

Recognition connects identity to social inclusion. Public acknowledgment can give a practice space, legitimacy and resources; stereotyped acknowledgment can reduce a complex community to a performance for others. An inclusive cultural policy cannot simply count the number of visible traditions. It should ask who chooses the representation, who participates, who is compensated and whether disagreement inside the community is

allowed. This concern is central to the distinction between a meaningful practice and a decorative symbol. It also explains why demographic diversity, although a relevant context, cannot stand in as a direct measure of mutual respect.

1.1.2. Tradition as Living Transmission

Tradition is often understood as an unchanged object handed down from the past. UNESCO's 2003 Convention offers a more dynamic starting point: intangible heritage is transmitted across generations and continually recreated by communities and groups in response to their environment, history and interaction (UNESCO, 2003). This formulation does not mean that any commercial reuse counts as continuity. It means that transmission involves interpretation. The people who practice a tradition decide what must be retained, what can change and how newcomers may learn. A song sung in a new venue, a recipe adapted to available ingredients or a ritual scheduled around work may preserve relationships and meanings despite altered form.

Transmission depends on conditions that are easy to overlook when a practice is presented as an object. Someone must have time to teach, a place to gather, a reason to return and the means to make mistakes while learning. Intergenerational relationships can carry knowledge through repetition and conversation, but they can also be strained by migration, long working hours or unequal authority. Documentation may help when direct teaching is interrupted, yet a recording cannot fully replace the cues, obligations and social judgments involved in participation. A safeguarding program should therefore ask whether practitioners can keep practicing and teaching, not merely whether a performance has been archived.

Claims of authenticity often arise when a practice gains a new audience. One participant may regard innovation as evidence of vitality, another as an abandonment of a valued obligation. Neither response can be resolved by a researcher selecting an original form from outside. An anthropological account records who makes the claim, what is at stake and how authority is negotiated. Market demand, tourism and institutional recognition may reward a simplified version even when participants sustain more diverse forms privately. Community-led safeguarding requires room for disagreement and change. It also requires attention to people who may be excluded from a public account of the community's heritage.

Continuity, then, is an achievement rather than a mechanical inheritance. It can persist through recognizable relationships, purposes and competencies even when outward details shift. Conversely, exact reproduction can lose significance if the people performing it have little say in its meaning. The analysis should examine practice, interpretation and participation together. Table 2 later sets out these dimensions as research questions. This

approach avoids the false choice between protecting a frozen past and celebrating every change as progress. It asks whether people can sustain a valued way of life under new conditions.

The scale of safeguarding also matters. A national inscription may bring resources and visibility, yet the daily ability to practice depends on local spaces and people. A community association might need inexpensive premises more urgently than a large promotional campaign. A craftsman might need apprentices and a viable livelihood rather than a one-time exhibition. These needs vary by practice and cannot be deduced from a universal model of heritage policy. The analytical priority is to ask practitioners what would enable transmission under current conditions, then assess whether the proposed intervention shifts authority or burdens toward those who already have institutional power.

1.1.3. Migration and Translocal Belonging

Mobility changes the geography of social relations, but it does not dictate their content. Travel, communication and remittances can maintain obligations across borders; new friendships, work and schooling can create attachments in the destination. A family may distribute celebrations between places, translate stories for younger members or coordinate care through digital channels. These actions are cultural work rather than a passive mixing of two ready-made systems. The demographic share of foreign-born residents describes the extent of one migration-related circumstance. It cannot tell us whether people feel welcomed, which practices they value or how a household resolves conflict. Feraru's (2015) monograph on religion and migration among Romanians in Italy offers a geographically specific point of comparison for examining the relationship between mobility and cultural practice; its case is not treated here as representative of all European migration.

The category migrant background also contains distinct life histories. People born abroad may have arrived recently or lived in a country for decades. People born locally to parents born abroad may know ancestral languages to different degrees and may not identify with a single inherited label. Administrative classifications can be useful for detecting unequal outcomes, but they should not be treated as exhaustive descriptions of personal identity. When a chart reports the proportion of residents by birthplace, the analyst must maintain a boundary between statistical classification and cultural self-definition. Fieldwork would invite people to explain the labels they use and the settings in which those labels matter.

Translocal ties may make cultural adaptation less linear than a simple movement from origin to destination. A practice can change in the diaspora and later circulate back to relatives elsewhere. Digital exchanges can create simultaneous audiences with different expectations. Institutions in the destination may support language

learning or provide space for associations, while laws and social judgments may restrict who feels able to participate. The quality of adaptation thus depends partly on reception and opportunity, not merely on a migrant's personal willingness to change. This perspective also keeps the host society within the analysis: its institutions and members adapt to contact too. Feraru's (2011) study of Romanians in Turin distinguishes integration, disintegration and reintegration in its framing, a reminder to investigate trajectories rather than assume a single route of adaptation.

Households are important sites of negotiation, but household categories do not map neatly onto cultural intimacy. A multi-adult household classified as mixed by migration background may contain people who share many practices, while people with the same birthplace can disagree deeply. Children may translate institutional language for adults or bring school practices into family life. Such roles can create solidarity and tension at once. When demographic trends suggest more varied migration backgrounds in homes, the next research question concerns how responsibilities, memories and opportunities are negotiated there. It would be unjustified to infer harmony or conflict from a household percentage alone.

An account of adaptation should distinguish voluntary experimentation from change made necessary by exclusion. A migrant family might gladly combine languages in a celebration, or it might abandon a public expression because a venue is inaccessible or because members fear hostile reactions. Outward forms could look similar while the experiences differ profoundly. Interviews must therefore ask about available choices, constraints and the consequences of refusal. This is why the paper does not equate adaptation with acceptance of a destination society's dominant expectations. It is a negotiated response to opportunities and pressures in which both newcomers and established institutions participate.

1.1.4. Urban Space and Unequal Cultural Access

Cities are frequent meeting places for people with diverse migration histories. They can offer associations, cultural venues, libraries and public transport that widen opportunities for encounter. They can also segregate groups through housing costs, schedules, discrimination or uneven access to public space. A larger share of residents with a migrant background living in cities does not automatically imply intercultural dialogue. The anthropological unit of analysis is the encounter: who shares a place, under what rules, with what possibility of reciprocal participation. Neighborhood observation and interviews would show whether proximity creates sustained relationships or merely parallel routines.

Cultural participation indicators introduce another dimension. Attendance at a performance, cinema or heritage site depends partly on disposable income, time, transport, accessibility and the distribution of venues. The standardized activity categories are useful for comparison, yet they do not include every way in which culture is practiced. Family celebrations, informal storytelling, religious gatherings and community-organized events may be central to belonging while falling outside a survey's chosen list. Low measured participation should therefore prompt a question about both access to the listed activities and the limits of the measure. It should not be interpreted as a community's lack of culture.

A city-rural contrast likewise requires care. A rural resident may maintain rich local traditions while having fewer opportunities to visit a museum or cinema. An urban resident may live near venues but be unable to afford admission. The income and education gradients in published participation data underline why cultural inclusion cannot be reduced to the supply of institutions. Accessibility includes cost, language, opening hours, disability accommodation and whether people feel that a venue represents them. A useful policy assessment would ask whose participation rises after a program and whose forms of practice remain unrecognized. This is the context for Figures 5 through 7.

1.1.5. Digital Mediation and Hybrid Cultural Practice

Digital media allow performances, images and narratives to cross distance with little delay. A displaced family may share a celebration through video; young people may learn fragments of a heritage language online; an association may document and discuss a local practice across several cities. These possibilities can strengthen ties, but the digital form changes what is visible and lasting. A short clip rewards some features of a performance and omits the preparation and social obligations around it. A platform may amplify the voice of people adept at posting while leaving less connected practitioners unheard. Technology mediates cultural life rather than simply carrying an unchanged tradition from one place to another.

Commercial cultural purchases reveal only a narrow part of this environment. A paid subscription or event ticket shows an interaction with a market and a medium, not the meaning the purchaser attaches to it. A printed book and an e-book may both support cultural learning, but ownership, access and shared use differ. Likewise, online access can supplement local participation rather than replace it. The presence of a digital option does not establish equal reach when devices, payment methods, connectivity and accessible design differ. An anthropological study would examine how people connect digital material to relationships and practices offline.

The language of hybrid identity is most useful when it describes actual negotiation rather than a simple arithmetic blend. People may selectively reinterpret inherited forms in response to new audiences, while maintaining a sense of continuity. They may resist an external demand to display difference or create a new public expression of belonging. Neither borrowing nor continuity is inherently emancipatory. Power affects which creations gain visibility and which are dismissed as inauthentic. Digital circulation intensifies these questions because the audience can include strangers, institutions and relatives at once. The relevant evidence would include authorship, consent, interpretation and the effects on community relationships.

This theoretical section moves from identity claims to practices, places and media. The next step is methodological: which published statistics can illuminate the conditions under which these processes unfold, and what must remain an open question for qualitative research? The distinction protects the article from attributing meanings to people who were never asked about them.

Theoretical claims about living tradition become clearer when grounded in observable relationships. Table 2 identifies sites of transmission and the questions an ethnographer could ask in each. It does not describe findings from a field study. Instead, it makes the difference between documenting an object and understanding a process concrete: who teaches, who learns, what changes and which judgments participants themselves use to evaluate continuity.

Table 2. Relationships through which traditions are transmitted

Setting	What may be transmitted	Fieldwork question
Household	Stories, skills, rituals, language	Who teaches and who revises the practice?
Association	Collective performance and mutual support	Who can join and define its public version?
Public venue	Recognition and wider audiences	Does visibility alter meaning or control?
Digital network	Records and contact across distance	Who controls circulation and interpretation?

Note. Illustrative sites of practice, not observations from original fieldwork.

Source: Author's conceptual synthesis based on Hall (1990) and UNESCO (2003).

A practice persists when people can perform, learn, revise and recognize it together. A recording might support that process, but its value depends on who controls access and how it is used. If a community's young members have no opportunity to learn with experienced practitioners, an archive alone will not secure transmission. Conversely, modification to fit a new setting may keep a relationship active. Table 2 directs researchers toward

participants' criteria for continuity instead of imposing an external test of exact reproduction. It also makes visible the labor, time and spaces on which living heritage depends.

2. METHOD

This is a conceptual analysis supported by secondary descriptive indicators, not an ethnographic study or an original survey. The literature was selected to clarify how identity and living heritage may be interpreted, while official Eurostat series provide contextual contrasts. The two kinds of evidence play different roles. Hall's argument and UNESCO's convention frame questions about belonging, continuity and community authority; they are not variables measured in the figures. Eurostat reports birthplace, household migration status, residence, listed cultural activities and selected online purchases. Those variables locate possible settings for cultural negotiation without revealing the content of an individual's identity.

Three sets of populations are kept distinct. Migration status data from the EU labour force survey concern residents aged 15 to 74 in private households. The country-of-birth stock measure refers to the total resident population at 1 January 2025. Cultural participation derives from the 2022 EU-SILC module and refers to residents aged 16 and over; some tabulations refer specifically to people with activity limitations. Digital cultural purchase indicators concern internet users aged 16 to 74 who had used the internet in the preceding three months. The percentages cannot be summed or interpreted as estimates for one common population. Years are displayed with each chart to avoid suggesting simultaneity where sources differ.

The graphical selection follows the paper's analytical sequence. Two short two-point comparisons show changes in migration backgrounds and household composition; dashed segments simply describe the observed endpoints and are not predictive trend models. Cross-sectional graphics then display composition, urban residence and different dimensions of cultural participation. The final figure shows a contemporary pattern of digital cultural purchasing. Colors and chart forms vary to fit the comparison, but no chart contains a title inside the plotting area. Captions, notes, denominators and sources appear in the text. Six tables supply concepts, fieldwork prompts and policy questions that do not duplicate the numerical values in the figures.

The analysis makes no causal claim that migration produces a specified cultural identity, that income explains every participation gap or that digital media weaken tradition. The selected countries illustrate variation and do not constitute a representative sample of EU societies. A comparison across years is descriptive and may also reflect survey definitions, coverage and broader events. Because the empirical material does not ask participants how they understand their own practices, any statement about meaning is framed as a hypothesis for fieldwork.

The interpretive procedure asks of every figure: what population is counted, what social situation it might bring into view and which questions it cannot answer.

Demographic categories can unintentionally become cultural stereotypes when their limits are forgotten. Table 3 therefore compares the information that common statistical labels supply with the meanings they leave open. This is particularly relevant before reading the migration charts. The table prepares an ethically careful movement from aggregate patterns to interview questions, without attributing preferences or identities to people solely on the basis of birthplace.

Table 3. What migration categories describe and leave open

Official category	Describes	Does not establish
Foreign-born	Place of birth outside current country	Personal identification or valued practices
Native-born with foreign-born parent	Parental birthplace and local birth	Language, allegiance or cultural mixture
Non-national	Legal citizenship status	Country of birth or subjective belonging
Mixed-background household	Difference in members' migration categories	Harmony, conflict or shared tradition

Note. Categories have different statistical definitions and must not be substituted for self-identification.

Source: Author's conceptual synthesis based on Hall (1990) and UNESCO (2003).

The limits in the third column are not defects of official statistics; they are reminders of what those statistics were designed to measure. A birthplace variable can support fair comparisons of access to services. It cannot establish someone's chosen language, religious practice or relationship to a festival. An interview can explore these meanings, but it should not presume that each respondent will provide one coherent, permanent identity narrative. The table therefore connects quantitative sampling to qualitative openness and prevents the discussion of migration from slipping into essentialist description.

The theory suggests that cultural adaptation takes shape in relationships rather than inside an abstract national average. The findings begin with demographic contexts in which cross-border histories are present. They then turn to the spaces and resources for participation, before examining one digital market dimension. Each graph is interpreted in relation to a distinct anthropological question, and none is offered as a direct measure of identity.

3. FINDINGS

The first two visuals use EU labour force survey summaries and show only published endpoints. They concern migration background and households, not cultural identity itself. The subsequent charts use cross-sectional

comparisons in different populations and years. Their distinct denominators are repeated in notes so that the social interpretation remains proportionate to the evidence.

The first graphic locates one demographic context for cultural contact. It compares the EU shares of foreign-born residents and locally born residents with one or two foreign-born parents among people aged 15 to 74 in private households. Only the published endpoints, 2021 and 2025, are shown. A dashed segment connects them as a descriptive direction, without claiming a smooth annual path. These administrative categories refer to birthplace, not to language, practice or self-identified culture.

