ACARİS ULUSLARARASI KONGRELER

19–20 EYLÜL 2026

Uluslararası katılımı güçlendirmek amacıyla, kabul edilen bildirilerin en fazla %45'i Türkiye'den, en az %55'i yurt dışından olacaktır.

I. ACARİS ULUSLARARASI

PATARA

Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi

Patara: Tarihin ve Geleceğin Buluşma Noktası

KONGRE KİTABI

Sosyal Bilimler, Fen ve Mühendislik, Sağlık Bilimleri, Spor Bilimleri, Güzel Sanatlar, Eğitim, Hukuk ve İlahiyat alanlarında yürütülen özgün araştırmaların bir araya geldiği; Likya Birliği'nin başkentlerinden, dünyanın bilinen en eski deniz fenerine ve sütunlu antik cadde ile plajına ev sahipliği yapan Patara'nın tarihi mirasında buluşan, farklı disiplinlerden akademisyen, araştırmacı ve genç bilim insanlarını bir araya getiren uluslararası bir bilim platformu.

Patara Zafer Takı (Modestus Kapısı)

Antik Liman, sütunlu su kıyısı

ACARİS
ULUSLARARASI KONGRELER

www.acariskongreleri.com
Kongre programı ve bildiri gönderimi için

Fotoğraflar: T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı — Kültür Portalı

1. ACARIS INTERNATIONAL PATARA SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
19-20 September, 2026
ANTALYA/TÜRKİYE

CONGRESS BOOK

EDITOR
Assoc. Prof. Dr. Mahmut ÇAMLICA

ISBN: '978-625-8531-66-4'

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://bilselkongreleri.com/

25.09.2026

by BILSEL PUBLISHING

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

1. ACARIS INTERNATIONAL PATARA SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

DATE and PLACE

19-20 September, 2026

ANTALYA/TÜRKİYE

ORGANIZATION

BILGISELI International Scientific

Research Strategy Development

Congress and Org.Hizm.Tic.Ltd.Şti

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman of the Organizing Committee

Assoc. Prof. Dr. Mahmut ÇAMLICA

Bolu Abant İzzet Baysal University, Türkiye

University Academician Representative

Prof. Dr. Mehmet BAYIRLI

Balıkesir University Türkiye

PARTICIPANTS COUNTRY

Türkiye, Azərbaycan, Romania,

Nigeria, Albania, Indonesia, Pakistan, Australia

CONGRESS ORGANIZING COMMITTEE MEMBERS

Prof. Dr. Zuhal ALIM
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Neriman ARAL
Ankara Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Mustafa ÖZ
Aksaray Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Ayşe Nur SIR DÜNDAR
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Nurhayat ATASOY
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Mohammed Waheeb
Hashemite University, Jordan
Prof. Dr Valentina Marinescu
University of Bucharest, Romania
Prof. Dr. Abdelkarim Boua
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco
Prof. Dr. Nana Jincharadze
Euripean University, Georgia
Prof. Dr. Khiari Reguia
Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA) Omar El, Algeria
Doç. Dr. Erdem Ayyıldız
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Gülay KARAHAN
Çankırı Karatekin Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Songul MOLLAOĞLU
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Bekir DERİNÖZ
Balıkesir Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Mehmet Veysi BABAYİĞİT
Batman Üniversitesi, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Valbona Habili Sauku
Tirana University, Albanıa
Assoc. Prof. Dr. Məmmədova Könül Ələddin qızı
ADPU-Azerbaijan
Assoc. Prof. Dr. Nesrine El Houari
University of Tlemce Algeria
Assoc. Prof. Dr. Rozina Khattak
Shaheed Benazir Bhutto Women University, Pakistan
Assoc. Prof. Dr. Aliaksandr Susha
Belarusian State University, Belarus
Dr. Öğr. Üyesi Başak Tuna
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye
Dr. Elif AKYİĞİT ALBAYRAK
Bitlis Eren Üniversitesi, Türkiye
Dr. Mehmet Selim BOR
Hakkari Üniversitesi, Türkiye
Dr. Fatıma Aydın
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Göktuğ GÜL
Gazi Üniversitesi, Türkiye
Dr. Ananda Majumdar
Brander Garden After School Parents Association,Canada
Dr Muhammad Faisal
Ministry of State and Frontier Region (SAFRON), Pakistan
Dr hc Vicente Pironti
Open Unıversıty Humanıza, Brazil
Dr. Gopalakrishnan Chinnasamy
Jain Deemed to-be University, India
Dr. Vaishali Krishna
Jawaharlal Nehru University,India
Lec. Diaconu Luminitsa,
The Academy of Economic Studies of Moldova
Lec. Ezekıel Pıus NYATIRIMOH,
Federal Unıversıty Wukarı, Nıgerıa

SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr. Nurhayat Atasoy

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Asım ÇOBAN

Amasya Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Ali Rıza DİNÇER

Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Özgür ALPARSLAN

Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Mustafa ÖZ

Aksaray Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Kıvanç KAMBUROĞLU

Ankara Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Fatih Mehmet KANDEMİR

Aksaray Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Hendri Hermawan-Adınugraha

UIN K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Indonesia

Prof. Dr. Ivan Pavlovic

Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia

Prof. Dr. Iheanyı Omezuruıke Okonko

Unıversıty Of Port Harcourt, Nıgerıa

Prof. Dr. Elman Guliyev

Azerbaycan Devlet Pedogoji Üniversitesi, Azerbaijan

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. Valbon Ademi

University of Tetovo, North Macedonia

Prof. Dr. Mezıanı Brahim

Djilali Bounaama University of Khemis Miliana, Algeria

Doç. Dr. Ozan Hikmet Arıcan

Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Bahar ÇİFTÇİ

Atatürk Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Gülümser DURHAN

Muş Alparslan Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Mehmet UYSAL

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Özge TEMİZ

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Ömer KASIM

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Hilal Uysal

Bartın Üniversitesi, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Valbona Habili Sauku

Tirana University, Albanıa

Assoc. Prof. Dr. Məmmədova Könül Ələddin qızı

ADPU-Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Nesrine El Houari

University of Tlemce Algeria

Assoc. Prof. Dr. Rozina Khattak

Shaheed Benazir Bhutto Women University, Pakistan

Assoc. Prof. Dr. Aliaksandr Susha

Belarusian State University, Belarus

Assoc. Prof. Dr. Irina-Teodora Manolescu

Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania

Assoc. Prof. Dr. Abdullayeva Gultekin

Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ganaoui Maroua

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

Dr. Oğuzhan UZUN

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye

Dr. Sevda DEMİRÖZ YILDIRIM

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye

Dr. Ümit Ünsal KAYA

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Türkiye

Dr. Sertan AYTAÇ

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye

Dr. Ali KAYA

Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

Dr. Selman ÇELİK

Yeditepe Üniversitesi, Türkiye

Dr. Mustafa ÜSTÜNDAĞ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

Dr. Mirela Kapo

New york tirana University, Albania

Dr. Zarifa NAZIRLI

Baku State University, Azerbaijan

Dr.Silva Ibrahimi

University of Tirana,Boston USA

Dr. Solomon Uchechukwu Eze

Nnamdi Azikiwe University, Nigeria

Dr. Mirjeta Cenaj

Sports University of Tirana, Albania

Dr. Mirjeta Cenaj

Sports University of Tirana, Albania

Dr. Mohammed BENTAHAR

Tahar Moulay University, Algeria

1. ACARIS INTERNATIONAL PATARA SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

19-20 September,2026
ANTALYA/TÜRKİYE

CONGRESS PROGRAM

Join Zoom Meeting ID: 853 4589 8489

Passcode: 680109

Join Zoom Meeting
https://us06web.zoom.us/j/85345898489?pwd=CIP4nNk7Vg5nHXZO727fub0eqzqbuu.1

PARTICIPATING COUNTRIES

Türkiye, Azərbaycan, Romania,
Nigeria, Albania, Indonesia, Pakistan, Australia,

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

IMPORTANT

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

TECHNICAL INFORMATION

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

ÖNEMLİ

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

TEKNİK BİLGİLER

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

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

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00		
HEAD OF SESSION: *Prof. Dr. Servet TEKİN*		
SESSION-1 HALL-1		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
Prof. Dr. Şükrü Hakan ATALGIN, *Prof. Dr. Zekeriya ÖZÜDOĞRU*	*Balıkesir Üniversitesi, Türkiye*	*TAVŞAN (ORYCTOLAGUS CUNİCULUS) MAXİLLA KEMİĞİNİN MORFOLOJİK KARAKTERİZASYONU: FENESTRASYONLARIN ANATOMİK ANALİZİ*
Prof. Dr. Şükrü Hakan ATALGIN	*Balıkesir Üniversitesi, Türkiye*	*ATLARDA KUYRUK OMURLARININ (VERTEBRAE CAUDALE) ANATOMİK ÖZELLİKLERİ VE KLİNİK ÖNEMİ*
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DENK *Doç. Dr. Esra KAYA* *Zir Müh. Ömür ARDUÇ*	*Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Türkiye* *Tokat İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Türkiye*	*TÜRKİYE KÜÇÜKBAŞ HAYVANCILIĞINDA KARAYAKA KOYUNUNUN ÖZELLİKLERİ VE BÜTÜNCÜL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ*
Mehmet Emin AYMELEK *Prof. Dr. Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL*	*Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Türkiye*	*SOĞAN KABUĞUNDAKİ CEVHER; KUERSETİN VE EKSTRAKSİYONU*
Şükrü Nedim BEYOĞLU *Prof. Dr. Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL*	*Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Türkiye*	*YEŞİL SENTEZLE ÜRETİLEN ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN KURAKLIK STRESİ ALTINDAKİ BUĞDAYDA FOTOSENTETİK PİGMENTLER VE PROTEİN ÜZERİNE ETKİLERİ*
Dr. Öğr. Üyesi Göksu ŞİRİN	*Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye*	*ANADOLU KESTANESİ VE ADİ CEVİZ AHŞABININ GEOMETRİYE BAĞLI BASINÇ DAYANIMI: DENEYSEL BULGULAR VE NÜMERİK YORUMLAMA*
Prof. Dr. Servet TEKİN	*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye*	*FARKLI TUZLULUK DÜZEYLERİNDEKİ SULAMA SULARININ BUĞDAY YETİŞTİRİLEN TOPRAKLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE PROFİL BOYUNCA TUZ DAĞILIMINA ETKİSİ*
Prof. Dr. Servet TEKİN	*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye*	*PLASTİK SERA KOŞULLARINDA ÇİZGİ KAYNAKLI YAĞMURLAMA SİSTEMİ ALTINDA BUĞDAYIN DEĞİŞEN SULAMA SUYU MİKTARI VE TUZLULUK KOŞULLARINA YAPRAK SU POTANSİYELİ YANITI*

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00		
HEAD OF SESSION: *Prof. Dr., Fatih Mehmet KANDEMİR*		
SESSION-1 HALL-2		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
Dr. Öğr. Üyesi Caner FURAN Prof. Dr., Fatih Mehmet KANDEMİR	*Aksaray Üniversitesi, Türkiye*	*DENTİN BİYOKİMYASI*
Prof. Dr., Fatih Mehmet KANDEMİR Dr. Özge KANDEMİR	*Aksaray Üniversitesi, Türkiye*	*DENEYSEL OLUŞTURULAN SİKLOFOSFAMİD KAYNAKLI KALP HASARINDA KULLANILAN BAZI BİTKİSEL ANTİOKSİDANLAR*
Dr. Öğr. Üyesi, Agit ŞİMŞEK	*İnönü Üniversitesi, Türkiye*	*DİKKAT EKSİKLİĞİ VE HİPERAKTİVİTE BOZUKLUĞU TANILI ÇOCUKLARDA KONUŞMA SESİ BOZUKLUKLARININ İNCELENMESİ*
Prof. Dr. Fatma BAŞAR	*Kutahya Health Sciences University, Kutahya, Türkiye*	*ZERO WASTE FROM PREGNANCY TO BIRTH: A NEW APPROACH FOR SUSTAINABLE MATERNAL AND INFANT HEALTH*
Prof. Dr. Fatma BAŞAR	*Kutahya Health Sciences University, Kutahya, Türkiye*	*AIR POLLUTION DURING PREGNANCY AND MATERNAL-FETAL HEALTH: AN ASSESSMENT FROM THE PERSPECTIVE OF CLIMATE CHANGE*

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00		
HEAD OF SESSION: *Prof. Dr. Elman Guliyev*		
SESSION-1 HALL-3		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
Doçent Doktor, Aygun AHMADOVA	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*AZƏRBAYCAN UŞAQ ƏDƏBİYYATINDA BƏDİİ TƏRCÜMƏ ƏDƏBİYYATININ YARANMASI DÖVRÜ XIX ƏSR*
Aynur Zahir qızı Bədəlova	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*Gİ DE MOPASSAN YARADICILIĞI FRANSIZ ƏDƏBİYYATI KONTEKSTİNDƏ*
Dr. Öğr. Türkan HÜSEYNOVA	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*ARİSTOFANES'İN 'BULUTLAR' KOMEDİSİNDE SOFİZM, AİLEVİ YOZLAŞMA VE TİYATRO TEKNİĞİ*
Könül Məmmədova	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*ŞAGİRDLƏRDƏ MÜSTƏQİL DÜŞÜNCƏNİN İNKİŞAF ETDİRİLMƏSİ ONLARIN ŞƏXSİYYƏT KİMİ FORMALAŞMASININ ƏSAS AMİLİ KİMİ*
İradə Məmmədova	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*BİOLOGİYA DƏRSLƏRİNDƏ TƏDQİQAT SUALLARININ QURULMASI BACARIĞININ İNKİŞAFI*
Azerbaijan-Baku, Gunel Shefiyeva	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*FUNDAMENTALS OF PRONUNCIATION*
Prof. Dr. Elman Guliyev	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*DÖVLƏTMƏMMƏD AZADİNİN MÜHİTİ VƏ HƏYATI* *THE ENVIRONMENT AND LIFE OF THE STATE AZADI*

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00		
HEAD OF SESSION: *Prof. Dr. Ahmet APAYDIN*		
SESSION-1 HALL-4		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
Doç. Dr. Ferit YAKAR1	*Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye*	*TRAFİK KAZALARINDA YOL VE ÇEVRE UNSURLARININ BİRLİKTE GÖRÜLME ÖRÜNTÜLERİ: SİVAS İL MERKEZİ ÖRNEĞİ*
İnş. Müh. Vesile Dilşad ARSLAN *Dr. Öğr. Üyesi Kaan YÜNKÜL* *Doç. Dr. Ferit YAKAR*	*Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye*	*ATIK TRAVERTEN TOZU İLE STABİLİZE EDİLEN YOL TABAN ZEMİNLERİN DAYANIM PERFORMANSININ İNCELENMESİ*
Dr. Öğretim Üyesi, Fethullah USLU	*Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Türkiye*	*ÇEŞİTLİ SINIR KOŞULLARI ALTINDA KİRİŞLERİN DOĞAL TİTREŞİM ANALİZİ*
Ahmet APAYDIN	*Giresun Üniversitesi, Türkiye*	*ANKARA İÇMESUYU SİSTEMİNDE KIZILIRMAK VE GEREDE SUYUNUN ÖNEMİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME*
Şafak KANDEMİR *Ahmet APAYDIN*	*Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Bartın, Türkiye* *Giresun Üniversitesi, Türkiye*	*TARİHSEL KAYITLARA GÖRE DOĞU KARADENİZ HAVZASI'NDAKİ AKARSU TAŞKINLARININ YERLEŞİM TİPLERİYLE İLİŞKİSİ*

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00		
HEAD OF SESSION: *Prof. Dr., Cengiz YÜCEDAĞ*		
SESSION-1 HALL-5		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
Doçent Doktor, Gökhan DUMAN	*İzmir Demokrasi Üniversitesi, Türkiye*	*İNSANİ GÜVENLİK BAĞLAMINDA GIDA GÜVENLİĞİ: KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME ARACI OLARAK GIDA BANKACILIĞI UYGULAMALARI*
Doç. Dr. Nermin BAHŞİ	*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye*	*TÜRKİYE'DE TARIMSAL NÜFUSUN YAŞLANMASI, İŞGÜCÜ KITLIĞI VE MEKANİZASYON: GIDA GÜVENLİĞİ ÜZERİNE BİR DERLEME ÇALIŞMASI*
Mehmet KAŞTANOĞLU *Doç. Dr. Nermin BAHŞİ*	*Bağımsız Araştırmacı.* *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye*	*TARIMSAL DESTEKLEMELERDEN YARARLANMA, YETERLİLİK ALGISI VE ÜRETİM KARARLARINA ETKİSİ: KAYSERİ İLİ ÖRNEĞİ*
Dr. Öğretim Üyesi, Serdar DEMİRCİ	**Çankırı Karatekin Üniversitesi, *Türkiye***	**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAYNAKLI RİSKLERDE SİGORTA KORUMASININ KAPSAMI VE SINIRLARI**
Yüksek Lisans Öğrencisi, Neslişah ÖZDOĞAN *Prof. Dr., Cengiz YÜCEDAĞ*	*Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye*	*BURDUR KENT MERKEZİNDE YAYA DAVRANIŞINI ETKİLEYEN PEYZAJ ÖGELERİNİN KULLANICI ALGILARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ*
Prof. Dr., Cengiz YÜCEDAĞ	*Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye*	*KENTSEL AÇIK-YEŞİL ALANLARIN İNSAN REFAHI ÜZERİNDEKİ ÇOK BOYUTLU ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ*