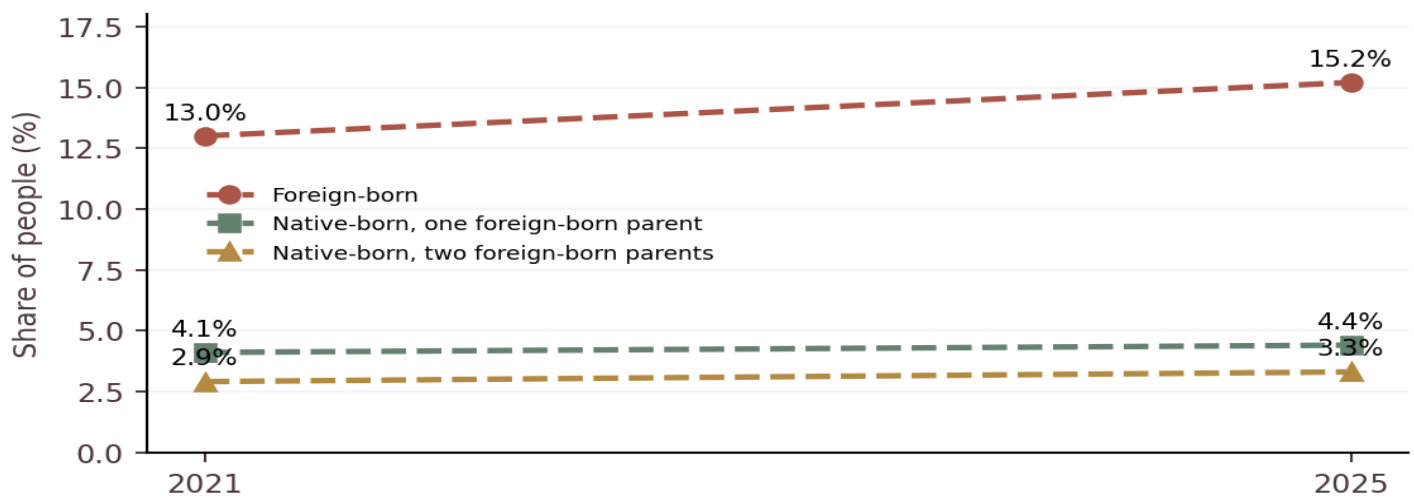


Figure 1. Migration background among EU residents aged 15–74, 2021 and 2025

Note. Two published endpoints; dashed segments indicate descriptive direction only. Categories are not mutually exhaustive of the entire population.

Source: Eurostat (2026d), EU labour force survey, *lfsa_pganedm*.

The increase in foreign-born and some locally born descendant categories suggests that cross-border family histories are relevant to a growing share of EU residents in this age range. It does not mean that any person has a less stable identity or practices a particular tradition. A child with parents born in different places may construct belonging through local schooling, family narratives and friendships in many possible ways. The anthropological task is to investigate how those histories become significant in specific interactions. The chart's principal use is to challenge an assumption that one national biography can stand for every resident, while preserving the difference between population composition and lived experience.

A migration background can also enter a household in several ways. Figure 2 focuses on the changing share of households composed of foreign-born persons in two household types. It has a different denominator and unit

from Figure 1: households rather than individuals. The comparison is relevant because shared domestic routines can be places where traditions are taught, altered and discussed. It cannot reveal what any family actually does or whether members experience cultural tension.

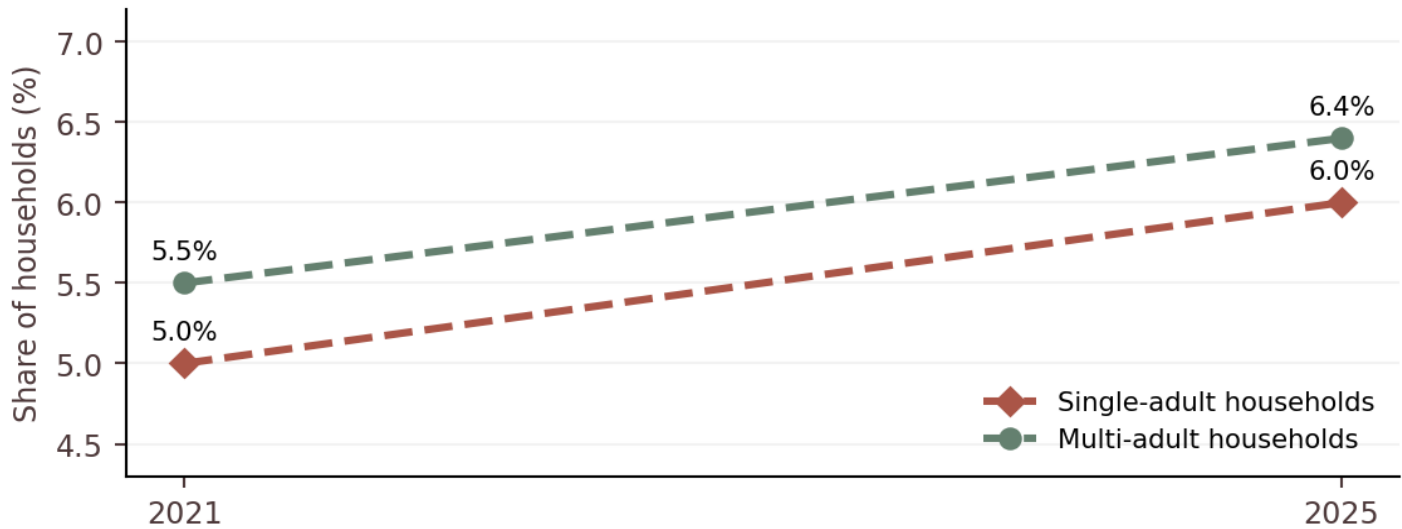


Figure 2. Foreign-born households by household type in the EU, 2021 and 2025

Note. Share within the respective household type; two-point slopes are descriptive and not forecasts.

Source: Eurostat (2026d), EU labour force survey, *lfst_hhmgscmp*.

The observed increase is modest, but it draws attention to homes as social settings rather than treating migration only as movement between states. Household composition shapes opportunities for conversation and shared routines, yet the classification says nothing about how knowledge is exchanged. A foreign-born household may sustain transnational relationships; it may also contain members with varied languages and practices. The figure cannot identify the number of mixed households or the experience of children, which require separate measures. Its sociological significance is to locate the household as a unit for research on everyday transmission, not to infer an outcome from a two-point trend.

These changes concern people and households, but the administrative framework also includes locally born residents with different parental histories. Figure 3 shows how the 2025 categories partition one survey population. It therefore prevents the term migrant background from being mistaken for a single biographical experience. Its composition is followed by a spatial comparison that asks where different groups tend to reside.

The next figure pauses the temporal sequence to show the diversity of migration-status classifications in 2025. By portraying components of the population aged 15 to 74, it makes clear that a foreign-born category and

locally born descendants are distinct from citizenship. The shares do not add to a theory of identity. They are a map of administrative positions that may affect which questions researchers should ask about memory, belonging and recognition.

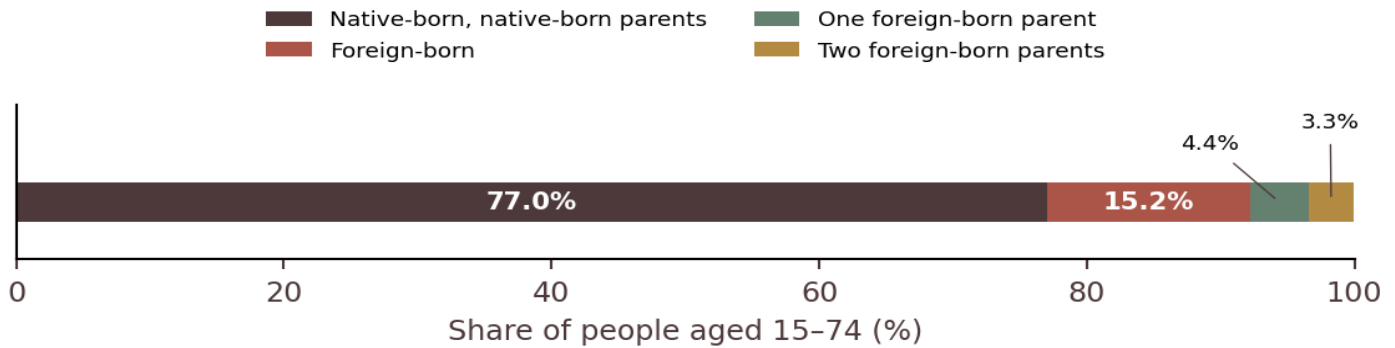


Figure 3. Migration status composition of EU residents aged 15–74, 2025

Note. Shares sum to 99.9% because of published rounding; birthplace categories refer to private-household residents.

Source: Eurostat (2026d), EU labour force survey, *lfsa_pganedm*.

Most residents in this statistical population are locally born with two locally born parents, while other classifications together represent a substantial minority. The categories do not establish a division between a culturally homogeneous majority and a culturally homogeneous minority. Families within each category differ by region, religion, class and history. Nor does locally born with foreign-born parents automatically mean a person adopts a hybrid identity. An ethnographer should use these categories as sampling considerations, then allow interviewees to describe their own affiliations. This is especially important when institutions attach expectations to the statistical label migrant background.

The environments in which people meet and participate also vary by migration background. Figure 4 compares the share living in cities across four status groups. The unit is individuals aged 15 to 74 and the year is 2025. The graph addresses spatial concentration, not the intensity of contact between groups. An urban place can offer opportunities for encounter while also containing barriers, segregation and different forms of everyday life.

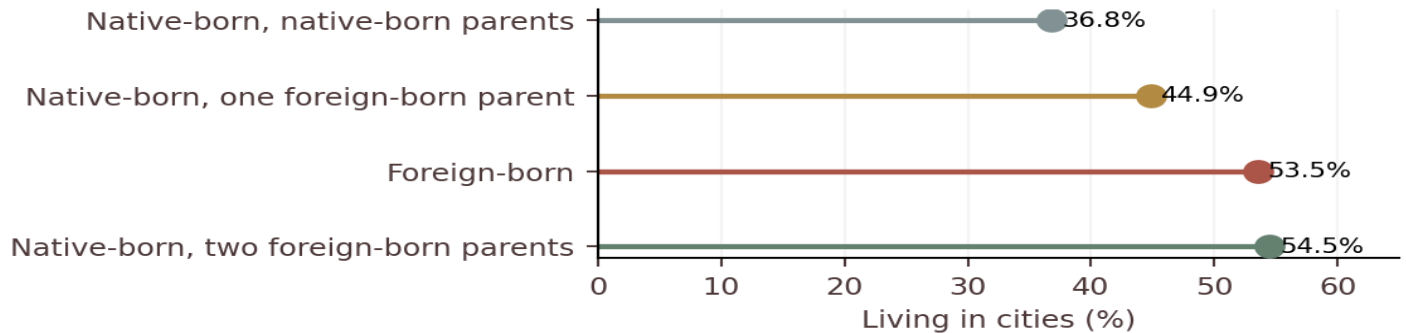


Figure 4. City residence by migration background in the EU, 2025

Note. Percentage within each migration-status group, ages 15–74; cross-sectional spatial comparison.

Source: Eurostat (2026d), EU labour force survey, *lfst_r_pgaum*.

The greater urban concentration of several migrant-background groups suggests that cities are important settings for studying cross-cultural encounters. Proximity, however, is not reciprocity. People may share transit, schools and markets while having unequal access to cultural venues or public voice. Conversely, a rural setting can support strong transmission even with fewer formal institutions. The contrast invites comparative fieldwork in different neighborhoods and municipalities. Researchers would need to observe actual spaces and ask residents where they feel recognized. Treating a city residence percentage as evidence of integration would confuse a location with a relationship.

A place of residence cannot by itself show whether cultural encounters are open or reciprocal. Participation depends on the resources available to people and on the recognition of their practices. The next three graphics examine income, education and artistic activity through Eurostat’s cultural participation module. They use selected country comparisons to illuminate barriers and measurement limits, without treating formal participation as a full account of cultural life.

The participation figures call for a broader account of access than a head count at a venue. Table 4 groups practical barriers and the forms of evidence needed to examine them. These are proposed dimensions of analysis, not calculated effects. They help explain why a cultural institution may report attendance and still fail to learn who cannot enter, who feels unwelcome or whose practices remain outside its program.

Table 4. Barriers to participation in cultural life

Dimension	Possible obstacle	Evidence to seek
Cost and time	Fees, travel costs, work schedules	Budgets, schedules and participant interviews
Place	Distance and uneven distribution	Travel time and local cultural mapping
Accessibility	Physical or sensory barriers	Audits and accounts from affected people
Recognition	Language and narrow programming	Community input and participation histories

Note. These are research dimensions; the table does not assign causal weights to the observed gaps.

Source: Author's conceptual synthesis based on Hall (1990) and UNESCO (2003).

Several barriers can combine in one person's experience. An accessible entrance does not solve a prohibitive ticket price; a free event may still be difficult to reach from a rural area; a program in one language may not welcome those who use another. Institutions need to ask both about material conditions and about recognition. The table's proposed evidence can be gathered with affected residents rather than inferred from attendance alone. It also draws attention to informal cultural spaces that may have different barriers and resources from museums, cinemas or concert halls.

Cultural participation is shaped by access as well as meaning. To make that point without treating participation as a measure of identity, Figure 5 compares the first and fifth income quintiles in four selected countries. The underlying question asks whether residents engaged in any of three specified cultural activities during the prior year. Connecting the two quintile points shows a within-country gap, not change over time. The countries are illustrative and should not be ranked as cultures.

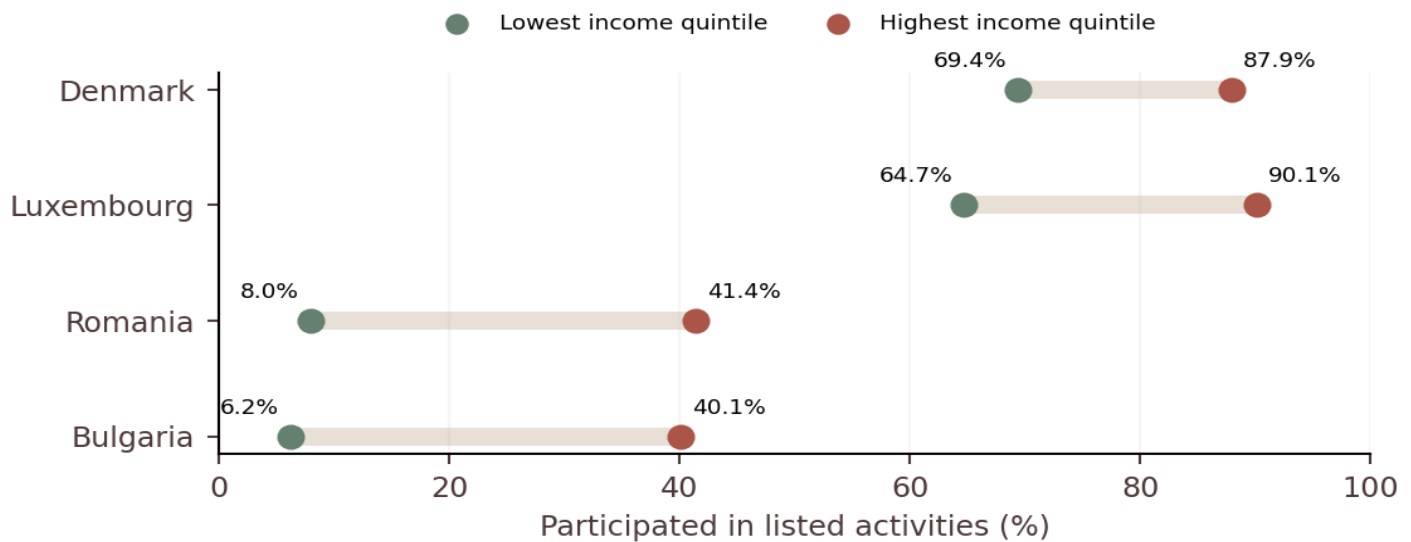


Figure 5. Participation in listed cultural activities by income group, selected countries, 2022

Note. Lowest and highest national income quintiles; activity means cinema, live performance or cultural-site visit during prior 12 months.

Source: Eurostat (2026a), cultural participation source workbook, *ilc_scp04*.

The distance between income groups is especially large in Romania and Bulgaria within the selected countries, while Denmark and Luxembourg show narrower proportional gaps. The figure concerns access to listed activities, not the worth of informal traditions. A low-income resident may sustain rich family and community practices that the survey does not count. At the same time, barriers to museums, performances and cinemas can narrow public opportunities for encounter. Sociologically, income enters the conditions of participation through cost, transport and time, but the chart cannot isolate these mechanisms. A community-centered cultural policy would examine both formal access and recognition of practices beyond ticketed venues.