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00		
HEAD OF SESSION: *Prof. Dr. Əbülfəz Tahir ƏZİMLİ*		
SESSION-1 HALL-6		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
Dr. Öğr. Üyesi Erdal MERİÇ	*Ordu Üniversitesi, Türkiye*	*MANTAR YÖNETİM TARZINA İLİŞKİN ÖĞRETMEN ALGILARININ İNCELENMESİ*
Tarana AKBARİ	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*OKUL ÇAĞI ÇOCUKLARINDA MİKROBESİN (VİTAMİN VE MİNERAL) DENGESİNİN İMMÜNO-AKTİF STABİLİZASYON VE BİLİŞSEL PERFORMANSA FİZYOLOJİK ETKİLERİ İLE HİJYENİK İLKELERİ*
Tarana AKBARİ	*Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Azerbaycan*	*OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA DOĞA İLE TANIŞTIRMANIN ÖRGÜTLENME BİÇİMLERİ VE ULUSLARARASI İYİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ*
Dr. Öğr. Üyesi, Döndü ÇAVDAR	*Selçuk Üniversitesi, Türkiye*	*MİLLÎ MÜCADELE'DE KADINA ÇAĞRI: MEMLEKET GAZETESİNDEKİ BİR MEKTUP İLE MEFKÛRE KARTLARI'NIN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ*
Doç, Dr. Özgür İLDEŞ	*Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Türkiye*	*ÜTOPYAYI KURAN KADININ ÖZGÜRLÜĞÜ: HALİDE EDİB'İN YENİ TURAN'INDA FEMİNİST İMKÂNLAR VE SINIRLAR*
Lecturer, PhD, Irina-Ana DROBOT	*Technical University of Civil Engineering Bucharest, Romania*	*AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT IKEBANA BY ALVIN B. CRUZ*
Prof. Dr. Əbülfəz Tahir ƏZİMLİ	*Naxçıvan Dövlət Universiteti, Bütöv Azerbaycan*	*İTKİN DÜŞƏN GERÇƏKLİYİN ƏHVALI, YAXUD MİFOLOJİ DÜŞÜNCƏDƏ GÖBƏKLİTƏPƏNİN SÜMER-ƏCDAD VARİSLİYİ*
Prof. Dr. Əbülfəz Tahir ƏZİMLİ	*Naxçıvan Dövlət Universiteti, Bütöv Azerbaycan*	*TƏSƏVVÜFÜN MERİDİAN ÜFÜQLƏRİ: ŞEYX ÜBRAHİM GÜLŞƏNİ BƏRDƏİ DİVANINDA İLAHİ EŞQ MƏRTƏBƏLƏRİ*

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00		
HEAD OF SESSION: *Prof. Dr. Süreyya KARSU*		
SESSION-1 HALL-7		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
Doç. Dr., Samet ÇELEBİ Doç. Dr., Ömer CİHAN Doç. Dr., Üsame DEMİR Emrah ARDA	*Sakarya University of Applied Sciences, Türkiye Bilecik Seyh Edebali University, Türkiye*	*%1 N-BÜTANOL–DİZEL YAKIT KARIŞIMINA PPM DÜZEYİNDE HİDROJEN PEROKSİT İLAVESİNİN MOTOR GÜRÜLTÜSÜ VE TİTREŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ*
Dr., Sümeyra YAMÇIÇIER Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER Prof. Dr., Cihan KÜRKÇÜ	*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye*	*K 2 BH 7 BİLEŞİĞİNİN YAPISAL, ELEKTRONİK, MEKANİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İLK İLKELER YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ*
Dr., Sümeyra YAMÇIÇIER Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER Prof. Dr., Cihan KÜRKÇÜ	*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye*	*LİVH 5 BİLEŞİĞİNİN YAPISAL, MEKANİK VE TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İLK İLKELER YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ*
Prof. Dr. Süreyya KARSU	*Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye*	*SİHİR OLMAYAN TEKNOLOJİ: YAPAY ZEKÂ*
Salih ÖZDEMİR Prof. Dr. Süreyya KARSU	*Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye*	*PROGRAMATİK AÇIK HAVA REKLAMLARI GELİŞİMİ: ÖRNEK UYGULAMALAR*

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:30-12:00		
HEAD OF SESSION: *Prof. Dr. Habil. Laura DİACONU (MAXİM)*		
SESSION-2 HALL-8		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
PhD Petronela Daniela FERARU	*National College Iași and 'Ion Neculce' High School, Târgu Frumos, Romania.*	*BETWEEN TWO WORLDS AND MULTIPLE SCREENS: RELIGION, FAMILY, AND CULTURAL TRANSMISSION IN THE DIASPORA*
PhD Petronela Daniela FERARU	*National College Iași and 'Ion Neculce' High School, Târgu Frumos, Romania.*	*LIVING HERITAGE IN THE AGE OF PLATFORMS: DIGITAL TOURISM, LOCAL MEMORY, AND THE COMMODIFICATION OF CULTURAL IDENTITY*
Moses Adeolu AGOI, Yewande Adeyosola ODUNAYO, Rasheed Olatunde AJETUNMOBI, Hendri Hermawan ADINUGRAHA	*Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.*	*ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR FINANCIAL MARKET INTELLIGENCE: PREDICTIVE MODELLING AND BEHAVIOURAL FORECASTING IN EMERGING ECONOMIES*
Moses Adeolu AGOI, Akinyemi Edward AIYEGBUSI, Olayemi Grace ABIMBOLA, Rasheed Olatunde AJETUNMOBI	*Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.*	*BEYOND GENERATIVE AI: RETHINKING HUMAN INTELLIGENCE, AGENCY, IDENTITY, AND SOCIETY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE*
Gresi Cani	*Independent Researcher, Accounting and Finance, Albania,*	*BANKİNG RİSK AND ITS MANAGEMENT BY COMMERCİAL BANKS İN ALBANİA*
Lailatul FADHILAH	*K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*THE ROLE OF ISLAMİC ECONOMİC PRİNCİPLE İN DEVELOPİNG ETHİCAL BUSİNESS PRACTİCES*
Pristi FEBIANA	*K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*THE ROLE OF FİNANCİAL LİTERACY İN IMPROVİNG SAVİNG BEHAVİOR AMONG UNİVERSİTY STUDENTS*
Nayya Sekti SYAHPUTRI	*K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	**THE ROLE OF DİGİTAL BANKİNG İN IMPROVİNG CUSTOMER SERVİCE AND FİNANCİAL INCLUSİON**
Nabila Al MAGHFIROH	*K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN FOSTERİNG THE GROWTH OF MİCRO, SMALL, AND MEDİUM ENTERPRİSES*
Prof. Dr. Habil. Laura DİACONU (MAXİM) *Prof. Dr. Habil. Mihai-Bogdan PETRİŞOR*	*"Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Iasi, Romania*	*GROWTH–INFLATİON–UNEMPLOYMENT TRİLEMMA: EVİDENCE FROM A NONLİNEAR PANEL FRAMEWORK*

19.09.2026 TÜRKİYE Local Time: 10:30-12:00		
HEAD OF SESSION: *Dr. Alan Reed LIBERT*		
SESSION-2 HALL-9		
AUTHORS	**AFFILIATION**	**TOPIC TITLE**
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan*	*ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF ECOLOGICAL REFUGES FOR THE CONSERVATION OF RARE AND THREATENED SPECIES*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan*	*THE IMPACT OF ECOLOGICAL REFUGIA ON SPECIES DIVERSITY AND POPULATION STRUCTURE IN LAKE ECOSYSTEMS*
Muhammad Anas Khan, Prof. Dr. Saad Ullah Khan, Prof. Dr. Noor Muhammad, Fardous	*Kohat University of Science and Technology (KUST), Kohat, Pakistan*	*HOMOZYGOSITY MAPPING OF A CONSANGUINEOUS FAMILY WITH INHERITED DWARFISM FROM DISTRICT KOHAT*
Dr. Alan Reed LIBERT	*University of Newcastle, Callaghan, Australia*	*VIEWS ON THE ARTIFICIAL AUXILIARY LANGUAGE ANGLO-FRANCA*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan*	*THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION REGIMES ON ECOSYSTEM PRODUCTIVITY AND FUNCTIONING*
PhD Balakhanova Gumru Vasif	*Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan*	*DIVERSITY AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MICROMYCETES IN THE RHIZOSPHERE SOILS OF URBAN GREEN SPACES*
Sekar Astri SEPTIYANI	*K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*DİGİTAL ISLAMİC BANKİNG AND FİNANCİAL IMCLUSİON İN THE DİGİTAL ERA*
Fanni NURBAITI	*K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*THE ROLE OF ISLAMİC FİNANCİAL LİTERACY İN SHAPİNG FİNANCİAL BEHAVİOR*
Aishatu Muhammad, Maryam Haruna Khalifa and Aisha Yusuf bunkure	*Sa'adatu Rimi College of education, Nigeria*	*DEFECT-ENGİNEERED INORGANİC SEMİCONDUCTOR HETEROSTRUCTURES FOR COUPLED PHOTOCATALYTİC–ENVİRONMENTAL REMEDİATİON PROCESSES: MECHANİSTİC INSİGHTS, INTERFACİAL CHARGE REGULATİON AND FUTURE PERSPECTİVES*