Educational attainment offers a second view of unequal access to the listed activities. Figure 6 contrasts lower secondary or less with tertiary education in four selected countries. The two ends belong to different population subgroups in the same year, and the line joining them is a comparison slope rather than a time trend. An education difference can arise through resources, opportunity, habit or the distribution of institutions; the graphic cannot identify which pathway operates.

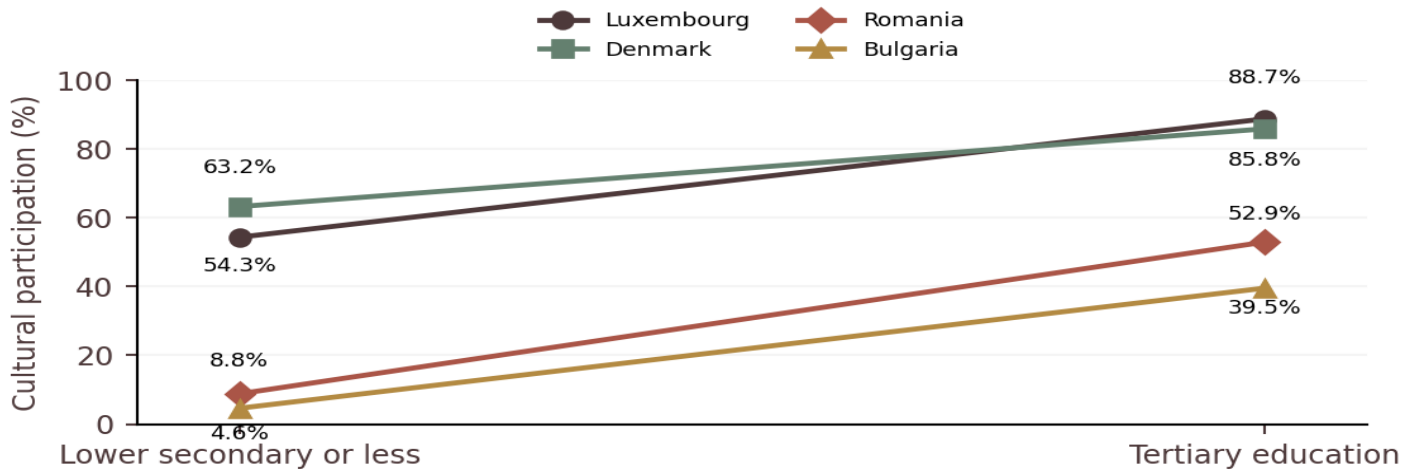


Figure 6. Participation by educational attainment, selected countries, 2022

Note. Endpoints compare different education groups in one year; connecting lines are category slopes, not temporal trends.

Source: Eurostat (2026a), cultural participation source workbook, ilc_scp04.

The educational gradient appears in each selected country but differs in magnitude. It should not be read as evidence that a person with less formal education lacks cultural knowledge. Formal credentials can correlate with income, residence, available institutions and familiarity with the activities named in a questionnaire. Traditional knowledge may be transmitted outside formal schooling and remain invisible in this measure. The finding instead asks whose participation is counted by public institutions and what barriers limit access to these particular forms. Ethnographic comparison could explore whether venues feel welcoming and whether community members see their own histories represented there.

Practicing the arts, rather than only attending events, brings cultural agency into view. Figure 7 uses Eurostat's 2022 categories of frequency for artistic activities in Denmark and Romania. The stacked distributions show different patterns of regular, occasional and no reported practice in the prior year. These standardized categories capture some forms of creative activity but not all informal cultural transmission, and they cannot establish whether any particular practice is regarded as heritage by participants.

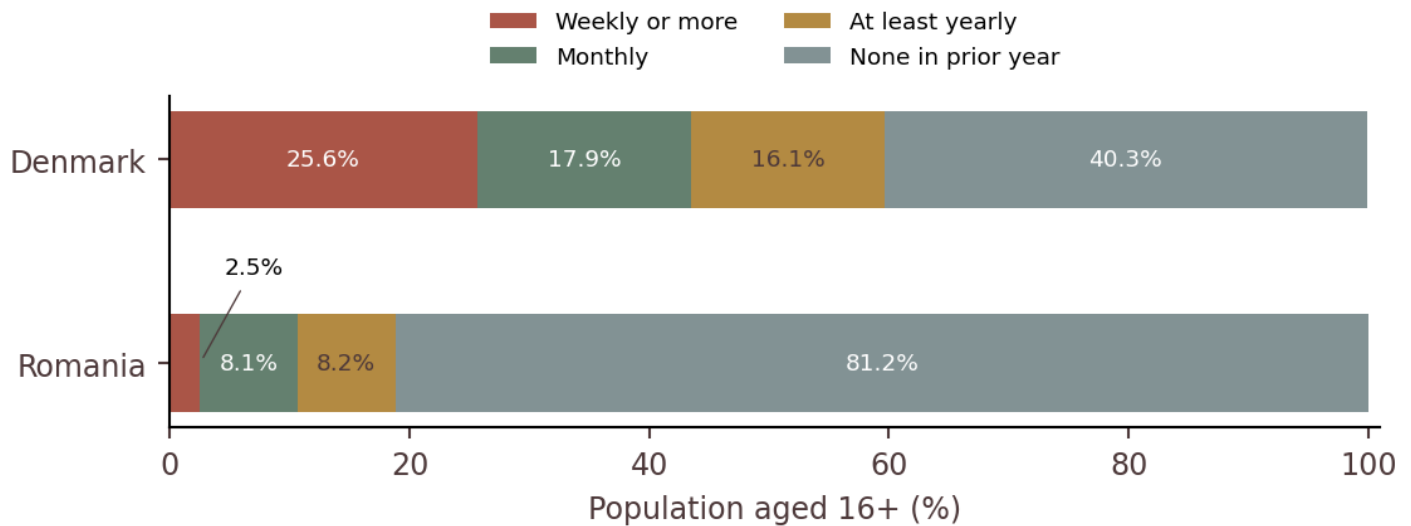


Figure 7. Frequency of artistic practice in Denmark and Romania, 2022

Note. Percentage of population aged 16 and over; category totals may differ slightly from 100% due to rounding.

Source: Eurostat (2026a), cultural participation source workbook, Figure 5.

The distributions differ sharply, yet neither country should be assigned a simple label of cultural vitality. A standardized question about artistic practice is sensitive to what activities respondents understand as art, the opportunities available to them and the time they have. Regular practice may depend on institutions and resources, while occasional or unrecorded practices may still carry substantial meaning. The large unreported-practice category in Romania is a prompt to ask what counts, who has space to practice and which activities the survey omits. It cannot prove that cultural transmission has ceased. The figure thus illustrates both a participation contrast and a measurement boundary.

Cultural engagement also travels through digital markets, although purchases are a limited way to observe the meaning of an exchange. Before the final graph, Table 5 specifies why transmission across media involves choices about audiences and control. The chart then reports selected online purchases without identifying them as evidence of heritage preservation.

Digital circulation is a particular form of adaptation, with distinct questions about authorship and audience. Table 5 contrasts several modes of sharing a cultural practice and the decisions practitioners may want to retain. This table differs from the online-purchase graphic: it examines relationships and control rather than consumer percentages. It also makes clear that digital and in-person transmission can complement each other.

Table 5. Ways cultural practices circulate across media

Mode	Potential continuity	Decision for practitioners
In-person teaching	Embodied correction and shared time	Who can enter the learning relationship?
Family video call	Participation across distance	What is shared and with whom?
Digital archive	Return to recorded knowledge	Who controls access and contextual description?
Public platform	Discovery by wider audiences	What consent and attribution are required?

Note. Illustrative forms may coexist and are not ranked by authenticity.

Source: Author's conceptual synthesis based on Hall (1990) and UNESCO (2003).

The decision about a medium is also a decision about relationship. A recording can preserve a performance for relatives abroad while exposing it to an unintended audience. A digital archive can help learners return to a practice but can separate material from the people who explain its context. Consent should therefore be understood as continuing authority over use and interpretation rather than a one-time permission. Researchers would need to observe how practitioners negotiate these conditions across generations. The table shows why neither online circulation nor refusal to post should automatically be treated as progress or resistance.

The last figure turns to a distinct setting: paid digital cultural services among EU internet users in 2025. It compares subscriptions and event-ticket purchases with different market purposes. These categories may overlap because a respondent can buy several services. The chart is not an indicator of cultural authenticity or migrant adaptation. It highlights the commercial channels through which some people encounter media and events, and raises questions about who remains outside those channels.

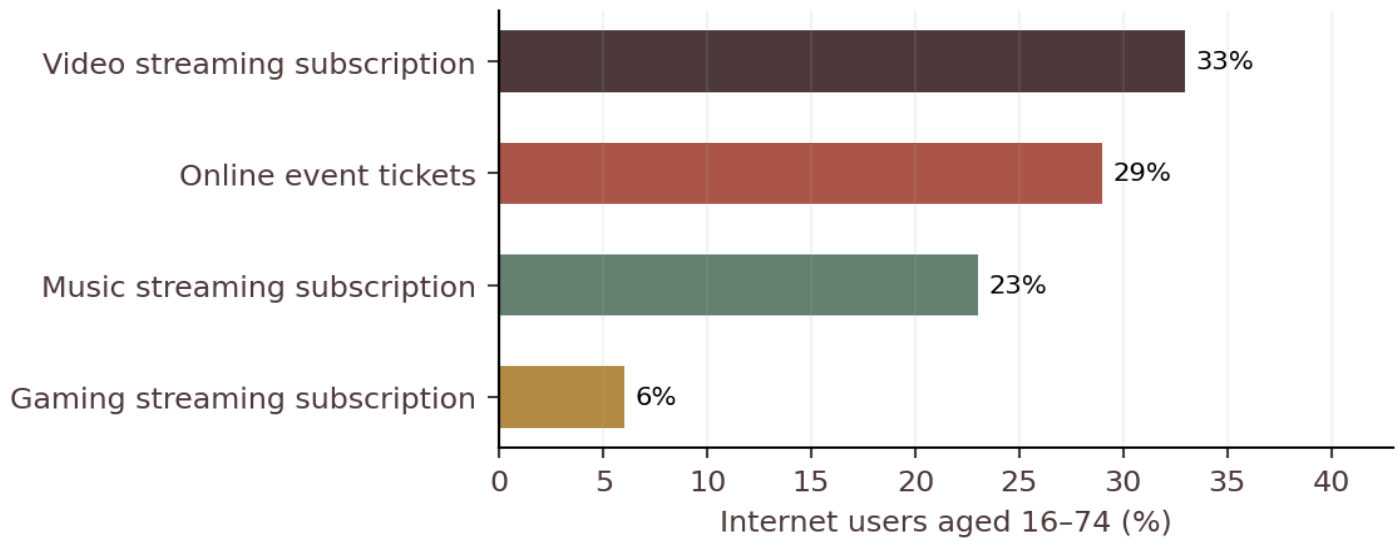


Figure 8. Selected paid digital cultural services among EU internet users, 2025

Note. The same person may purchase more than one service; denominator is recent internet users aged 16–74.

Source: Eurostat (2026b), *isoc_ec_ibgs*.

Video and music subscriptions and event-ticket purchases represent different relationships with culture: repeated media access, a potentially shared live encounter and specialized online services. Their percentages cannot be added because the same person may use multiple channels. They also leave out free media, informal exchanges and people outside the internet-user denominator. A digital purchase may facilitate discovery and maintain translocal connections, but it may equally reflect a commercial habit unrelated to heritage. The anthropological question concerns how participants interpret, share and control cultural material after obtaining access. This closing figure directs attention from a market indicator back to cultural agency.

The descriptive contrasts have now located several conditions that can shape cultural practice: changing migration backgrounds, different urban settings, unequal cultural participation and varied digital consumption. Their coexistence does not tell us how people narrate belonging. The final discussion returns to that missing voice and develops a feasible agenda for community-led safeguarding and fieldwork.

4. DISCUSSION, CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The central tension is between describing changing conditions and understanding what change means to those who practice culture. Survey categories are valuable for identifying where inequalities of access may occur. Anthropology supplies methods for asking how people interpret their histories, sustain relationships and contest

representations. Neither level can replace the other. The policy task is to link them without converting heritage into a standardized output or identity into an administrative label.

The synthesis needs a way to turn anthropological principles into research that communities can use. Table 6 sets out possible indicators and corresponding qualitative questions for continuity, inclusion, representation and agency. The rows should be adapted with participants before measurement. No single indicator is sufficient, but together they suggest how a future project could evaluate cultural resilience without freezing a tradition into one officially approved form.

Table 6. Community-led evaluation of cultural resilience

Concern	Possible indicator	Question for participants
Transmission	Opportunities to teach and learn	Which changes preserve what you value?
Access	Participation across resources and places	Who cannot join, and why?
Representation	Control of public accounts	Whose version is visible or absent?
Agency	Consent and revision of practices	Can you change how material is used?

Note. Indicators are proposals for future co-designed research, not results of this article.

Source: Author's conceptual synthesis based on Hall (1990) and UNESCO (2003).

The evaluation agenda follows a community-led sequence: participants define valued practices, researchers document the conditions of transmission, institutions examine barriers and the group revisits outcomes over time. Disagreement may persist, and the process should record it rather than impose consensus. A numerical participation increase may coexist with loss of control over representation; a stable attendance count may conceal stronger intergenerational learning. Combining the proposed indicators with narratives and observation can distinguish such cases. This is the article's practical meaning of cultural resilience: the capacity to sustain valued relationships while deciding how to respond to change.

The analysis supports a conception of cultural continuity as an active relationship between memory and present practice. A tradition may be retained through changed materials, schedules or audiences when practitioners recognize its meaning and can pass it on. An outwardly unchanged display, by contrast, may have little continuity if people who sustain the practice lose authority over it. Identity is likewise made through histories, interaction and recognition rather than derived mechanically from birthplace. The statistical figures establish the social contexts in which these questions arise, but do not settle them. The distinction between context and meaning is the article's central methodological conclusion.

Migration-related change deserves attention to households and networks rather than a presumption of cultural replacement. The rising share of EU residents with foreign-born backgrounds and the change in some household

categories suggest more settings where memories, languages and routines may be negotiated across places. They do not reveal whether members experience belonging as hybrid, divided or unproblematic. Future fieldwork should follow family interactions, the transmission of everyday skills and the institutions through which people encounter recognition or exclusion. It should include those born in a destination country, whose experience cannot be understood as a simple continuation of their parents' migration.

The participation data add a material condition to discussions of cultural resilience. Income, education, rural residence and disability-related barriers can affect whether people access the activities captured by official surveys. These disparities cannot be explained by an abstract difference in cultural interest. Institutions can respond by examining admission costs, transport, accessibility, language, schedules and the authority communities have in programming. Yet cultural policy must also recognize practices outside surveyed venues. Supporting local gatherings and intergenerational teaching may matter as much as increasing ticket sales. A count of attendance should be paired with accounts from participants about whether a space permits them to contribute on their own terms.

Safeguarding should begin with practitioners' capacity to transmit rather than an external demand to fix a definitive form. Community members need places to meet, opportunities for young people to learn and a voice in decisions about documentation, public display and commercial use. Disagreement within a group should not be erased by appointing a single spokesperson. UNESCO's emphasis on continual recreation and community recognition offers a basis for such a process (UNESCO, 2003). An institution may assist with resources and access, but it should remain attentive to the ways in which its own funding and visibility requirements can privilege one version of a tradition.