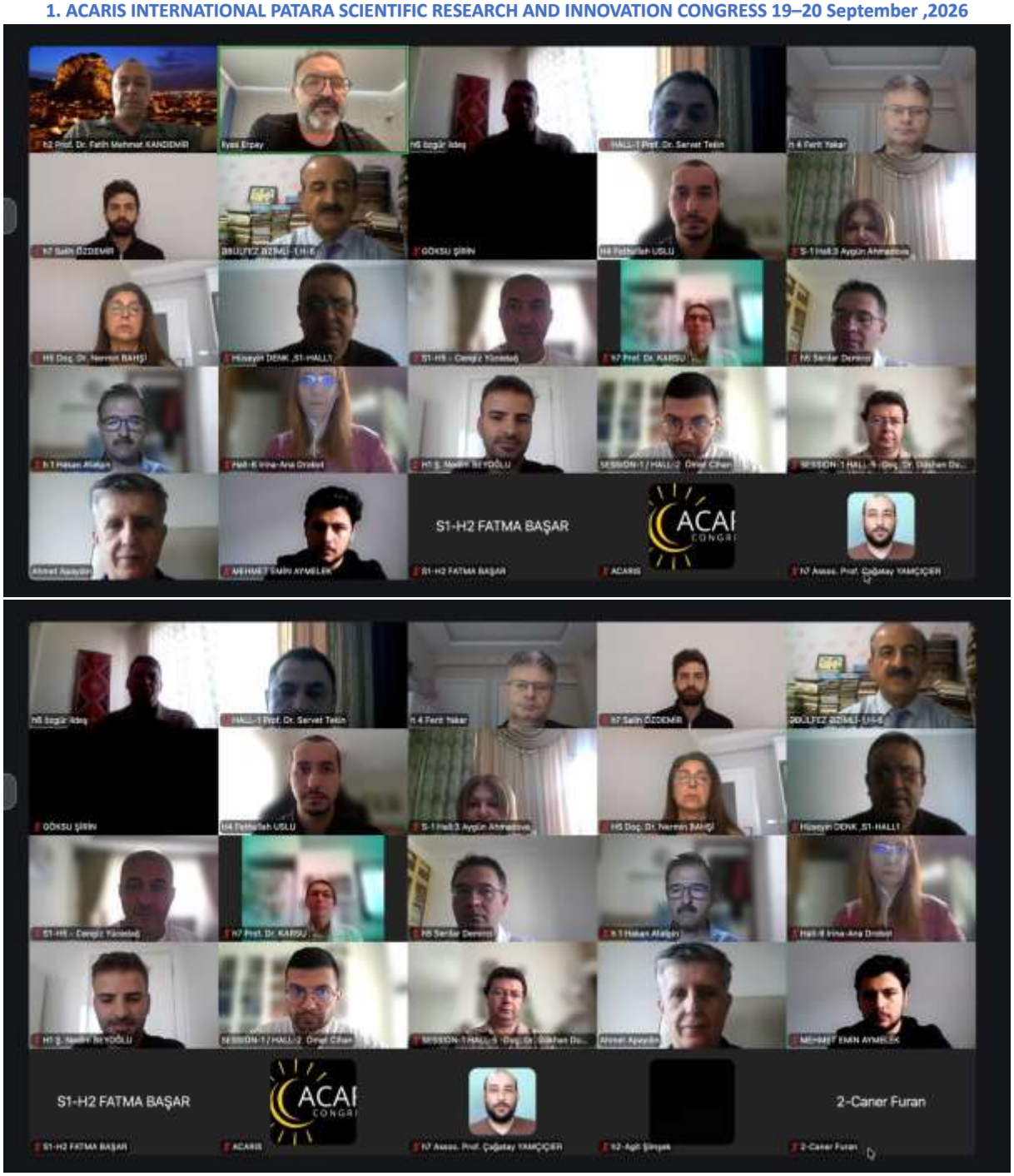
19.09.2026
TÜRKİYE Local Time: 10:30-12:00