Digital environments warrant the same attention to agency. Online circulation may sustain contact across distance and invite new forms of collaboration, but visibility on a platform is not equivalent to control of representation. Researchers should ask who records a practice, whether participants consent to its wider audience, how income or recognition is distributed and what happens to relationships after material circulates. A purchase of digital cultural content is an indicator of one mode of access, not evidence that a community's heritage has become more secure. Policies that support digital documentation should therefore include accessible participation and control by those whose knowledge is recorded.

An effective empirical program would join several methods. Repeated interviews could document changing accounts of belonging across life stages; observation could examine how practices are taught and adapted;

community mapping could identify venues and informal spaces; and survey measures could test whether access to resources varies by income, location and disability. Participants should help define what counts as a meaningful practice and what constitutes an unwanted loss. Comparative work should distinguish recent migrants from long-settled residents and locally born descendants, while allowing people to describe affiliations beyond administrative categories. Such a design could test the mechanisms suggested here without treating official classifications as identities.

For a Romanian contribution to an international congress, the comparative examples should be read with care. Romania's lower measured attendance at selected cultural activities and low foreign-born population share in the displayed datasets cannot justify a claim that its traditions are weaker or less adaptive. They instead identify questions about access, measurement and the local circumstances of cultural practice. Comparative work should investigate rural and urban spaces, informal forms of transmission and the meanings participants attach to mobility. The same caution applies to the higher percentages of other countries. A descriptive contrast invites investigation; it does not authorize a hierarchy of cultural worth.

The article has important limits. It contains no ethnographic observations, interviews or claims about the self-understanding of a named community. Its official measures cover different ages, populations and years. Surveyed cultural participation omits many informal practices; a digital purchase does not measure community attachment; birthplace does not predict an individual's language or traditions. The selected examples cannot establish causal effects of migration, urbanization or technology. Those limitations are not merely technical qualifications. They reflect the ethical need to let people speak about the meaning of their practices before assigning them an externally constructed account of adaptation.

The practical implication is to resist a forced choice between preservation and change. Cultural resilience may require stable support for relationships that permit people to reinterpret inherited knowledge under new conditions. Public institutions can widen access and protect community authority; researchers can specify what their indicators do and do not measure; practitioners can decide which continuities matter to them. The resulting society is not described adequately by a single model of assimilation or an inventory of traditions. It is understood through the ongoing work of making belonging possible across generations, places and media.

REFERENCES

- Eurostat. (2026a). *Culture statistics - cultural participation*. Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Culture_statistics_-_cultural_participation
- Eurostat. (2026b). *Culture statistics - use of ICT for cultural purposes*. Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Culture_statistics_-_use_of_ICT_for_cultural_purposes
- Eurostat. (2026c). *EU population diversity by citizenship and country of birth*. Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_population_diversity_by_citizenship_and_country_of_birth
- Eurostat. (2026d). *Migrant integration statistics - migration status and household composition*. Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Migrant_integration_statistics_-_migration_status_and_household_composition
- Feraru, P. D. (2011). *Românii din Torino între integrare, dezintegrare și reintegrare* [Romanians in Turin between integration, disintegration, and reintegration]. Editura Lumen.
- Feraru, P. D. (2015). *Religie și migrație în România contemporană. Studiu de caz: Românii din Italia* [Religion and migration in contemporary Romania: A case study of Romanians in Italy]. Editura Lumen.
- Hall, S. (1990). Cultural identity and diaspora. In J. Rutherford (Ed.), *Identity: Community, culture, difference* (pp. 222–237). Lawrence & Wishart. <https://warwick.ac.uk/fac/arts/english/currentstudents/postgraduate/masters/modules/asiandiaspora/hallculturalidentityanddiaspora.pdf>
- UNESCO. (2003). *Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage*. <https://ich.unesco.org/doc/src/18440-EN.pdf>

STRENGTHENING THE HALAL INDUSTRY ECOSYSTEM IN BATANG REGENCY: POTENTIAL, CHALLENGES, AND LOCAL DEVELOPMENT STRATEGIES

Naeza Fara Diba¹, Muhammad Reza Kurniawan², Zahrotul Milatina³, Nabilatul Fauziyah⁴, Anasta Nafsi⁵

^{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: naeza.fara.diba24184 @mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

This study examines the potential, challenges, and development strategies of the halal industry ecosystem in Batang Regency, Central Java. The analysis focuses on the availability of local resources, human resources, halal product assistance, Islamic financing, higher education, institutional support, and market development. Batang has several fundamental assets for developing a local halal ecosystem, including a predominantly Muslim population, Islamic educational institutions, pesantren, and a wide range of micro, small, and medium enterprises (MSMEs) operating in culinary, batik, and handicraft sectors. However, these potentials have not yet been fully integrated into a well-established halal ecosystem. Several supporting elements, particularly the availability of competent Halal Product Process Assistants (P3H), access to inclusive Islamic financing, halal research and development, cross-sectoral institutions, and comprehensive databases of local halal products, still require strengthening. Collaboration among local government, higher education institutions, Islamic organizations, financial institutions, halal assistants, and MSMEs is therefore essential. Higher education institutions can contribute through halalpreneurship education, training, business incubation, research, and MSME assistance, while Islamic finance can support business expansion and product development. The development of Batang's halal ecosystem should be implemented gradually, beginning with mapping MSMEs and products, strengthening halal assistance, improving business capacity, facilitating Islamic financing, and expanding digital marketing and market access. Such an integrated approach can transform Batang's existing halal potential into a more organized, productive, and sustainable local economic ecosystem.

Keywords: halal industry; halal ecosystem; MSMEs; Islamic finance; halal certification; Batang Regency.

BATIK RIFAIYAH AS A CULTURAL-BASED CRAFT SUBSECTOR IN THE CREATIVE ECONOMY

Sabrina ZAHROH¹, Ika Ismatul HAWA², Syaliva Dhu SA'ATIN³,
Mutia Aira RAMADHANI⁴, Adellia Saniyatuz ZAHRO⁵

^{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: sabrina.zahroh24099@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Batik is one of Indonesia's cultural works that holds economic, social, and cultural significance. As part of the creative economy, batik can be categorized as a craft subsector because its value is derived not only from the materials and products generated but also from creativity, craftsmanship, cultural knowledge, identity, and traditions passed down across generations. This paper discusses Batik Rifaiyah as a culture-based craft subsector and examines the relationship between its economic potential and the preservation of local cultural identity. Batik Rifaiyah, which developed within the Rifaiyah community in Kalipucang Wetan Village, Batang Regency, is produced particularly by women in the community and is closely connected to their daily life and spiritual practices. Its motifs, colors, lines, and patterns contain symbolic meanings that represent the knowledge, beliefs, and identity of the community. Therefore, Batik Rifaiyah possesses both material value as a textile product and immaterial value as a carrier of cultural knowledge and identity. The development of Batik Rifaiyah in the creative economy provides opportunities for increasing income, expanding markets, and strengthening local products. However, economic development needs to remain balanced with cultural preservation so that commercialization does not separate the product from the community that maintains its tradition. Digital technology can support marketing and transactions, while innovation in motifs should continue to consider cultural authenticity. Thus, strengthening Batik Rifaiyah requires an ecosystem involving artisans, communities, government, educational institutions, businesses, media, and society to ensure the sustainability of both the creative industry and the living cultural heritage.

Keywords: Batik Rifaiyah; Creative Economy; Craft Subsector; Cultural Heritage; Cultural Identity.

CREATIVE ECONOMY DEVELOPMENT IN BATANG REGENCY, CENTRAL JAVA: LOCAL POTENTIAL, CHALLENGES, AND DEVELOPMENT OPPORTUNITIES

Anasta Nafsi¹, Naeza Faradiba², Nabilatul Fauziyah³, Zahrotul Milatina⁴, Reza Kurniawan

^{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: anasta.nafsi24217@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The creative economy has significant potential to support regional economic development by utilizing local resources, community creativity, cultural values, and technological advancement. This study aims to describe the profile, potential, challenges, and development opportunities of the creative economy in Batang Regency, Central Java. Based on the available data and related studies, the creative economy in Batang encompasses several subsectors, including crafts, culinary, fashion, music, performing arts, visual arts, photography, and visual communication design. Crafts and culinary activities represent the largest subsectors, reflecting the strong connection between creative economic activities and local skills and resources. Batik, wood and leather crafts, traditional culinary products, and cultural arts also contribute to strengthening the regional identity. The development of the creative economy is increasingly connected to tourism, digital technology, social media, festivals, and broader market access. However, several challenges remain, including limited business management capabilities, marketing, innovation, regeneration of creative workers, production capacity, and digital utilization. Therefore, strengthening entrepreneurial skills, product innovation, digital marketing, capacity building, and collaboration among government, business actors, communities, and society is essential. Sustainable development based on local potential and cultural identity can increase the economic value of creative products while preserving regional heritage. The creative economy in Batang Regency consequently has opportunities to become a supporting sector for regional economic growth and tourism development when accompanied by continuous capacity strengthening and integrated collaboration.

Keywords: creative economy; local potential; Batang Regency; creative industries; regional development

GOVERNMENT AND MSME COLLABORATION IN PEMALANG: TOWARD AN INCLUSIVE AND SUSTAINABLE LOCAL CREATIVE ECONOMY

Kamilah FIDINI¹, Eva KHAERIYAH², Fina HIMATUL KHUSNA³, Novi MARISKA⁴, Hernawati⁵

^{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: kamilah.fidini24105@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

This study examines the collaboration between government, academia, and micro, small, and medium enterprises (MSMEs) as a driver of local economic development in Pemalang Regency, drawing on three complementary portraits across the district, coastal, and village levels. At the district level, mapping of the creative economy shows that most of Pemalang's 6,764 registered creative actors are concentrated in craft, fashion, and culinary subsectors, yet subsectors emphasizing creation and design generate higher added value than those based on replication, indicating that a large number of MSMEs does not automatically translate into high economic value. At the coastal level, MSMEs around Widuri Beach display strong adaptive creativity in diversifying products and facilities, but remain constrained by limited government support in capital, training, and market access, as well as structural challenges such as tidal flooding and low digital marketing literacy. At the village level, a community-service program in Karangasem Village illustrates a more participatory model of collaboration, in which university students, village government, and community groups jointly carried out digital marketing mentoring, village digitalization, and public-service transparency initiatives, though sustainability remains at risk without a dedicated village administrator. Across the three cases, the findings converge on a common conclusion: the resilience and competitiveness of MSMEs in Pemalang depend less on entrepreneurial creativity alone and more on the extent to which government, academic institutions, and local communities can institutionalize consistent, integrated collaboration rather than temporary interventions. The study recommends strengthening human resources for digital management, ensuring more equitable distribution of assistance, and extending the duration and continuity of mentoring programs as essential steps toward building an inclusive, sustainable, and competitive local economy in Pemalang.

Keywords: MSME collaboration; creative economy; local government; digital marketing; participatory action research; Pemalang Regency.

DIGITAL MARKETING FOR MSMEs IN BATANG, CENTRAL JAVA: STRATEGIES, OPPORTUNITIES, AND CHALLENGES

Muhammad Reza KURNIAWAN¹, Zahrotul MILATINA², Naeza Fara DIBA³, Nabilatul FAUZIAH, Anasta NAFSI⁵

^{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: rezakurniawan901@gmail.com

Abstract

Digital marketing has become an increasingly important strategy for Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) in adapting to the development of the digital economy and increasing business competition. This study aims to examine the role, opportunities, strategies, and challenges of digital marketing implementation among MSMEs in Batang, Central Java. Digital marketing enables MSMEs to expand market reach, reduce promotional costs, interact directly with consumers, strengthen brand awareness, and evaluate marketing activities through measurable digital data. Based on a review of relevant literature, the utilization of social media, e-commerce platforms, instant messaging applications, content marketing, and digital storytelling can contribute to improving sales performance and expanding consumer networks. Previous studies also indicate that the effectiveness of digital marketing depends not only on the availability of digital platforms but also on the digital capabilities, consistency, content planning, and marketing strategies of business owners. For MSMEs in Batang, the adoption of digital marketing provides opportunities to reach consumers beyond geographical boundaries and compete in a broader market. However, several challenges remain, including limited digital knowledge, lack of systematic content planning, intense competition, and the need for continuous assistance. Therefore, MSMEs need to integrate digital marketing with product quality, customer service, branding, and an understanding of consumer preferences. Digital literacy training, appropriate platform selection, continuous mentoring, and collaboration with local micro-influencers can support more effective implementation. Overall, digital marketing can serve as a strategic instrument for MSMEs in Batang to increase market visibility, strengthen customer relationships, expand market access, and enhance sustainable business competitiveness.

Keywords: Digital Marketing; MSMEs; Social Media; E-Commerce; Marketing Strategy; Business Competitiveness; Batang.

THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF CRAFTS IN PEMALANG: CULTURAL HERITAGE, LOCAL SKILLS, AND COMMUNITY ECONOMIC LIFE

Nafal FIKRI¹, May Naila KHOIROH², Syihabud DIN³, M. Nasrul Rusydi Al ARZAQINAA⁴

^{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: nafal.fikri24100@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Crafts represent an important form of material culture that emerges from the ability of communities to process materials, apply specific techniques, and produce functional objects for everyday life. In Pemalang Regency, Indonesia, craft traditions have developed alongside the social and economic life of local communities through the intergenerational transmission of knowledge and skills. Various materials, including textiles, bamboo, clay, wood, and other locally available resources, have been utilized to create products that initially served household needs and provided sources of income. Over time, these crafts have developed beyond their utilitarian functions and acquired economic, aesthetic, and cultural values that contribute to the identity of Pemalang. This study aims to examine the historical development of crafts in Pemalang by emphasizing the relationship between material resources, traditional knowledge, technical skills, and community life. The historical perspective demonstrates that the development of local crafts is not merely a history of the products themselves, but also a history of the people, skills, occupations, and social relationships involved in their production. The continuity of these traditions reflects the capacity of local communities to preserve and transmit knowledge across generations while adapting craft practices to changing social and economic conditions. Therefore, the history of crafts in Pemalang can be understood as a form of living cultural heritage that connects traditional knowledge with community livelihoods, local identity, and economic value. Understanding this historical foundation is essential for developing and preserving Pemalang crafts in contemporary creative industries.

Keywords: crafts; material culture; cultural heritage; traditional knowledge; local skills; community economy; Pemalang.

THE DARK SIDE OF SOCIAL MEDIA JOURNALISM: MISINFORMATION, UNVERIFIED REPORTING AND THE EROSION OF PUBLIC TRUST IN INDIA

Mr. Ajay Kumar

Assistant Public Relations Officer

Government of Himachal Pradesh (India)

Abstract

The rapid expansion of social media has transformed journalism in India by enabling instant news production, dissemination and audience engagement. However, the same speed and reach have created serious challenges related to misinformation, unverified reporting, sensationalism and declining adherence to journalistic ethics. The present study examines how the growing dependence on social media as a source and platform for news influences the credibility of journalism and public trust. The study aims to assess the prevalence and forms of misinformation and unverified reporting, examine journalists' verification and ethical practices, identify factors encouraging the circulation of questionable news, and analyse their relationship with audience trust and news-sharing behaviour. A mixed-method research design will be employed, combining a structured survey of social-media news consumers with content analysis of selected news items and qualitative interviews with journalists and digital news practitioners. The study will examine indicators such as source verification, accuracy, sensationalism, clickbait, attribution, correction practices and audience engagement. The findings are expected to provide empirical insights into the relationship between speed, virality, verification and public trust in the digital news environment. The study will be limited by platform-specific access, self-reported responses and the rapidly changing nature of social-media content. It concludes by emphasising the need for stronger verification mechanisms, ethical standards, digital media literacy and greater accountability in social media journalism.

Keywords: Social Media Journalism; Misinformation; Unverified Reporting; Journalistic Ethics; Public Trust; News Credibility.

DIGITAL TRANSFORMATION UMKM

Aini Anjali Putri Kamalia¹, Nasywa Awaliyah², Inda Millata Afna³, Naila Septiani⁴, Rani Suci Rahmadani⁵

^{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: aini.anjali.putri.kamalia24001@mhs.uingusdur.ac.id, nasywa.awaliyah24008@mhs.uingusdur.ac.id,
inda.millata.afna24031@mhs.uingusdur.ac.id, naila.septiani24046@mhs.uingusdur.ac.id,
rani.suci.rahmadani24020@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Digital transformation has become an important pathway for Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) to improve business efficiency, strengthen competitiveness, expand market access, and respond to changing consumer behavior. In the context of Halal Creative Batang, digitalization provides opportunities to connect local creative products, particularly crafts, fashion, and culinary products, with wider markets while maintaining their cultural identity and halal values. This chapter discusses the gradual process of digitalization, beginning with internal business transformation and continuing toward broader digital market expansion. Digital transformation can be initiated through simple practices such as digital financial recording, inventory management, digital payment systems, customer data management, and product catalog development. The case of Telur Asin Nusantara in Batang illustrates how digital bookkeeping using Google Spreadsheet can improve the organization and monitoring of business finances. Furthermore, social commerce enables MSMEs to interact directly with consumers through digital content, live selling, and online engagement, while marketplaces and e-commerce provide more structured systems for product transactions, payments, promotion, and distribution. Digital storytelling further strengthens product identity by communicating local culture, product uniqueness, and brand values. Finally, global digital marketing allows Batang MSMEs to map broader markets, adapt products, select appropriate platforms, utilize data analytics, and develop strategies for reaching international consumers. However, successful digitalization depends on digital literacy, human resource capabilities, financial readiness, adaptability, and ecosystem support. Therefore, digitalization should be understood not merely as the adoption of technology, but as a gradual transformation of how MSMEs manage businesses, engage consumers, create value, and connect local potential with global market opportunities.

Keywords: *digital transformation; MSMEs; halal creative economy; Batang; social commerce; e-commerce; digital storytelling; global digital marketing*

TURKISH-HINDI LINGUISTIC CONTACT: A HISTORICAL STUDY OF LEXICAL BORROWING AND SEMANTIC ADAPTATION

Dr. Nisha Chauhan

Assistant Professor, Department of Hindi

Rajkiya Kanya Maha Vidyalaya, Shimla

Himachal Pradesh (India) drnishachauhan0@gmail.com

Abstract

Languages develop through continuous interaction with other languages, particularly in contexts of migration, political expansion, trade, cultural exchange, and social contact. The historical interaction between Turkish-speaking communities and the Indian subcontinent, especially during the medieval period, created significant conditions for linguistic exchange. While the influence of Persian and Arabic on Hindi has received considerable scholarly attention, the specific contribution of Turkish and the question of how Turkish lexical elements were transmitted, adapted, and integrated into Hindi require more focused examination. The present study aims to examine the historical nature of Turkish–Hindi linguistic contact and analyse the incorporation of Turkish-origin lexical items into Hindi. It specifically seeks to identify major categories of Turkish lexical borrowing, examine changes in meaning and usage, and understand the processes through which borrowed words became integrated into the Hindi linguistic system. The study also attempts to distinguish direct Turkish borrowings from words that may have reached Hindi through Persian, Arabic, or other intermediary languages. The study adopts a qualitative, descriptive, and historical-linguistic approach. Selected lexical items occurring in Hindi are examined through their etymological origins, historical usage, semantic development, phonological adaptation, and contemporary meanings. Literary, historical, lexicographical, and linguistic sources are consulted to trace the movement of words across Turkish, Persian, and Indo-Aryan linguistic contexts. Comparative analysis is used wherever necessary to examine the original and subsequent forms and meanings of selected words. The study indicates that Turkish–Hindi contact contributed to the enrichment of Hindi vocabulary, particularly in areas associated with administration, military organization, social institutions, clothing, food, occupations, material culture, and everyday life. Several borrowed forms underwent phonological and morphological adaptation and acquired meanings or usage patterns suited to the Hindi linguistic environment. The findings also reveal that the historical multilingual environment makes strict attribution of certain words to Turkish difficult, as Turkish, Persian, and Arabic functioned within interconnected channels of linguistic transmission. Turkish-Hindi linguistic contact represents an important

dimension of the historical development of Hindi and demonstrates that lexical borrowing is not merely a process of vocabulary expansion but also a reflection of prolonged historical and cultural interaction. The study concludes that examining Turkish lexical elements within their broader multilingual context can provide a more nuanced understanding of the evolution of Hindi and the linguistic consequences of Indo-Turkic cultural contact.

Keywords: Turkish-Hindi Linguistic Contact; Lexical Borrowing; Semantic Adaptation; Historical Linguistics; Language Contact; Hindi Vocabulary

ROLE OF WOMEN IN PANCHAYATI RAJ INSTITUTIONS: A COMPARATIVE STUDY OF CHAMBA AND HAMIRPUR DISTRICTS OF HIMACHAL PRADESH

Mrs. Shailza

Assistant Professor Political Science,
Government Degree College Rakkar, Kangra
Himachal Pradesh (India)

Abstract

The constitutional recognition of women's political participation through the 73rd Constitutional Amendment has significantly transformed the landscape of grassroots governance in India. Panchayati Raj Institutions (PRIs) have provided women with institutional space to participate in local decision-making, leadership and community development. However, representation in elected positions does not necessarily ensure substantive participation or effective decision-making. Against this background, the present study, examines the nature, extent and effectiveness of women's participation in grassroots governance. The study aims to assess women representatives' involvement in Panchayat meetings, decision-making, planning and implementation of development programmes; examine their awareness of powers, functions and responsibilities; identify socio-economic, cultural and institutional factors influencing their participation; and comparatively analyse the experiences and challenges of women representatives in the two districts. A mixed-method comparative research design will be adopted, combining structured surveys of elected women representatives with interviews, field observations and analysis of relevant Panchayati Raj documents. The study will assess indicators such as participation in meetings, independent decision-making, interaction with officials, control over development priorities and perceived political empowerment. The findings are expected to demonstrate both the opportunities created by political decentralisation and the continuing barriers affecting women's substantive participation. The study may be limited by geographical accessibility, respondents' willingness to disclose experiences and variations in local socio-cultural conditions. It concludes by highlighting the need for capacity building, institutional support, gender-sensitive governance and greater awareness of constitutional and legal provisions to strengthen women's effective role in grassroots democracy.

Keywords: Women's Political Participation; Panchayati Raj Institutions; Grassroots Governance; Political Empowerment; Decentralisation; Himachal Pradesh.

CULINARY AS CULTURAL IDENTITY OF BATANG: LOCAL HISTORY, COMMUNITY IDENTITY, AND INDIGENOUS KNOWLEDGE

Sauqi Masda KAMA¹, Adhi Wira Pradana SUGIANTORO², Muhammad Nazihi HANIIF³, Irfandi RIZQULLAH⁴, MIFTAKHUDIN⁵

^{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: sauqi.masda.kama24176@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Traditional culinary practices are an important part of cultural identity because they contain historical narratives, social values, practical knowledge, and skills transmitted across generations. This study examines traditional culinary heritage in Batang Regency, Central Java, Indonesia, with particular attention to Serabi Kalibeluk, Sego Megono, and Lontong Lemprak. The discussion focuses on three dimensions: the historical development of local culinary traditions, the relationship between traditional food and community identity, and the role of indigenous knowledge in maintaining culinary heritage. The findings indicate that Serabi Kalibeluk represents a significant form of local culinary heritage through its traditional ingredients, production equipment, preparation techniques, and intergenerational transmission among artisan families. Local narratives associated with the Mataram Sultanate also contribute to the collective memory surrounding the culinary tradition, although such narratives should be distinguished from documented primary historical evidence. Meanwhile, Sego Megono demonstrates how traditional food can function as a medium of social interaction and an inclusive cultural symbol across different social groups. Lontong Lemprak similarly reflects local social values through its distinctive communal and informal eating practice. Furthermore, indigenous knowledge is preserved through direct learning within families, practical production experience, traditional technologies, and cultural expressions such as the Serabi Kalibeluk dance. These findings demonstrate that Batang's culinary heritage is not merely related to food consumption but also represents a living cultural system that connects history, social relations, local knowledge, and community identity. Therefore, preserving traditional culinary practices requires not only maintaining the food products themselves but also documenting and transmitting the knowledge, skills, meanings, and cultural practices associated with them.

Keywords: traditional culinary heritage; cultural identity; indigenous knowledge; Serabi Kalibeluk; Batang Regency; intangible cultural heritage.

REGIONAL CREATIVE ECONOMY POLICY IN BATANG REGENCY: STRATEGIES FOR MSME DEVELOPMENT, TOURISM INTEGRATION, AND SUSTAINABLE ECONOMIC GROWTH

Sari Aulia Rahmawati¹, Meita Nadya Aulia², Nisa Amalia³, Sukma Fathimah Az-Zahro⁴, Azizil Lichasanah⁵

^{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

Creative economy development has become an increasingly important component of regional economic growth, particularly through the development of Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs), local culture, tourism, and digital innovation. This study examines the regional creative economy policy in Batang Regency, Central Java, focusing on the role of local government in strengthening the creative economy ecosystem and increasing its contribution to regional economic growth. The policy is reflected in the establishment of the Batang Creative Economy Committee (Komite Ekonomi Kreatif/KEK) for the 2026–2031 period and the government's target to increase the contribution of MSMEs and the creative economy to more than 30% of regional economic growth. Batang Regency has diverse creative economic potential derived from cultural heritage, traditional crafts, culinary products, tourism, marine resources, and local human resources. The integration of the creative economy with tourism provides opportunities to expand market access and increase community income. However, several challenges remain, including limited MSME capacity, restricted market access, inadequate digital marketing skills, policy consistency, and the sustainability of cultural and environmental resources. Therefore, policy strategies should emphasize continuous MSME assistance, digitalization, product innovation, branding, human resource development, market expansion, and cross-sector collaboration. Overall, the creative economy policy in Batang Regency has significant potential to support inclusive and sustainable regional economic development through the effective integration of MSMEs, tourism, local culture, and digital innovation.

Keywords: Creative economy, regional economic policy, MSMEs, tourism, digitalization, Batang Regency.

CONCEPT AND ARCHITECTURE OF HALAL HUB IN BATANG REGENCY

Sukma Fathimah Az-Zahro¹, Meita Nadya Aulya², Nisa Amalia³, Sari Aulia Rahmawati⁴, Azizil Lichasanah⁵

^{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: sukma.fathimah.az-zahro24077@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The development of the halal economy in Batang Regency has significant potential due to the diversity of local economic resources, including micro, small, and medium enterprises (MSMEs), village-owned enterprises (BUMDes), religious tourism, coastal tourism, and local products. However, the development of the halal ecosystem still faces challenges, particularly limited halal certification support institutions, business legality, financing, product development, and market access. This article aims to examine the concept and architecture of a Halal Hub that can integrate various actors and activities within the halal economic ecosystem in Batang Regency. The discussion uses a descriptive approach by examining the potential, challenges, and roles of relevant stakeholders in developing the halal ecosystem. The proposed Halal Hub is designed as an integrated network connecting local government, the Halal Product Assurance Organizing Agency (BPJPH), Halal Product Process Assistance Institutions (LP3H), Halal Inspection Bodies (LPH), universities, BUMDes, MSMEs, financial institutions, and markets. Its architecture covers several interconnected layers, including regulation and institutions, assistance and certification, business strengthening, production and product development, and market access. BUMDes can function as a bridge between village economic potential and broader halal markets, while tourism can serve as an entry point for integrating local products into the halal value chain. Digital platforms and halal literacy are also important in strengthening information access, business capacity, and marketing. Therefore, the Halal Hub is proposed not merely as a physical facility, but as an integrated economic network that strengthens the halal value chain from upstream production to downstream markets.

Keywords: Halal Hub; Halal Economy; MSMEs; BUMDes; Halal Ecosystem; Batang Regency

BATIK RIFA'YAH AND CULTURAL HERITAGE OF THE BATANG COMMUNITY

Syaliva Dhu SA'ATIN¹, Sabrina ZAHROH², Mutia Aira RAMADHANI³, Adellia Saniyatuz ZAHRO⁴,
Ika Ismatul HAWA⁵

^{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: syaliva.dhu.saatin24123@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Batik Rifai'yah is one of the cultural heritages of the Rifai'yah community in Kalipucang Wetan Village, Batang Regency, Central Java. It has distinctive characteristics because its development is closely related to the history of the Rifai'yah community, Islamic values, and local traditions. This study aims to describe the history and development of Batik Rifai'yah, its philosophical values, cultural motifs and symbols, its role as a community identity, and the challenges of preserving this cultural heritage. Batik Rifai'yah is not merely a textile product, but also a medium for transmitting religious, moral, social, and cultural values across generations. Its motifs, such as Pelo Ati and Materos Satrio, contain symbolic meanings related to human character and brotherhood. The avoidance of depicting living creatures in complete forms also reflects the influence of Islamic values, particularly the principle of monotheism. In addition, the traditional process of making batik, including the practice of reciting Islamic-themed Javanese verses, demonstrates the close relationship between art, spirituality, and everyday life. Batik Rifai'yah also plays an important role in strengthening the cultural identity of the community and providing opportunities for women to contribute to cultural preservation and economic activities. However, its sustainability faces challenges, particularly the regeneration of artisans, the decreasing interest of younger generations, the disappearance of some traditional motifs, and competition with mass-produced batik. Therefore, preservation requires cooperation among artisans, families, communities, government, educational institutions, and younger generations through cultural education, documentation, regeneration, promotion, and the use of digital media while maintaining its cultural identity..

Keywords: Batik Rifai'yah, cultural heritage, cultural identity, Islamic values, cultural preservation

PRODUCT INNOVATION BATANG

Inda Millata Afna¹, Naila Septiani², Nasywa Awaliyah³, Aini Anjali Putri Kamalia⁴, Rani Suci Rahmadani⁵

^{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: inda.millata.afna24031@mhs.uingusdur.ac.id,
naila.septiani24046@mhs.uingusdur.ac.id,
nasywa.awaliah24008@mhs.uingusdur.ac.id, aini.anjali.putri.kamaila24001@mhs.uingusdur.ac.id,
rani.suci.rahmadani24020@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Product innovation plays an important role in increasing business competitiveness and supporting the sustainability of local economic activities. Product innovation does not only refer to the creation of entirely new products but also includes improvements in quality, product variations, design, packaging, labeling, technology, and the development of derivative products that provide additional value to consumers. This paper discusses product innovation in Batang Regency by examining the potential of local resources and the development strategies that can increase the economic value and competitiveness of local products. Batang has diverse local potentials originating from agriculture, plantations, fisheries, forestry, and household industries, including essential oils, melinjo chips, honey, batik, processed fish, furniture, organic rice, tea, and coffee. These resources provide opportunities for developing innovative products while maintaining the characteristics and identity of Batang. Product innovation can be implemented through product diversification, quality improvement, modern packaging, labeling, branding, and the adoption of appropriate production technologies. The development of tea products at PT Pagilaran UP Pagilaran demonstrates how product and process innovation supported by technology can contribute to operational performance and market development. However, product innovation in Batang still faces several challenges, including differences in technological capabilities, limited capital, weak institutional capacity, dependence on intermediaries, and limited marketing and market information. Therefore, product innovation needs to be supported by government assistance, training, technological development, access to financing, stronger marketing networks, and the promotion of local product identity. Through integrated development, local product innovation can increase added value, expand market opportunities, strengthen competitiveness, and contribute to the economic development of the Batang community.