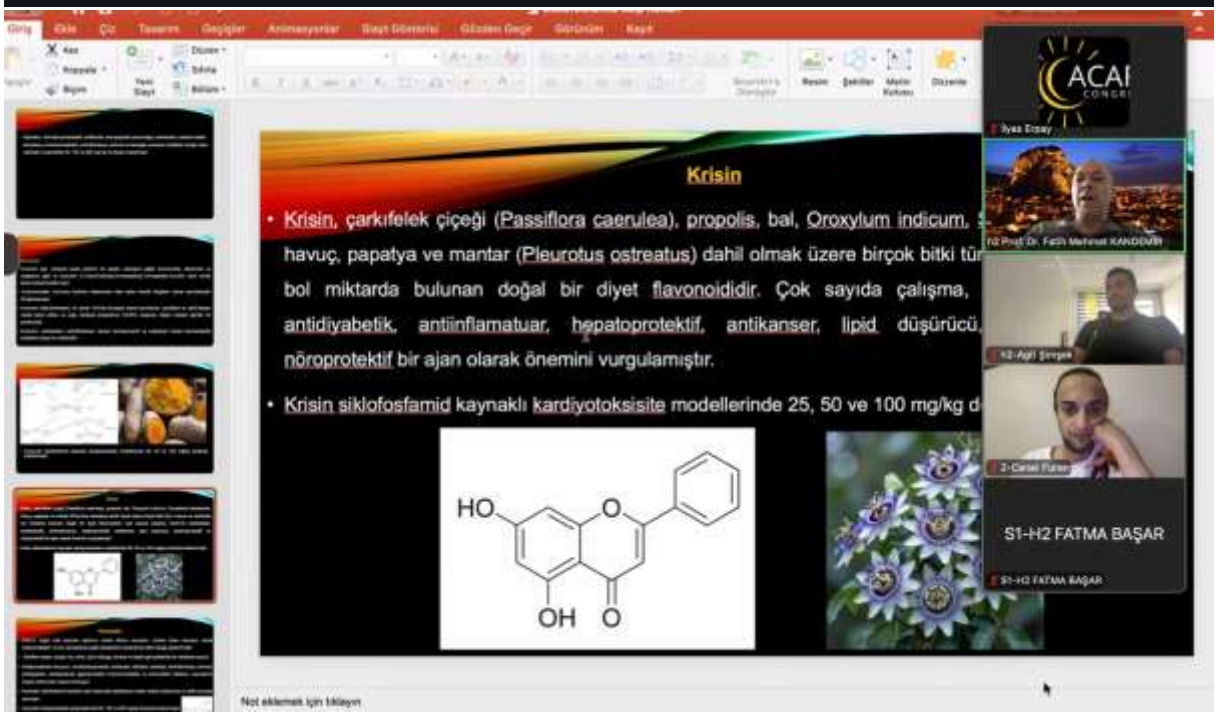
HEAD OF SESSION: *PhD, Salisu Ameh*

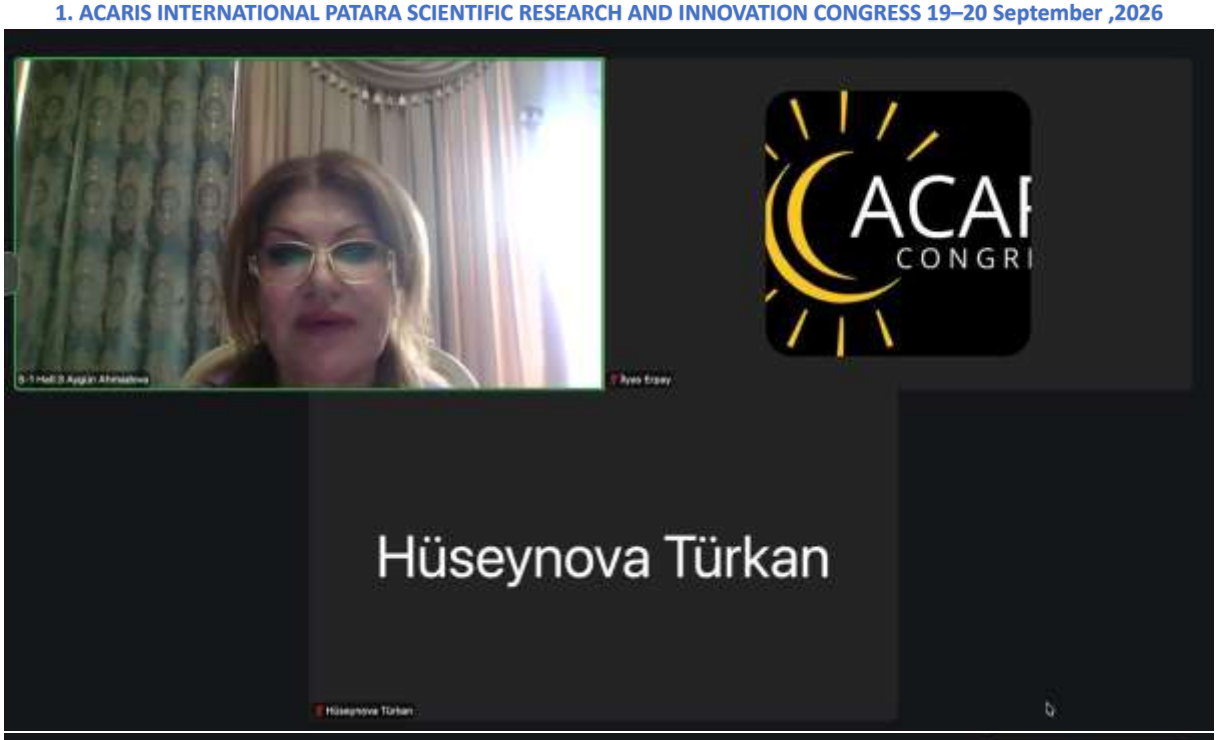
SESSION 2 HALL-10

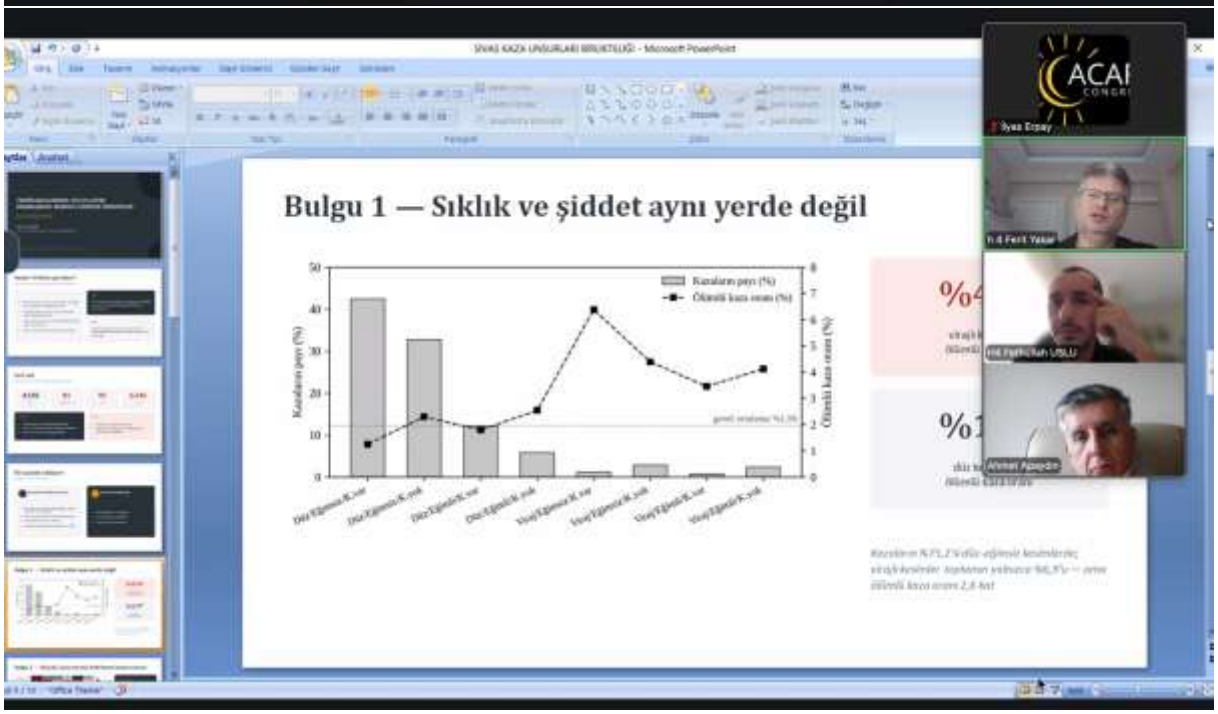
AUTHORS	AFFILIATION	TOPIC TITLE
Eva KHAERIYAH, Kamilah FIDINI, Fina HIMATUL KHUSNA, Novi MARISKA, Hernawati	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*FOSTERİNG THE CREATİVE ECONOMY İN PEMALANG REGENCY THROUGH MSMES, INNOVATİON, AND THE UTİLİZATİON OF LOCAL POTENTİAL*
Zelda Fadhila ZANETA	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN PROMOTİNG FİNANCİAL INCLUSİON*
Vina Hidayatul HUSNA	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*DİGİTALİZATİON OF ISLAMİC BANKİNG AND EASİER ACCESS TO FİNANCİAL SERVİCES*
Stefani Novitasari	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*ISLAMIC BANKING: PRINCIPLES AND ITS ROLE IN THE ISLAMIC FINANCIAL SYSTEM*
Tabasum lil FAROH	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*ISLAMİC BANKİNG: CONCEPTS, PRİNCİPLES, AND PRACTİCES*
Naylla ZULFA	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN IMPROVİNG THE COMMUNİTY'S ECONOMY*
SITI NAYLA BILQIS	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*THE DEVELOPMENT OF ISLAMİC BANKİNG İN INDONESİA İN THE DİGİTAL ERA*
Finalia Mei MILADIA	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*ANALİSİS PERBANDİNGAN KİNERJA KEUANGAN BANK UMUM SYARİAH DAN BANK KONVENSİONAL Dİ INDONESİA MENGGUNAKAN METODE RGEC*
UVI LATIFA	*Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Central Java, Indonesia*	*Interpreting Qur'anic Legal Rulings and Developing Halal Economic Ethics: A Study of Qur'anic Values in the Kali Paingan KHAS Zone*
Amodu, Salisu Ameh PhD, Daniel Ajuma Ann	*Prince Abubakar Audu University, Anyigba, Kogi State, Nigeria*	*AFRICAN ONTOLOGY OF PERSONHOOD*

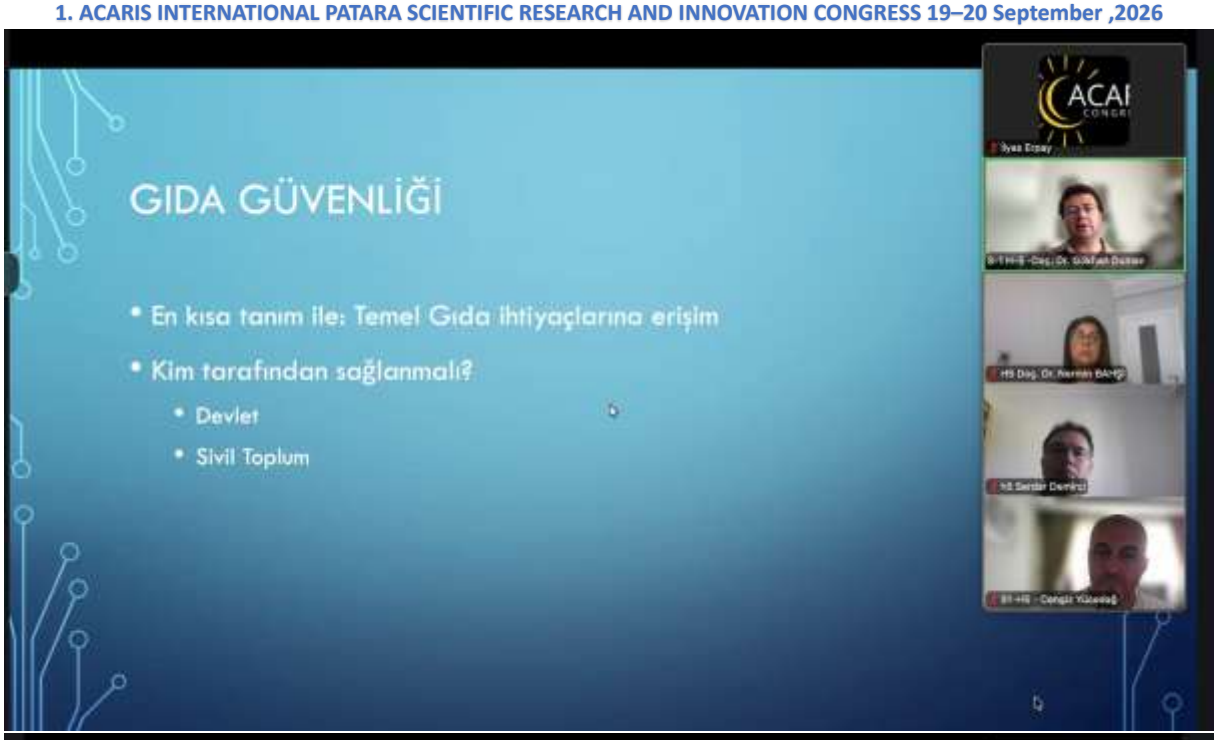
1. ACARIS INTERNATIONAL PATARA SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 19–20 September ,2026




Krisin
• Krisin, çarkıfelek çiçeği (Passiflora caerulea), propolis, bal, Oroxylum indicum,
havuç, papatya ve mantar (Pleurotus ostreatus) dahil olmak üzere birçok bitki tü
bol miktarda bulunan doğal bir diyet flavonoididir. Çok sayıda çalışma,
antidiyabetik, antiinflamatuar, hepatoprotektif, antikanser, lipid düşürücü,
nöroprotektif bir ajan olarak önemini vurgulamıştır.
• Krisin siklofosfamid kaynaklı kardiyotoksisite modellerinde 25, 50 ve 100 mg/kg d
HO
O
OH
O
S1-H2 FATMA BAŞAR
Not eklemek için tıklayın


Hüseynova Türkan

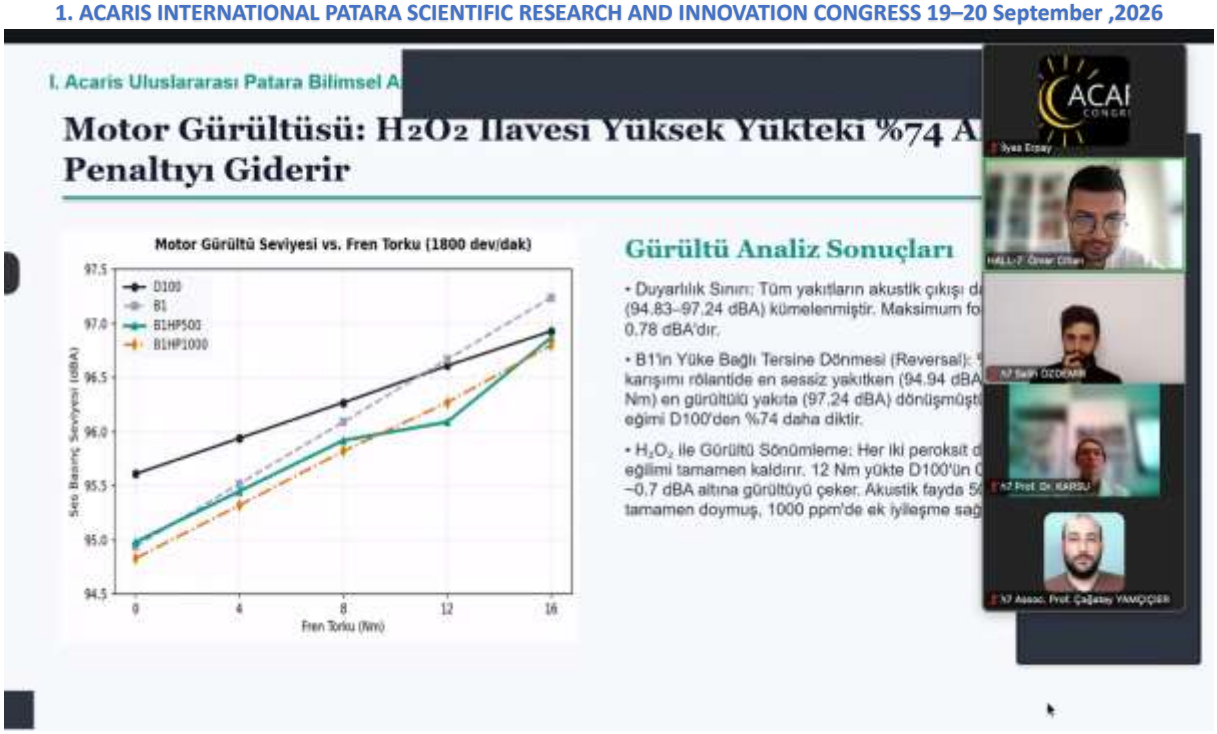

Bulgu 1 — Sıklık ve şiddet aynı yerde değil



Tablo 1. Öğretmenlerin mantar yönetim tarzına ilişkin algı düzeyleri

Değişkenler	n	X̄
Mantar Yönetim Tarzı	272	2.59
Yetersiz bilgi paylaşımı	272	2.69
Güç kaybı endişesi	272	2.29
Yetersiz iletişim	272	2.78
Katılımcı yönetim eksikliği	272	2.61

Ortalamalar; öğretmenlerin mantar yönetim tarzına **genel algıları ile güç kaybı endişesi boyutundaki algılarının "düşü yetersiz bilgi paylaşımı, yetersiz iletişim** ve **katılımcı yönetim eksikliği bo algılarının ise "orta" düzeyde** olduğunu göstermektedir.


I. Acaris Uluslararası Patara Bilimsel A
Motor Gürültüsü: H2O2 Ilavesi Yüksek Yükteki %74 A
Penaltıyı Giderir
Motor Gürültü Seviyesi vs. Fren Torku (1800 dev/dak)
D100
B1
B1HP500
B1HP1000
Ses Basınç Seviyesi (dBA)
Fren Torku (Nm)
Gürültü Analiz Sonuçları
• Duyarlılık Sınırı: Tüm yakıtların akustik çıkışı d
(94.83–97.24 dBA) kümelenmiştir. Maksimum fo
0.78 dBA'dır.
• B1'in Yüke Bağlı Tersine Dönmesi (Reversal):
karışımı rölantide en sessiz yakıtken (94.94 dBA
Nm) en gürültülü yakıta (97,24 dBA) dönüşmüşt
eğimi D100'den %74 daha diktir.
• H2O2 ile Gürültü Sönümleme: Her iki peroksit d
eğilimi tamamen kaldırır. 12 Nm yükte D100'ün
–0,7 dBA altına gürültüyü çeker. Akustik fayda 5
tamamen doymuş, 1000 ppm'de ek iyileşme sağ

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

TAVŞAN (*ORYCTOLAGUS CUNİCULUS*) MAXİLLA KEMİĞİNİN MORFOLOJİK KARAKTERİZASYONU: FENESTRASYONLARIN ANATOMİK ANALİZİ……7

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE RABBIT (*ORYCTOLAGUS CUNICULUS*) MAXILLA: ANATOMICAL ANALYSIS OF THE FENESTRATIONS..... 8

ATLARDA KUYRUK OMURLARININ (VERTEBRAE CAUDALE) ANATOMİK ÖZELLİKLERİ VE KLİNİK ÖNEMİ..... 15

ANATOMICAL FEATURES AND CLINICAL SIGNIFICANCE OF THE CAUDAL VERTEBRAE IN HORSES 16

TÜRKİYE KÜÇÜKBAŞ HAYVANCILIĞINDA KARAYAKA KOYUNUNUN ÖZELLİKLERİ VE BÜTÜNCÜL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ 23

CHARACTERİSTİCS AND HOLİSTİC EVALUATİON OF THE KARAYAKA SHEEP İN TURKİYE SMALL RUMİNANT HUSBANDRY..... 24

SOĞAN KABUĞUNDAKİ CEVHER; KUERSETİN VE EKSTRAKSİYONU..... 36

THE GEM IN ONION SKIN: QUERCETIN AND ITS EXTRACTION..... 37

YEŞİL SENTEZLE ÜRETİLEN ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN KURAKLIK STRESİ ALTINDAKİ BUĞDAYDA FOTOSENTETİK PİGMENTLER VE PROTEİN ÜZERİNE ETKİLERİ 38

EFFECTS OF GREEN-SYNTHESIZED ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS AND PROTEIN IN WHEAT UNDER DROUGHT STRESS..... 39

ANADOLU KESTANESİ VE ADİ CEVİZ AHŞABININ GEOMETRİYE BAĞLI BASINÇ DAYANIMI: DENEYSEL BULGULAR VE NÜMERİK YORUMLAMA 40

GEOMETRY-DEPENDENT COMPRESSIVE STRENGTH OF ANATOLIAN CHESTNUT AND COMMON WALNUT WOOD: EXPERIMENTAL FINDINGS AND NUMERICAL INTERPRETATION 40

FARKLI TUZLULUK DÜZEYLERİNDEKİ SULAMA SULARININ BUĞDAY YETİŞTİRİLEN TOPRAKLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE PROFİL BOYUNCA TUZ DAĞILIMINA ETKİSİ. 56

THE EFFECTS OF IRRIGATION WATER WITH DIFFERENT SALINITY LEVELS ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS AND SALT DISTRIBUTION ALONG THE SOIL PROFILE UNDER WHEAT CULTIVATION 57

PLASTİK SERA KOŞULLARINDA ÇİZGİ KAYNAKLI YAĞMURLAMA SİSTEMİ ALTINDA BUĞDAYIN DEĞİŞEN SULAMA SUYU MİKTARI VE TUZLULUK KOŞULLARINA YAPRAK SU POTANSİYELİ YANITI 72

LEAF WATER POTENTIAL RESPONSE OF WHEAT TO VARIABLE IRRIGATION AMOUNTS AND SALINITY UNDER A LINE-SOURCE SPRINKLER SYSTEM IN A PLASTIC GREENHOUSE..... 73

DENTİN BİYOKİMYASI..... 89

DENTIN BIOCHEMISTRY 90

DENEYSEL OLUŞTURULAN SİKLOFOSFAMİD KAYNAKLI KALP HASARINDA KULLANILAN BAZI BİTKİSEL ANTİOKSİDANLAR 99

SOME PLANT ANTIOXIDANTS USED IN EXPERIMENTALLY INDUCED CYCLOPHOSPHAMIDE-INDUCED HEART DAMAGE 100

DİKKAT EKSİKLİĞİ VE HİPERAKTİVİTE BOZUKLUĞU TANILI ÇOCUKLARDA KONUŞMA SESİ BOZUKLUKLARININ İNCELENMESİ 109

INVESTIGATION OF SPEECH SOUND DISORDERS IN CHILDREN DIAGNOSED WITH ATTENTION-DEFICIT/HYPERACTIVITY DISORDER 110

ZERO WASTE FROM PREGNANCY TO BIRTH: A NEW APPROACH FOR SUSTAINABLE MATERNAL AND INFANT HEALTH 111

GEBELİKTEN DOĞUMA SIFIR ATIK: SÜRDÜRÜLEBİLİR ANNE VE BEBEK SAĞLIĞI İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM 112

AIR POLLUTION DURING PREGNANCY AND MATERNAL-FETAL HEALTH: AN ASSESSMENT FROM THE PERSPECTIVE OF CLIMATE CHANGE 118

GEBELİKTE HAVA KİRLİLİĞİ VE ANNE-FETÜS SAĞLIĞI: İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN BİR DEĞERLENDİRME 119