Keywords: *product innovation, local products, competitiveness, technology, Batang*

THE RELATIONSHIP BETWEEN ISLAM AND BATIK TRADITION IN PEKALONGAN

Mutia Aira RAMADHANI¹, Ika Ismatul HAWA², Sabrina ZAHROH³,

Syaliva Dhu SA'ATIN⁴, Adellia Saniyatuz ZAHRO⁵.

^{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: mutia.aira.ramadhani24124@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The relationship between Islam and batik in Indonesia can be understood through the process of cultural interaction and acculturation. In Pekalongan, batik has developed in a social and cultural environment influenced by trade, local traditions, and the presence of Islamic communities. This article aims to discuss the relationship between Islamic values and batik tradition in Pekalongan, particularly in relation to batik motifs, clothing, and the development of batik products. This study uses a descriptive literature-based approach by examining relevant discussions on Islam, local culture, and batik. The discussion indicates that the relationship between Islam and batik can be seen in several forms. Batik motifs may include natural elements, local symbols, and, in certain cases, calligraphic elements that can be associated with the religious and cultural context of the community. Batik can also be used as clothing by Muslim communities while maintaining local cultural characteristics, provided that its use does not conflict with Islamic principles. In Pekalongan, batik is also discussed as part of local economic activity and cultural expression. Some batik producers adapt product designs, marketing, and product narratives to respond to the preferences of Muslim consumers. These practices show that the development of batik in Pekalongan involves an interaction between local cultural traditions and Islamic values. Thus, the relationship between Islam and batik is not limited to religious symbols but can also be observed through the ways in which cultural practices and economic activities develop within the local community.

Keywords: Islam, batik, cultural acculturation, Islamic values, Pekalongan.

PRODUCT INNOVATION BASED ON LOCAL POTENTIAL: STRENGTHENING THE COMPETITIVENESS OF CREATIVE PRODUCTS IN BATANG REGENCY

Zahrotul Milatina¹, Muhammad Reza Kurniawan², Naeza Fara Diba³, Nabilatul Fauziyah⁴, Anasta Nafsi⁵

^{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: zahrotul.milatina24183@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Local product development can no longer rely solely on the availability of raw materials or regional uniqueness; amid increasingly competitive markets, local potential must be processed through innovation to generate added value, competitiveness, and strong product character. This study examines how innovation encompassing product development, packaging improvement, diversification, technology adoption, and marketing strategy strengthening can transform local resources and cultural heritage into creative products with higher economic value, using Batang Regency as the context of analysis. The discussion highlights the Batang Regency government's initiative encouraging each sub-district to develop and showcase superior local products, exemplified by the Wonotunggal Expo 2026, which featured products from fifteen villages and fifty MSME booths. The concept of vertical diversification is explored as a means of processing local commodities into varied derivative products with added value in form, time, and place utility. The findings emphasize that local wisdom serves as a source of identity and inspiration for creative products, while innovation functions to adapt form, function, and presentation to modern market demands without eliminating authentic characteristics. Market expansion strategies, including digital marketing, social media, online marketplaces, exhibitions, and partnerships such as with UKM IKM Nusantara and cargo train distribution, are identified as essential complements to production-stage innovation. Human resource capacity building through government, business, educational, and community collaboration is also found critical in overcoming technical, financial, and market-access limitations faced by MSMEs. The study concludes that local-potential-based innovation in Batang integrates three interrelated aspects: preserving local cultural uniqueness, adapting products to consumer needs, and expanding markets through technology and partnerships, ultimately fostering a sustainable creative economy ecosystem that strengthens both regional identity and economic welfare.

Keywords: local potential, product innovation, local wisdom, creative economy, MSMEs.

CREAT ECOSYSTEM DEVELOPMENT IN BATANG REGENCY: A QUADRUPLE HELIX APPROACH FOR SUSTAINABLE LOCAL CREAT ECONOMY

Nisa Amalia¹, Meita Nadya Aulya², Sari Aulia Rahmawati³, Sukma Fathimah Az-Zahro⁴, Azizil Lichasanah⁵

^{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: nisa.amalia24075@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The development of a knowledge-based economy has shifted economic activities from dependence on physical resources and conventional manufacturing toward ideas, cultural expression, creativity, and innovation. In this context, the creative ecosystem offers a broader perspective than linear value chains and traditional creative clusters by emphasizing complex interactions among commercial industries, publicly funded cultural sectors, informal creativity, and community-based activities. This study discusses the application of the creative ecosystem concept to the development of the local creative economy in Batang Regency, Central Java, particularly amid the emergence of the Batang Integrated Industrial Estate (KITB). The analysis adopts a Quadruple Helix framework involving academia, industry, government, and communities, supported by digital platforms as ecosystem orchestrators. Batang's creative potential includes traditional crafts, batik, culinary businesses, digital content creators, and performing arts, which can be strengthened through education, incubation, intellectual property protection, digitalization, and cross-sector collaboration. However, the development of the ecosystem faces structural challenges, including unequal power relations, uncertain monetization, unclear ecosystem boundaries, and disparities in digital literacy between urban and rural communities. Therefore, sustainable development requires ecological policymaking that measures not only economic outcomes but also socio-cultural sustainability and stakeholder connectivity. Local government should act as a facilitator by creating open spaces and supportive structures rather than imposing rigid top-down interventions. An integrated and inclusive creative ecosystem can strengthen Batang's local identity, competitiveness, economic resilience, and long-term cultural sustainability.

Keywords: creative ecosystem, creative economy, Quadruple Helix, digital platform, Batang Regency, sustainable development

DIGITALIZATION OF THE BATIK INDUSTRY: PRESERVING CULTURAL HERITAGE THROUGH TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**Adellia Saniyatuz ZAHRO¹, Ika Ismatul HAWA², Syaliva Dhu SA'ATIN³, Mutia Aira RAMADHANI⁴,
Sabrina ZAHROH⁵**

**^{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: adellia.saniyatuz.zahro24131@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Batik is one of Indonesia's most important creative economy products, possessing not only economic value but also historical, artistic, cultural, and philosophical significance. As a cultural heritage traditionally passed down through generations, the sustainability of the batik industry is closely linked to efforts to preserve local traditions and identities. However, rapid technological advancements, changing consumer preferences, and increasing market competition have encouraged batik enterprises to adopt digital transformation. This study examines the role of digitalization in supporting the development and sustainability of the batik industry while maintaining its cultural authenticity. Digital technologies have transformed various aspects of the batik value chain, including design, production, marketing, human resource management, and organizational development. In production, digital design software and digital printing technologies enable faster and more efficient processes while expanding opportunities for design innovation through the integration of traditional motifs and contemporary elements. Nevertheless, digitalization should function as a complementary tool that enhances creativity rather than replacing the artistic craftsmanship embodied in hand-drawn and stamped batik. In marketing, digital platforms such as social media, marketplaces, websites, and analytics tools provide broader market access and stronger customer engagement. Evidence from the KUB Batik Pringmas experience indicates that digital literacy training can significantly improve the ability of artisans to create promotional content and manage digital marketing activities independently. Furthermore, sustainable digital transformation requires adaptive organizational structures, continuous human resource development, and collaboration among stakeholders, including government institutions, universities, MSME communities, designers, technology providers, and business partners. Ultimately, digitalization should support economic, social, technological, environmental, and cultural sustainability through responsible production practices, waste management, workforce empowerment, and preservation of traditional batik values.

Keywords: Batik Industry, Digital Transformation, Digital Marketing, Cultural Heritage Preservation, Sustainable Development.

FACTORS INFLUENCING THE ACCEPTANCE OF FAMILY PLANNING AMONG ADOLESCENT GIRLS AND YOUNG WOMEN IN THE MUNICIPALITY OF DJOUGOU (BENIN)

Gouthon Gilchrist Fabrice^{1,2*}, Dioubaté Mohamed Lamine¹, Houessou Frédéric^{1,3}, Maman Sabiratou², Diop Moustapha¹, Gbaguidi Arnould²,

1. Laboratory for Socio-Anthropological Analysis of Guinea (LASAG). General Lansana Conté University of Sonfonia–Conakry (UGLC-SC), Republic of Guinea

2. Center for Studies and Research in Education and Social Interventions for Development (CEREID). National Institute of Youth, Physical Education, and Sports. University of Abomey-Calavi, Republic of Benin.

3. Research Unit on the Sociology of Organizations, Management, and Sports Engineering. National Institute of Youth, Physical Education, and Sports. University of Abomey-Calavi, Republic of Benin.

Corresponding author: GOUTHON Gilchrist Fabrice*; E-mail : gilchristgouthon@yahoo.fr;

Abstract

Raising awareness about sexual and reproductive health is a key concern that involves the acceptability of contraceptive methods. The aim of this study is to analyse the factors associated with the acceptability of family planning among adolescent girls and young women in the municipality of Djougou. This is a cross-sectional study using a mixed-methods approach (quantitative and qualitative). The results were obtained through semi-structured interviews with eleven individuals, including seven community health workers, three health workers and one project supervisor specialising in SRHR. To support the quantitative data, a questionnaire was administered to 87 adolescent girls and young women in the municipality of Djougou. Analysis of the empirical data revealed that adolescent girls and young women in the municipality of Djougou have limited knowledge of family planning methods. In addition to lacking sufficient understanding of the actual use of contraceptives, adolescent girls and young women adopt a negative attitude towards these methods, which they consider alien to their socio-cultural values. Added to these socio-cultural factors are the prejudices and shame they experience when discovered by a third party using these contraceptive methods. The data also reveal that economic problems are a source of refusal to use

Keywords: contraceptive methods, health, social influences, interventions.

THE DEVELOPMENT OF A HALAL FOOD INDUSTRIAL AREA IN PEMALANG REGENCY: CONCEPT, ECONOMIC POTENTIAL, AND STRATEGIC FRAMEWORK

Ghathfaan Alhamda Rahman¹, Muhammad Hidayatullah², M.Abdul Latif³, Tabik Asghar Ramadhani⁴, Haikal Adzimil Anam⁵

^{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: ghathfaan.alhamda.rahman24207@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

This paper examines the conceptual foundation and strategic direction for developing a Halal Food Industrial Area (Kawasan Industri Pangan Halal) in Pemalang Regency, Central Java. The halal industry concept has evolved beyond product compliance into an integrated ecosystem covering the entire value chain, a shift reinforced by Indonesia's Halal Product Assurance Law and its implementing regulation. Pemalang's local government has initiated discussions with the National Committee for Islamic Economy and Finance (KNEKS) to explore this development, motivated by the growing contribution of the halal value chain to national economic growth and by the regency's strong agricultural base, particularly pineapple and mango commodities that remain underprocessed. The paper maps priority commodities, outlines a halal value chain model linking farmers, processing industries, certification, and distribution, and positions micro, small, and medium enterprises as central actors within a shared institutional structure involving government, industry, financial institutions, and academia. A phased development approach—mapping, consolidation, downstreaming, standardization, and market expansion—is proposed to address key challenges, including raw material continuity, standardization, certification, infrastructure, financing, and institutional coordination. The findings suggest that Pemalang possesses meaningful, though still preliminary, potential to become a halal food manufacturing hub through structured, stage-based institutional and economic strategy.

Keywords: halal industrial area, halal value chain, Pemalang, halal food manufacturing, downstreaming, MSMEs, halal certification

CRAFTS AS A DRIVER OF BATANG'S CREATIVE ECONOMY

Nasywa Awaliyah¹, Naila Septiani², Inda Millata Afna³, Aini Anjali Putri Kamalia⁴, Rani Suci

Rahmadani⁵

^{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: nasywa.awaliyah24008@mhs.uingusdur.ac.id, inda.millata.afna24031@mhs.uingusdur.ac.id,
naila.septiani24046@mhs.uingusdur.ac.id, aini.anjali.putri.kamaila24001@mhs.uingusdur.ac.id,
rani.suci.rahmadani24020@mhs.uindusdur.ac.id

Abstract

The creative economy has an important role in supporting regional economic growth by utilizing creativity, skills, innovation, and local cultural values to create products with economic value. One of the creative economy subsectors with strong connections to local culture is craft, particularly batik. This study aims to examine the potential of craft as a strength of the creative economy in Batang Regency, with a focus on the development of Batik Rifa'iyah in Kalipucang Wetan Village. The study uses a descriptive qualitative approach based on information regarding local craft development, cultural potential, challenges, and development strategies. The results show that craft in Batang has economic and cultural potential because it can increase the income of artisans, strengthen micro, small, and medium enterprises (MSMEs), create employment opportunities, and preserve local cultural identity. Batik Rifa'iyah represents a distinctive local craft because its motifs and production traditions are closely related to the cultural and religious values of the local community. However, its development faces several challenges, including limited market access, limited understanding of business and legal protection, competition with mass-produced products, and the low regeneration of young artisans. Therefore, sustainable development requires improving human resources through training, product innovation, digital marketing, strengthening product branding, and collaboration among government, universities, communities, business actors, financial institutions, designers, and marketplaces. Digital technology can also help introduce Batang craft products to wider markets. Thus, craft can function not only as an economic activity but also as a means of preserving local culture and strengthening the identity of Batang Regency.

Keywords: Creative Economy; Craft; Batik Rifa'iyah; Local Culture; Batang Regency; MSMEs.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN EDUCATIONAL WORKFORCE MANAGEMENT: TEACHER ANALYTICS AND PROFESSIONAL DEVELOPMENT

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

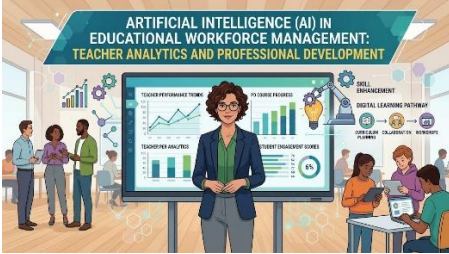
Abstract

Artificial Intelligence (AI) is increasingly transforming educational workforce management by enabling institutions to analyse teacher-related data, identify professional development needs, monitor instructional practices, and provide evidence-informed recommendations for continuous professional learning. Conventional teacher-management approaches often depend on periodic appraisal, self-reported needs, attendance records, administrative evaluations, and standardized professional development programmes, which may provide limited insight into the dynamic and multidimensional nature of teachers' professional competencies. AI-enabled teacher analytics offers a more data-driven approach by integrating information from learning-management systems, assessment platforms, professional-development records, classroom observations, teacher self-assessments, digital-learning activities, and institutional workforce systems. This study examines the application of AI to teacher analytics and professional development, with particular emphasis on predictive analytics, competency profiling, personalized learning pathways, performance monitoring, AI literacy, professional-learning recommendations, and ethical workforce governance. A quantitative research design was adopted, involving 500 teachers and examining relationships among AI literacy, instructional technology competence,

professional-development engagement, teaching performance, and AI-supported professional learning. Data were analysed using descriptive statistics, reliability analysis, Pearson correlation, and multiple regression to determine the relationships between teacher analytics variables and professional-development outcomes. The findings indicate positive relationships among AI literacy, professional-development engagement, AI-supported learning, and perceived teaching effectiveness, with AI-supported professional learning demonstrating a particularly strong contribution to teaching performance. The study further demonstrates that teacher analytics can facilitate the identification of competency gaps and support more targeted and personalized professional-development interventions. However, effective implementation requires transparency, data protection, human oversight, algorithmic fairness, explainability, teacher agency, and contextual interpretation. The study concludes that AI-enabled workforce management can strengthen teacher professional development when analytical intelligence is integrated with institutional support, professional judgement, and human-centred educational leadership.