AZƏRBAYCAN UŞAQ ƏDƏBİYYATINDA BƏDİİ TƏRCÜMƏ ƏDƏBİYYATININ YARANMASI DÖVRÜ XIX ƏSR 125

Gİ DE MOPASSAN YARADICILIĞI FRANSIZ ƏDƏBİYYATI KONTEKSTİNDƏ 133

ARİSTOFANES'İN "BULUTLAR" KOMEDİSİNDE SOFİZM, AİLEVİ YOZLAŞMA VE TİYATRO TEKNİĞİ 137

SOPHİSM, FAMİLİAL DECAY, AND THEATRİCAL TECHNİQUE İN ARİSTOPHANES' "THE CLOUDS" 139

ŞAGİRDLƏRDƏ MÜSTƏQİL DÜŞÜNCƏNİN İNKİŞAF ETDİRİLMƏSİ ONLARIN ŞƏXSİYYƏT KİMİ FORMALAŞMASININ ƏSAS AMİLİ KİMİ 141

BİOLOGİYA DƏRSLƏRİNDƏ TƏDQİQAT SUALLARININ QURULMASI BACARIĞININ İNKİŞAFI 144

DEVELOPING THE ABILITY TO FORMULATE RESEARCH QUESTIONS IN BIOLOGY LESSONS 145

FUNDAMENTALS OF PRONUNCIATION 154

DÖVLƏTMƏMMƏD AZADİNİN MÜHİTİ VƏ HƏYATI 157

ATIK TRAVERTEN TOZU İLE STABİLİZE EDİLEN YOL TABAN ZEMİNLERİN DAYANIM PERFORMANSININ İNCELENMESİ 161

INVESTIGATION OF THE STRENGTH PERFORMANCE OF ROAD SUBGRADE SOILS STABILIZED WITH WASTE TRAVERTINE POWDER 162

TRAFİK KAZALARINDA YOL VE ÇEVRE UNSURLARININ BİRLİKTE GÖRÜLME ÖRÜNTÜLERİ: SİVAS İL MERKEZİ ÖRNEĞİ 163

CO-OCCURRENCE PATTERNS OF ROAD AND ENVIRONMENTAL FACTORS IN TRAFFIC CRASHES: THE CASE OF SIVAS CITY CENTRE 164

ÇEŞİTLİ SINIR KOŞULLARI ALTINDA KİRİŞLERİN DOĞAL TİTREŞİM ANALİZİ 165

NATURAL VIBRATION ANALYSIS OF BEAMS UNDER VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS 166

ANKARA İÇMESUYU SİSTEMİNDE KIZILIRMAK VE GEREDE SUYUNUN ÖNEMİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME 177

AN ASSESSMENT OF THE IMPORTANCE OF KIZILIRMAK AND GEREDE RIVER WATER IN ANKARA'S DRINKING WATER SYSTEM 178

TARİHSEL KAYITLARA GÖRE DOĞU KARADENİZ HAVZASI'NDAKİ AKARSU TAŞKINLARININ YERLEŞİM TİPLERİYLE İLİŞKİSİ 190

THE RELATIONSHIP BETWEEN RIVER FLOODS AND SETTLEMENT TYPES IN THE EASTERN BLACK SEA BASIN ACCORDING TO HISTORICAL RECORDS 191

İNSANİ GÜVENLİK BAĞLAMINDA GIDA GÜVENLİĞİ: KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME ARACI OLARAK GIDA BANKACILIĞI UYGULAMALARI 200

FOOD SECURITY IN THE CONTEXT OF HUMAN SECURITY: FOOD BANK PRACTICES AS A COMPARATIVE ASSESSMENT TOOL 201

TARIMSAL DESTEKLEMELERDEN YARARLANMA, YETERLİLİK ALGISI VE ÜRETİM KARARLARINA ETKİSİ: KAYSERİ İLİ ÖRNEĞİ 207

AGRICULTURAL SUPPORT UPTAKE, PERCEIVED ADEQUACY, AND EFFECTS ON PRODUCTION DECISIONS IN THE YEŞILHISAR AND YAHYALI DISTRICTS OF KAYSERI PROVINCE, TÜRKIYE 208

TÜRKİYE'DE TARIMSAL NÜFUSUN YAŞLANMASI, İŞGÜCÜ KITLIĞI VE MEKANİZASYON: GIDA GÜVENLİĞİ ÜZERİNE BİR DERLEME ÇALIŞMASI 220

AGEING OF THE AGRICULTURAL POPULATION, LABOR SHORTAGE, AND MECHANIZATION IN TURKEY: A REVIEW STUDY ON FOOD SECURITY 221

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAYNAKLI RİSKLERDE SİGORTA KORUMASININ KAPSAMI VE SINIRLARI 236

THE SCOPE AND LIMITS OF INSURANCE COVERAGE FOR CLIMATE CHANGE-RELATED RISKS 237

KENTSEL AÇIK-YEŞİL ALANLARIN İNSAN REFAHI ÜZERİNDEKİ ÇOK BOYUTLU ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 238

ASSESSMENT OF THE MULTIDIMENSIONAL EFFECTS OF URBAN OPEN-GREEN SPACES ON HUMAN WELL-BEING 239

BURDUR KENT MERKEZİNDE YAYA DAVRANIŞINI ETKİLEYEN PEYZAJ ÖGELERİNİN KULLANICI ALGILARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ 248

USER-BASED ASSESSMENT OF LANDSCAPE ELEMENTS AFFECTING PEDESTRIAN BEHAVIOUR IN BURDUR CITY CENTER 249

MANTAR YÖNETİM TARZINA İLİŞKİN ÖĞRETMEN ALGILARININ İNCELENMESİ 261

AN INVESTIGATION OF TEACHERS' PERCEPTIONS REGARDING THE MUSHROOM MANAGEMENT STYLE 262

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA DOĞA İLE TANIŞTIRMANIN ÖRGÜTLENME BİÇİMLERİ VE ULUSLARARASI İYİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ 263

ORGANIZATIONAL FORMS OF NATURE ACQUAINTANCE IN PRESCHOOL EDUCATION INSTITUTIONS AND INTERNATIONAL BEST PRACTICE EXAMPLES 264

OKUL ÇAĞI ÇOCUKLARINDA MİKROBESİN (VİTAMİN VE MİNERAL) DENGESİNİN İMMÜNO-AKTİF STABİLİZASYON VE BİLİŞSEL PERFORMANSA FİZYOLOJİK ETKİLERİ İLE HİJYENİK İLKELERİ 268

PHYSIOLOGICAL EFFECTS AND HYGIENIC PRINCIPLES OF MICRONUTRIENT STATUS ON IMMUNO-ACTIVE STABILIZATION AND COGNITIVE PERFORMANCE IN SCHOOL-AGE CHILDREN 269

MİLLÎ MÜCADELE'DE KADINA ÇAĞRI: MEMLEKET GAZETESİNDEKİ BİR MEKTUP İLE MEFKÛRE KARTLARI'NIN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ 274

A CALL TO WOMEN DURING THE NATIONAL STRUGGLE: A COMPARATIVE STUDY OF A LETTER IN MEMLEKET AND THE MEFKÛRE (IDEAL) POSTCARDS 275

ÜTOPYAYI KURAN KADININ ÖZGÜRLÜĞÜ: HALİDE EDİB'İN *YENİ TURAN*'INDA FEMİNİST İMKÂNLAR VE SINIRLAR 276

THE FREEDOM OF THE WOMAN WHO BUILDS UTOPIA: FEMINIST POSSIBILITIES AND LIMITS IN HALIDE EDIB'S *YENİ TURAN* 277

AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT IKEBANA BY ALVIN B. CRUZ 305

İTKİN DÜŞƏN GERÇƏKLİYİN ƏHVALI, YAXUD MİFOLOJİ DÜŞÜNCƏDƏ GÖBƏKLİTƏPƏNİN SÜMER-ƏCDAD VARİSLİYİ 312

TƏSƏVVÜFÜN MERİDİAN ÜFÜQLƏRİ: ŞEYX ÜBRAHİM GÜLŞƏNİ BƏRDƏİ DİVANINDA İLAHİ EŞQ MƏRTƏBƏLƏRİ 315

%1 N-BÜTANOL–DİZEL YAKIT KARIŞIMINA PPM DÜZEYİNDE HİDROJEN PEROKSİT İLAVESİNİN MOTOR GÜRÜLTÜSÜ VE TİTREŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ 318

EFFECTS OF PPM-LEVEL HYDROGEN PEROXIDE ADDITION TO A 1% N-BUTANOL–DIESEL BLEND ON ENGINE NOISE AND VIBRATION 319

K_2BH_7 BİLEŞİĞİNİN YAPISAL, ELEKTRONİK, MEKANİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İLK İLKELER YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ 332

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, ELECTRONIC, MECHANICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF THE K_2BH_7 COMPOUND USING THE FIRST-PRINCIPLES METHOD 333

$LiVH_5$ BİLEŞİĞİNİN YAPISAL, MEKANİK VE TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İLK İLKELER YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ 346

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, MECHANICAL, AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF THE $LiVH_5$ COMPOUND USING THE FIRST-PRINCIPLES METHOD 347

SİHİR OLMAYAN TEKNOLOJİ: YAPAY ZEKÂ 359

PROGRAMATİK AÇIK HAVA REKLAMLARI GELİŞİMİ: ÖRNEK UYGULAMALAR 375

THE EVOLUTION OF PROGRAMMATIC OUT-OF-HOME ADVERTISING: CASES 376

BETWEEN TWO WORLDS AND MULTIPLE SCREENS: RELIGION, FAMILY, AND CULTURAL TRANSMISSION IN THE DIASPORA 392

LIVING HERITAGE IN THE AGE OF PLATFORMS: DIGITAL TOURISM, LOCAL MEMORY, AND THE COMMODIFICATION OF CULTURAL IDENTITY 418

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR FINANCIAL MARKET INTELLIGENCE: PREDICTIVE MODELLING AND BEHAVIOURAL FORECASTING IN EMERGING ECONOMIES 446

BEYOND GENERATIVE AI: RETHINKING HUMAN INTELLIGENCE, AGENCY, IDENTITY, AND SOCIETY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE 462

BANKING RISK AND ITS MANAGEMENT BY COMMERCIAL BANKS IN ALBANIA 475

THE ROLE OF ISLAMIC ECONOMIC PRINCIPLE IN DEVELOPING ETHICAL BUSINESS PRACTICES 476

THE ROLE OF FİNANCİAL LİTERACY İN IMPROVİNG SAVİNG BEHAVİOR AMONG UNİVERSİTY STUDENTS 477

THE ROLE OF DIGITAL BANKING IN IMPROVING CUSTOMER SERVICE AND FINANCIAL INCLUSION 478

THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN FOSTERİNG THE GROWTH OF MİCRO, SMALL, AND MEDİUM ENTERPRİSES (MSMES)" 479