Keyword: Artificial Intelligence; Professional Development; Teacher Analytics; Workforce Management.

INTRODUCTION



Artificial Intelligence (AI) is becoming an increasingly important component of educational workforce management as educational institutions generate rapidly expanding volumes of digital information concerning teaching activities, professional learning, instructional practices, learner engagement, assessment outcomes, teacher performance and institutional effectiveness. The increasing availability of learning-management systems, digital assessment platforms, electronic staff records, virtual learning environments, classroom technologies and professional-development platforms has created extensive data resources that can potentially inform evidence-based management of teachers and other educational personnel. The emergence of machine learning, natural-language processing, generative AI, predictive analytics, learning analytics and intelligent recommendation systems provides new opportunities to transform conventional teacher management from periodic, largely administrative appraisal toward continuous, evidence-informed and developmental decision-making. Rather than relying exclusively on annual performance evaluations, attendance records or generalized professional-development programmes, educational institutions can employ AI-supported analytics to identify emerging competency gaps, recognize professional strengths, predict training requirements and recommend individualized learning opportunities. Tan, Cheng, and Ling (2025), in a systematic review of 95 studies published between 2015 and 2024, reported that research on AI in education has concentrated substantially more on teaching applications than on teachers' professional development, with only 35% of the reviewed studies focusing on professional-development applications. This imbalance highlights an important research and implementation gap because teachers are not merely users of AI-enabled educational technologies; they are central actors whose knowledge, competencies, professional judgement and willingness to adopt emerging technologies determine whether AI-supported educational transformation can achieve sustainable outcomes. Consequently, teacher development should become an integral dimension of institutional AI strategies rather than an incidental outcome of technology adoption. AI-enabled teacher analytics provides an important mechanism for achieving this objective because it can integrate information from professional-development participation, classroom observations, assessment practices, digital-learning environments, teacher self-assessments, instructional activities and other institutional workforce systems to generate descriptive, diagnostic, predictive and recommendatory insights. Descriptive analytics can establish teachers' existing

professional profiles and patterns of technology use; diagnostic analytics can identify specific competency gaps and potential causes; predictive analytics can anticipate future professional-development requirements; while recommendatory analytics can suggest appropriate courses, mentoring activities, learning resources or collaborative professional-learning opportunities. Qazi and Pachler (2025) proposed a data-analytics framework for targeted teacher professional development in which teacher-related data are transformed into personalized professional-development recommendations while maintaining teacher agency, autonomy and contextual relevance. Such an approach represents a shift from standardized professional-development provision toward adaptive workforce development in which professional learning responds more closely to individual competencies, teaching contexts and institutional priorities. The importance of this transformation is reinforced by UNESCO's AI Competency Framework for Teachers, which identifies 15 competencies distributed across five dimensions: human-centred mindset, ethics of AI, AI foundations and applications, AI pedagogy, and AI for professional learning. The framework emphasizes that teachers must develop not only technical knowledge of AI but also the ethical, pedagogical and professional capacity to determine when, why and how AI should be employed within educational contexts. This perspective is particularly important for workforce management because increased access to teacher data can create both opportunities and risks. Although AI analytics may improve the identification of professional-development needs, inappropriate implementation could lead to excessive surveillance, algorithmic bias, inaccurate performance classifications, privacy violations or the reduction of complex teaching practices to simplistic numerical indicators. Teacher performance is influenced by multiple contextual factors, including class size, student characteristics, available infrastructure, workload, institutional leadership, curriculum requirements and access to professional resources; therefore, analytical outputs should not be interpreted independently of professional and organizational contexts. AI in educational workforce management should consequently not be conceptualized simply as an automated mechanism for ranking, monitoring or replacing teachers. Instead, it should function as an intelligent decision-support infrastructure that assists educational leaders and teachers in identifying professional strengths, developmental gaps, emerging training needs, appropriate learning resources and opportunities for collaborative improvement. A human-centred model is particularly necessary because professional development involves reflection, motivation, collaboration, mentoring and contextual judgement that cannot be completely captured through algorithmic indicators. Effective AI-enabled workforce management should therefore establish a continuous feedback cycle in which teacher data are ethically collected, analysed to identify developmental needs,

translated into personalized professional-learning recommendations, implemented through appropriate training and mentoring, and subsequently evaluated using new evidence of professional growth. This approach positions AI as an enabling technology rather than an autonomous authority over teachers. Accordingly, the present study examines the potential of AI-enabled teacher analytics to contribute to systematic and personalized professional development while critically addressing the associated requirements for accuracy, fairness, privacy, transparency, explainability, accountability and teacher autonomy. By connecting teacher analytics with professional learning, the study advances the argument that the most valuable application of AI in educational workforce management is not the automation of teacher evaluation but the intelligent augmentation of continuous professional growth, institutional decision-making and the development of an adaptive, competent and future-ready educational workforce.

LITERATURE REVIEW

AI-Enabled Teacher Analytics and Educational Workforce Management

Teacher analytics represents an important extension of educational data analytics from learner-centred applications toward the systematic analysis of teaching-related information. Conventional educational workforce management frequently depends on annual appraisal, administrative records, supervisor observations and generalized training schedules. Although these mechanisms remain important, they may provide only fragmented information about teachers' continuously changing professional needs. AI can strengthen workforce management by integrating multiple data sources and applying descriptive, diagnostic, predictive and recommendatory analytics. Qazi and Pachler (2025) conceptualized teacher professional-development analytics around these four functions, arguing that data can be converted into actionable information capable of supporting individualized professional learning. Their framework emphasizes that analytics should not merely describe teacher behaviour but should support developmental decisions and connect professional-learning recommendations to individual trajectories. Teaching analytics can encompass indicators such as professional-development participation, digital-platform activity, assessment practices, instructional-resource utilization, classroom-observation records, teacher self-efficacy, AI literacy and competency assessments. When these variables are analysed longitudinally, educational managers can identify patterns that are difficult to detect through conventional appraisal. For example, a teacher demonstrating strong subject knowledge but limited digital competence may require a different development pathway from a teacher who possesses advanced digital skills but requires support in instructional design. AI can therefore facilitate differentiated workforce

development. The potential value of teacher analytics is also supported by research on teaching analytics in higher education. Janse van Vuuren (2020) demonstrated that teaching analytics can become an integral component of broader institutional data-analytics frameworks and can contribute to teachers' scholarly and professional development. However, analytical systems must distinguish between indicators of activity and indicators of quality. High platform activity, for instance, does not automatically indicate effective teaching. AI-generated recommendations should therefore be interpreted within institutional and pedagogical contexts rather than treated as definitive judgments. Teacher analytics is consequently most valuable when it functions as an evidence-informed support mechanism embedded within human-led workforce management.

AI Literacy and Teacher Competency Development

AI literacy has become a fundamental component of contemporary teacher competence because educators increasingly encounter AI-supported systems in curriculum planning, assessment, communication, instructional design and professional learning. Sperling et al. (2024), through a scoping review, found that AI literacy remains an emerging area in teacher education and that existing approaches do not sufficiently address teachers' practical and ethical knowledge. Their analysis indicates that teacher AI literacy should extend beyond technical understanding to encompass pedagogical application, critical judgement and ethical awareness. Empirical evidence further demonstrates that AI literacy can be developed through structured professional learning. Du et al. (2024) investigated AI literacy in teacher learning and emphasized the importance of understanding teachers' intentions and determinants of AI learning. Ding et al. (2024), studying seven middle-school science teachers, found that a case-based AI professional-development intervention increased teachers' self-reported AI literacy, particularly their knowledge and understanding of AI. The study also showed that moderately structured and ill-structured cases encouraged teachers to consider different approaches to AI integration. The Nigerian context is particularly relevant. Ayanwale et al. (2024) examined AI literacy among 529 pre-service teachers in a Nigerian university and reported that understanding AI significantly predicted dimensions including AI use, detection, ethics, creation and problem-solving. This finding suggests that AI literacy is not an isolated technical skill but a multidimensional competency associated with teachers' capacity to engage with AI responsibly. UNESCO (2024) provides a broader competency framework consisting of 15 competencies organized across five dimensions: human-centred mindset, ethics of AI, AI foundations and applications, AI pedagogy, and AI for professional learning. These dimensions provide a useful foundation for workforce-management systems because teacher analytics can assess developmental needs against explicit competency domains. AI-enabled

professional development should therefore move beyond generic digital-skills workshops toward competency-based pathways that are adaptive, evidence-informed and aligned with teachers' disciplinary and institutional contexts.

AI-Driven Personalization of Teacher Professional Development

A major contribution of AI to educational workforce management is the possibility of personalizing professional development. Traditional professional-development systems often provide the same workshop, course or seminar to large groups of teachers regardless of differences in expertise, experience, subject area, technological competence or developmental needs. AI-enabled systems can potentially overcome this limitation by constructing professional profiles and recommending differentiated learning opportunities. Qazi and Pachler (2025) proposed a framework in which descriptive, diagnostic, predictive and recommendatory analytics support personalized professional learning. The framework emphasizes that teacher data should be interpreted in relation to individual developmental trajectories and contextual conditions rather than simply producing standardized performance scores. This approach creates the possibility of a professional-development recommender system in which teachers receive targeted suggestions based on their identified competency gaps, previous training, professional interests and observed instructional needs. The systematic review by Dogan, Nalbantoglu, Celik, and Agacli Dogan (2025) similarly demonstrates the growing importance of AI-focused professional development structured around the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework. Their review examined AI professional-development initiatives, the AI tools addressed, programme structures, TPACK domains and reported teacher outcomes. The implication is that effective AI professional development should integrate technological knowledge with pedagogical and disciplinary knowledge rather than treating AI competence as purely technical. Recent research also points toward self-directed professional learning. Li, Wang, and Bonk (2026) examined generative AI, including ChatGPT, as a resource for teachers' self-directed professional development. Such systems may allow teachers to obtain explanations, examples, feedback, lesson-design support and reflective prompts at the point of need. However, personalization must not become algorithmic isolation. AI-generated recommendations should be supplemented by mentoring, peer collaboration, professional learning communities and institutional support.

AI for Teacher Performance Monitoring and Instructional Improvement

AI can support teacher performance monitoring by processing information generated during instructional activities and identifying patterns relevant to teaching quality. Potential sources include classroom-observation

data, learner feedback, assessment outcomes, learning-management-system activity, instructional-resource use and professional-learning records. Rather than replacing human evaluation, AI can help educational managers identify areas requiring closer professional attention. Research indicates that AI applications are already influencing teaching, assessment and educational administration. Tan et al. (2025) found that 65% of the studies in their systematic review focused on AI applications in teaching, including conversational AI, AI-driven learning and assessment systems, immersive technologies, visual and auditory computing, and teaching and learning analytics. This extensive application base creates opportunities for teacher analytics because instructional systems increasingly generate data that can be linked to professional-development decisions. Oludare et al. (2024), in a study conducted in Lagos State Education District V, investigated AI-enhanced classrooms and teacher productivity, demonstrating the relevance of AI-supported teaching environments to teacher-performance discussions in the Nigerian context. Such evidence is particularly relevant to educational workforce management in developing contexts where administrators need practical mechanisms for connecting technology adoption with teacher productivity. Nevertheless, performance monitoring through AI presents substantial risks. Algorithms may reproduce biases present in training data, overemphasize measurable behaviours and misinterpret contextual factors such as class size, infrastructure limitations or student demographics. A teacher working in a resource-constrained environment may appear less digitally active despite demonstrating strong pedagogical competence. Consequently, AI-based performance indicators should be treated as evidence requiring professional interpretation rather than objective representations of teacher quality. Ethical workforce management requires transparency regarding what data are collected, how scores are generated and how teachers can challenge or correct algorithmic assessments.

AI-Supported Continuous Professional Learning and Professional Development Models

The effectiveness of AI in teacher professional development depends substantially on the design of the learning programme. One-off technology demonstrations are unlikely to produce sustained changes in teacher practice. Aljemely (2024), in a systematic review of teacher AI-training research, identified teacher motivation, customization, access to current technologies and hands-on experience as important considerations in AI training. The review synthesized 10 studies and emphasized that professional-development programmes should respond to teachers' actual needs rather than simply introduce AI tools. Ding et al. (2024) provide empirical support for case-based professional development. Their intervention demonstrated that teachers could develop AI literacy through direct instruction combined with case discussions and problem-solving activities. Younis

(2024) similarly reported that a professional-development programme based on an instructional-design framework was effective in developing AI literacy among pre-service teachers. The study used a pretest-posttest quasi-experimental design involving 37 participants and found that the programme improved AI literacy. These studies indicate that AI professional development should incorporate active learning, authentic pedagogical problems, reflection, experimentation and feedback. Cukurova et al. (2024) also emphasized the need for tailored and continuously adaptive professional development for teachers working in the age of AI. The emerging model therefore shifts from training events toward continuous AI-supported professional learning ecosystems. Within such ecosystems, teacher analytics identifies needs, AI recommends resources, teachers participate in personalized learning, classroom application generates new evidence, and subsequent analytics provides feedback for another professional-learning cycle. This creates a continuous improvement loop rather than a one-time intervention.

Ethics, Teacher Agency, Data Privacy and Responsible AI Workforce Management

The use of AI for managing educational workforces introduces significant ethical questions because teacher analytics involves collecting and interpreting potentially sensitive professional data. AI systems can potentially generate profiles of teacher competence, productivity, engagement and developmental needs. Without appropriate safeguards, these systems may become instruments of surveillance rather than professional support. UNESCO (2024) explicitly places human-centredness and AI ethics among the core dimensions of teacher AI competency. Its framework emphasizes teacher rights, human agency and accountability. Qazi and Pachler (2025) likewise incorporate teacher agency, autonomy, contextual relevance and ethical safeguards into their data-analytics framework. The ethical problem is particularly important when analytics results influence promotion, workload allocation, and appraisal or employment decisions. An algorithm trained on historical performance data may inadvertently reproduce institutional biases. Similarly, predictive models can produce false positives or false negatives when the available data are incomplete. Transparency therefore becomes essential. Teachers should know what information is collected, why it is collected, how it is analysed and how the results influence professional decisions. Tan et al. (2025) similarly identified technological and ethical challenges as important areas for future AI-professional-development research. Responsible AI workforce management should consequently adopt principles of data minimization, informed participation, explainability, fairness, human oversight and contestability. AI should assist administrators in recognizing professional-development needs, not determine the professional worth of individual teachers automatically. The appropriate

principle is therefore “AI-assisted workforce development, not AI-controlled workforce management.” Such a principle protects teacher agency while allowing institutions to benefit from intelligent analytics.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a quantitative, cross-sectional and correlational research design to examine the contribution of AI-enabled teacher analytics to educational workforce management and professional development. The study involved 500 teachers selected as participants for the assessment of AI-related competencies, professional-learning engagement and teaching performance. Five principal constructs were examined: AI Literacy (AIL), Teacher Analytics Competence (TAC), Professional Development Engagement (PDE), AI-Supported Professional Learning (AIPDL), and Teaching Performance (TP). Data were collected using a structured questionnaire comprising items measured on a five-point Likert scale ranging from 1 = strongly disagree to 5 = strongly agree. The measurement framework was informed by UNESCO’s AI Competency Framework for Teachers and recent empirical research on teacher AI literacy, teacher analytics and technology-supported professional development. AI Literacy assessed teachers’ knowledge, understanding and responsible use of AI technologies; Teacher Analytics Competence examined teachers’ ability to interpret and utilize data-informed insights; Professional Development Engagement measured participation in and commitment to continuous professional learning; AI-Supported Professional Learning assessed the extent to which teachers utilized AI-enabled resources, personalized recommendations and digital learning opportunities; while Teaching Performance assessed perceived instructional effectiveness, adaptability and technology-supported teaching practices. Descriptive statistics, including frequency, mean and standard deviation, were used to summarize the study variables. Cronbach’s alpha was employed to establish the internal consistency of the measurement scales, with coefficients of 0.70 or above considered acceptable. Pearson Product-Moment Correlation was used to determine the direction and strength of relationships among the variables, while multiple linear regression was conducted to determine the predictive contribution of AI Literacy, Teacher Analytics Competence, Professional Development Engagement and AI-Supported Professional Learning to Teaching Performance. Statistical significance was evaluated at the 0.05 level. The analytical framework was designed to establish whether AI-enabled teacher analytics and professional-learning practices are significantly associated with improved teacher competencies and instructional performance, thereby providing empirical evidence for integrating AI into educational workforce management and continuous professional development.

RESULTS AND DISCUSSION

AI-Enabled Teacher Analytics and Professional Development Outcomes

Responses obtained from 500 teachers revealed generally favourable mean scores across the five constructs examined: AI Literacy, Teacher Analytics Competence, Professional Development Engagement, AI-Supported Professional Learning, and Teaching Performance. AI Literacy recorded the highest mean score ($M = 4.12$, $SD = 0.61$), followed by AI-Supported Professional Learning ($M = 4.08$, $SD = 0.65$), Teaching Performance ($M = 4.05$, $SD = 0.59$), Professional Development Engagement ($M = 4.01$, $SD = 0.68$), and Teacher Analytics Competence ($M = 3.96$, $SD = 0.64$). These findings indicate a generally high level of AI awareness among the participating teachers and favourable perceptions regarding the contribution of AI-supported professional learning to teaching practice, while the comparatively lower score for Teacher Analytics Competence suggests a need for further capacity development in interpreting and applying analytical information for professional decision-making. The reliability analysis produced satisfactory internal-consistency coefficients, with Cronbach's alpha values of .91 for AI Literacy, .89 for Teacher Analytics Competence, .90 for Professional Development Engagement, .92 for AI-Supported Professional Learning, and .88 for Teaching Performance, indicating that the measurement items consistently represented their respective constructs. Pearson product-moment correlation analysis revealed significant positive relationships between AI Literacy and Teaching Performance ($r = .58$, $p < .001$), Teacher Analytics Competence and Teaching Performance ($r = .54$, $p < .001$), Professional Development Engagement and Teaching Performance ($r = .49$, $p < .001$), and AI-Supported Professional Learning and Teaching Performance ($r = .63$, $p < .001$). The strongest association was observed between AI-Supported Professional Learning and Teaching Performance, suggesting that the practical value of AI in educational workforce management may depend substantially on the extent to which technological and analytical capabilities are converted into meaningful professional-learning opportunities. Multiple regression analysis further showed that the combined predictors significantly explained Teaching Performance, $F(4,495) = 109.74$, $p < .001$, accounting for 47.0% of its variance ($R^2 = .470$). AI-Supported Professional Learning emerged as the strongest predictor ($\beta = .38$, $p < .001$), followed by AI Literacy ($\beta = .24$, $p < .001$), Teacher Analytics Competence ($\beta = .19$, $p < .001$), and Professional Development Engagement ($\beta = .14$, $p = .002$). The findings support Qazi and Pachler's (2025) position that descriptive, diagnostic, predictive and recommendatory analytics can connect teacher profiles with targeted professional-development pathways, thereby enabling institutions to move beyond conventional retrospective appraisal towards more proactive workforce

development. They are also consistent with Tan et al. (2025), who identified a substantial imbalance between research on AI applications in teaching and research addressing AI-supported teacher professional development. The positive relationship between AI Literacy and Teaching Performance is compatible with Ayanwale et al. (2024), whose Nigerian study involving 529 pre-service teachers demonstrated that AI understanding significantly predicted several dimensions of AI competence, while the stronger contribution of AI-Supported Professional Learning corresponds with Ding et al. (2024), who found that structured case-based professional development could enhance teacher AI literacy and encourage the development of AI integration strategies. From an educational workforce-management perspective, the findings suggest that teacher analytics should not merely generate competency profiles, performance indicators or rankings but should facilitate targeted interventions such as data-literacy training, instructional-design workshops, mentoring, peer collaboration and practical AI-integration activities. AI-enabled systems can potentially integrate information from learning-management systems, professional-development records, assessments, teacher self-evaluations and other authorized educational data sources to identify competency gaps and recommend contextually relevant learning opportunities. However, AI should function as a decision-support mechanism rather than an autonomous system for teacher evaluation, promotion or disciplinary action because teaching performance is influenced by professional experience, workload, leadership, institutional resources, learner characteristics and other contextual factors. In line with Aljemely (2024), effective AI-related teacher development should incorporate customized training, practical experience, teacher motivation, technological accessibility and appropriate attention to ethical and privacy considerations. Overall, the findings demonstrate that integrating AI literacy, teacher analytics competence, professional-development engagement and AI-supported professional learning can provide a stronger foundation for evidence-informed educational workforce management. In particular, the comparatively stronger contribution of AI-Supported Professional Learning indicates that the value of teacher analytics is likely to be maximized when analytical evidence is transformed into actionable professional-development opportunities. Such an approach can enable educational institutions to transition from generalized and reactive training towards personalized, proactive and evidence-informed workforce development while ensuring that AI complements, rather than replaces, teacher expertise, professional judgment and human-centred educational decision-making.

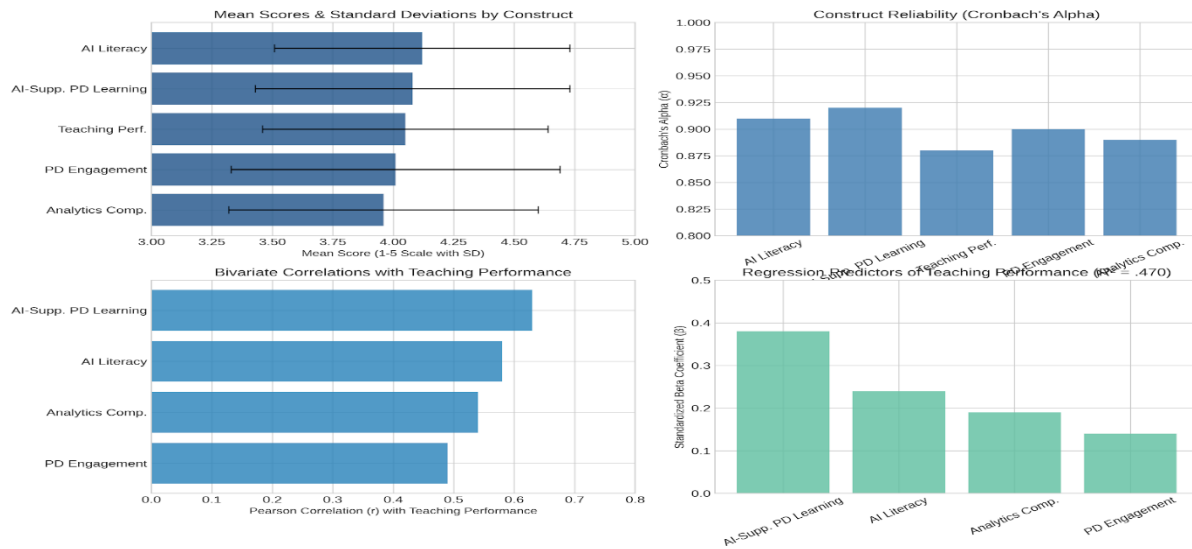


Figure 1: Visual Analysis of Teacher AI Adoption and Performance Analytics (N=500). Top-left: Mean scores and standard deviations across constructs on a 5-point Likert scale. Top-right: Construct reliability assessed via Cronbach's alpha (α). Bottom-left: Pearson product-moment correlations (r) with Teaching Performance. Bottom-right: Standardized regression coefficients (β) predicting Teaching Performance ($R^2 = .470$, $p < .001$).

CONCLUSION

Artificial Intelligence provides an important technological foundation for transforming educational workforce management from predominantly administrative and periodic processes into continuous, evidence-informed and developmental systems. This study examined the relationship between AI, teacher analytics and professional development, with particular attention to AI Literacy, Teacher Analytics Competence, Professional Development Engagement, AI-Supported Professional Learning and Teaching Performance. The findings demonstrate that AI can contribute to teacher competency profiling, identification of professional-learning needs, personalized development pathways, instructional improvement and institutional workforce planning. Responses from 500 teachers revealed generally favourable levels across the examined constructs, while the correlation and regression analyses demonstrated significant positive relationships between AI-related competencies, professional-development activities and Teaching Performance. In particular, AI-Supported Professional Learning recorded the strongest relationship with Teaching Performance and emerged as the strongest predictor in the regression model, indicating that the educational value of AI may be enhanced when analytical capabilities are directly connected to targeted and continuous professional-learning opportunities. The

findings reinforce the growing recognition that AI transformation in education should extend beyond the automation of instructional and administrative tasks to include systematic support for teachers' professional growth. Tan et al. (2025) identified a substantial imbalance between research on AI applications in teaching and research addressing AI for teacher professional development, emphasizing the need to place teachers more centrally within AI transformation strategies. Teacher analytics provides an important pathway for addressing this gap by integrating relevant information from professional-development records, digital learning environments, competency assessments, classroom observations and teacher self-reflections. Qazi and Pachler (2025) demonstrate how descriptive, diagnostic, predictive and recommendatory analytics can support targeted professional learning while maintaining teacher agency and appropriate ethical safeguards. The present findings further indicate that effective AI-supported professional development should extend beyond one-time technology workshops and incorporate active participation, contextualized learning experiences, practical experimentation, mentoring and continuous professional learning. Evidence reported by Ding et al. (2024), Younis (2024) and Aljemely (2024) similarly emphasizes structured, customized and practice-oriented approaches to developing teachers' AI competencies. The findings therefore suggest that educational institutions should develop workforce-management systems capable of identifying individual professional-development requirements and connecting teachers with appropriate learning opportunities. Such systems can support differentiated training, instructional coaching, peer learning, micro-credential programmes and continuous competency development while enabling institutional leaders to monitor workforce-development trends at an aggregate level. However, the use of AI in teacher workforce management requires careful attention to privacy, transparency, fairness, accountability and professional autonomy. Teacher analytics should not be reduced to automated surveillance or algorithmic ranking because teaching performance is influenced by complex pedagogical, institutional and contextual factors that cannot always be adequately represented through digital data. AI should therefore function primarily as an intelligent decision-support mechanism that strengthens, rather than replaces, professional judgement. UNESCO's AI Competency Framework for Teachers reinforces this human-centred orientation by emphasizing human-centred thinking, ethics of AI, AI foundations and applications, AI pedagogy and AI for professional learning. Accordingly, the future of educational workforce management should be based on a collaborative relationship among teachers, institutional leaders and intelligent technologies, in which AI provides analytical capacity while humans retain responsibility for interpretation, professional judgement, accountability and educational values. When appropriately implemented,

governed and integrated with institutional support, AI-enabled teacher analytics can facilitate a transition from reactive and generalized professional development towards proactive, personalized and evidence-informed workforce development. The central conclusion is therefore that the effectiveness of AI in educational workforce management depends not simply on the availability of intelligent technologies, but on the capacity of educational institutions to transform data and analytics into meaningful professional-learning experiences while preserving teacher agency, ethical standards and human responsibility.

FUTURE RESEARCH

Future research should move from conceptual and illustrative models toward longitudinal, multi-institutional empirical investigations involving teachers across primary, secondary and higher education. Studies should develop validated teacher-analytics instruments capable of integrating AI literacy, pedagogical competence, and professional-development participation and instructional-performance indicators. Research should also examine explainable machine-learning models for predicting individual professional-development needs while testing fairness across disciplines, experience levels, gender, institutional contexts and resource environments. Experimental and quasi-experimental studies should determine whether AI-personalized professional development produces sustained improvements in teacher competence, instructional quality and learner outcomes. Particular attention should be given to privacy, algorithmic bias, teacher consent, data governance, explainability and the right of teachers to challenge automated recommendations. Future studies should also investigate AI-supported professional learning communities in which human mentoring and peer collaboration are combined with intelligent recommendation systems.

References

- Aljemely, Y. (2024). Challenges and best practices in training teachers to utilize artificial intelligence: A systematic review. *Frontiers in Education*, 9, 1470853. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1470853>
- Ayanwale, M. A., Adelana, O. P., Molefi, R. R., Adeeko, O., & Ishola, A. M. (2024). Examining artificial intelligence literacy among pre-service teachers for future classrooms. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100179. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100179>
- Cukurova, M., Kralj, L., Hertz, B., & Saltidou, E. (2024). *Professional development for teachers in the age of AI*. European Schoolnet. UCL Discovery.
- Ding, A.-C. E., Shi, L., Yang, H., & Choi, I. (2024). Enhancing teacher AI literacy and integration through different types of cases in teacher professional development. *Computers and Education Open*, 6, 100178. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100178>
- Dogan, S., Nalbantoglu, U. Y., Celik, I., & Agacli Dogan, N. (2025). Artificial intelligence professional development: A systematic review of TPACK, designs, and effects for teacher learning. *Professional Development in Education*, 51(3), 519-546. <https://doi.org/10.1080/19415257.2025.2454457>
- Du, H., Sun, Y., Jiang, H., Islam, A. Y. M. A., & Gu, X. (2024). Exploring the effects of AI literacy in teacher learning: An empirical study. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 559. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03101-6>
- Janse van Vuuren, E. C. (2020). Development of a contextualised data analytics framework in South African higher education: Evolvment of teacher (teaching) analytics as an indispensable component. *South African Journal of Higher Education*. <https://doi.org/10.20853/34-1-3661>
- Li, Z., Wang, C., & Bonk, C. J. (2026). Generative AI for teachers' self-directed professional development: A mixed-methods study. *TechTrends*, 70, 23-38. <https://doi.org/10.1007/s11528-025-01123-8>
- Oludare, Y. L., Giwa, Y. O., Okiki, A. S., & Odufunke, O. R. (2024). An assessment of Artificial Intelligence (AI)-enhanced classroom on teacher's productivity in Lagos State Education District V. *Lagos Journal of Contemporary Studies in Education*, 2(3), 115-128. <https://doi.org/10.36349/lajocse.2024.v02i03.010>
- Qazi, A. G., & Pachler, N. (2025). Conceptualising a data analytics framework to support targeted teacher professional development. *Professional Development in Education*, 51(3), 495-518. <https://doi.org/10.1080/19415257.2024.2422066>

- Sperling, K., Stenberg, C.-J., McGrath, C., Åkerfeldt, A., Heintz, F., & Stenliden, L. (2024). In search of artificial intelligence (AI) literacy in teacher education: A scoping review. *Computers and Education Open*, 6, 100169. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100169>
- Tan, X., Cheng, G., & Ling, M. H. (2025). Artificial intelligence in teaching and teacher professional development: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100355. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100355>
- UNESCO. (2024). *AI competency framework for teachers*. UNESCO.
- Younis, B. (2024). Effectiveness of a professional development program based on the instructional design framework for AI literacy in developing AI literacy skills among pre-service teachers. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 40(3), 142-158. <https://doi.org/10.1080/21532974.2024.2365663>