GROWTH–INFLATİON–UNEMPLOYMENT TRİLEMMA: EVİDENCE FROM A NONLİNEAR PANEL FRAMEWORK 480

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF ECOLOGICAL REFUGES FOR THE CONSERVATION OF RARE AND THREATENED SPECIES 481

THE IMPACT OF ECOLOGICAL REFUGIA ON SPECIES DIVERSITY AND POPULATION STRUCTURE IN LAKE ECOSYSTEMS 500

HOMOZYGOSITY MAPPING OF A CONSANGUINEOUS FAMILY WITH INHERITED DWARFISM FROM DISTRICT KOHAT 515

VIEWS ON THE ARTIFICIAL AUXILIARY LANGUAGE ANGLO-FRANCA 516

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION REGIMES ON ECOSYSTEM PRODUCTIVITY AND FUNCTIONING 526

DIVERSITY AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MICROMYCETES IN THE RHIZOSPHERE SOILS OF URBAN GREEN SPACES 542

DIGITAL ISLAMIC BANKING AND FINANCIAL IMCLUSION IN THE DIGITAL ERA 558

THE ROLE OF ISLAMIC FINANCIAL LITERACY IN SHAPING FINANCIAL BEHAVIOR AMONG UNIVERSITY STUDETS 559

DEFECT-ENGINEERED INORGANIC SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURES FOR COUPLED PHOTOCATALYTIC–ENVIRONMENTAL REMEDIATION PROCESSES: MECHANISTIC INSIGHTS, INTERFACIAL CHARGE REGULATION AND FUTURE PERSPECTIVES 560

FOSTERİNG THE CREATİVE ECONOMY İN PEMALANG REGENCY THROUGH MSMES, INNOVATİON, AND THE UTİLİZATİON OF LOCAL POTENTİAL 597

THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN PROMOTİNG FİNANCİAL INCLUSİON 598

DIGITALIZATION OF ISLAMIC BANKING AND EASIER ACCESS TO FINANCIAL SERVICES 599

ISLAMIC BANKING: PRINCIPLES AND ITS ROLE IN THE ISLAMIC FINANCIAL SYSTEM 600

THE EFFECTIVENESS OF INTERACTIVE LEARNING SYSTEMS IN IMPROVING STUDENTS UNDERSTANDING OF ISLAMIC BANKING CONCEPTS 601

ISLAMİC BANKİNG: CONCEPTS, PRİNCİPLES, AND PRACTİCES..... 602

THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN IMPROVİNG THE COMMUNİTY'S ECONOMY 603

THE DEVELOPMENT OF ISLAMIC BANKING IN INDONESIA IN THE DIGITAL ERA..... 604

ANALİSİS PERBANDİNGAN KİNERJA KEUANGAN BANK UMUM SYARİAH DAN BANK KONVENSİONAL Dİ INDONESİA MENGGUNAKAN METODE RGEC 605

INTERPRETİNG QUR'ANİC LEGAL RULİNGS AND DEVELOPİNG HALAL ECONOMİC ETHİCS: A STUDY OF QUR'ANİC VALUES İN THE KALİ PAİNGAN KHAS ZONE 606

AFRICAN ONTOLOGY OF PERSONHOOD..... 607

TAVŞAN (*ORYCTOLAGUS CUNİCULUS*) MAXİLLA KEMİĞİNİN MORFOLOJİK KARAKTERİZASYONU: FENESTRASYONLARIN ANATOMİK ANALİZİ

Prof.Dr. Şükrü Hakan ATALGIN[1], Prof.Dr. Zekeriya ÖZÜDOĞRU[2]

[1]Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakültesi sukruhakan@balikesir.edu.tr ORCID 0000-0001-9436-6270

[2]Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakültesi Anatomi ABD zekeriya.ozudogru@balikesir.edu.tr

Orcid 0000-0002-0789-3628

Özet

Tavşan (*Oryctolagus cuniculus*), craniofacial biyoloji, oral ve maxillofacial cerrahi, implantoloji ve kemik doku mühendisliği araştırmalarında yaygın olarak tercih edilen önemli bir laboratuvar modelidir. Maxilla kemiği, memeliler arasında yalnızca Leporidae familyasına özgü olan lateral fenestralı kortikal mimarisiyle morfolojik açıdan ayrışmaktadır. Bu fenestrasyonların fonksiyonel anlamı, klasik "ağırlık azaltma" hipotezlerinden Moss ve Feliciano'nun "fonksiyonel matriks ve yük yönlendirme" modeline, günümüzde ise yüksek çözünürlüklü mikro-bilgisayarlı tomografi (μCT) ve sonlu eleman analizleri (FEA) temelli modern yaklaşımlara kadar uzanan geniş bir çerçevede tartışılmaktadır. İntramembranöz kemikleşme ile şekillenen maxilla, hipselodont (sürekli uzayan) dişlerin dinamik yüklerine ve postnatal dönemdeki kas kuvvetlerine bağlı olarak aktif bir periostal değişime maruz kalır. Güncel biyomekanik kanıtlar, fenestrasyonların çiğneme kuvvetlerinin iletiminden ziyade başın atalet momentini azaltarak lokomosyon verimliliğini artıran bir kranial hafifleme adaptasyonu olduğunu göstermektedir. Çalışmada maxillanın çalışmaya konu olan fenestrasyonlu kısmı incelenmiştir. Tüm materyallerde genel olarak büyük bir delik ve rostral ve caudal kısımlarda da farklı büyüklerde delikler saptanmıştır. Bu makalede, tavşan maxillasının makroskobik anatomisi sentezlenerek, elde edilen verilerin deneysel modelleme araştırmalardaki sınırlılıkları ve avantajları incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Craniofacial anatomi, fenestra maxillae, kemik, maxillae, tavşan.

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE RABBIT (*ORYCTOLAGUS CUNICULUS*) MAXILLA: ANATOMICAL ANALYSIS OF THE FENESTRATIONS

Prof.Dr. Şükrü Hakan ATALGIN[1], Prof.Dr. Zekeriya ÖZÜDOĞRU[2]

[1]Balıkesir University Faculty of Veterinary Medicine, sukruhakan@balikesir.edu.tr

ORCID 0000-0001-9436-6270

[2]Balıkesir University Faculty of Veterinary Medicine, zekeriya.ozudogru@balikesir.edu.tr

Orcid 0000-0002-0789-3628

Abstract

The rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) is an important laboratory animal model widely used in craniofacial biology, oral and maxillofacial surgery, implantology, and bone tissue engineering research. The maxilla exhibits a distinctive morphological feature, namely a lateral fenestrated cortical architecture that is considered unique to the family Leporidae among mammals. The functional significance of these fenestrations has been discussed within a broad conceptual framework, ranging from the classical “weight reduction” hypothesis and Moss and Feliciano’s “functional matrix and load-direction” model to contemporary approaches based on high-resolution micro-computed tomography (micro-CT) imaging and finite element analysis (FEA). The maxilla, which develops primarily through intramembranous ossification, undergoes active periosteal remodeling in response to the dynamic loads associated with hypselodont (continuously growing) teeth and postnatal muscular forces. Current biomechanical evidence suggests that, rather than primarily contributing to the transmission of masticatory forces, these fenestrations represent a cranial lightweighting adaptation that reduces the head’s moment of inertia and thereby enhances locomotor efficiency. In the present study, the fenestrated portion of the maxilla was examined. Overall, all specimens exhibited one large opening, along with additional openings of varying sizes in the rostral and caudal regions. In this article, the macroscopic anatomy of the rabbit maxilla is synthesized, and the advantages and limitations of the findings for experimental modeling studies are evaluated.

Keywords: Bone, craniofacial anatomy, fenestra maxillae, maxilla, rabbit.

1. GİRİŞ

Tavşan (*Oryctolagus cuniculus*), yüksek kemik döngü hızı, cerrahi erişime uygun kraniyofasiyal boyutları ve hem kortikal hem de trabeküler kemik yapısının biyomalzeme testlerine elverişliliği nedeniyle deneysel cerrahide en sık kullanılan modellerden biridir (Calasans-Maia ve ark., 2009; Pearce ve ark., 2007). Kraniyofasiyal iskeletin merkezinde yer alan maxilla (*os maxillare*); üst diş arkını destekleyen, sert damağın (*palatum durum*) büyük kısmını şekillendiren, nazal kavitenin lateral sınırını oluşturan ve orbita tabanına katılan kompleks bir yapıdır (Dyce ve ark., 2017; König ve Liebich, 2020).

Memelilerin büyük çoğunluğunda maxilla gövdesi homojen ve kortikal kemik tabakası sergilerken, Lagomorpha takımının Leporidae familyasında kemiğin lateral yüzü (*facies lateralis*), ince trabeküler kemik köprüleriyle ayrılan çok sayıda kalbursu açıklık (*fenestratio maxillae*) barındırır (Moss ve Feliciano, 1977). Fenestrasyonların fonksiyonel kökeni üzerine geliştirilen teoriler, bu açıklıkları sadece kafatası kütlesini hafifletmeye yönelik anatomik adaptasyonlar olarak tanımlamıştır (DuBrul, 1950). Buna karşılık Moss ve Feliciano (1977), fonksiyonel matriks teorisi ekseninde fenestrasyonların çiğneme kuvvetlerinin dorsal ve ventral destek kolonlarına yönlendirilmesi neticesinde, mekanik olarak yüklenmeyen bölgelerde gelişen fizyolojik rezorpsiyon alanları olduğunu öne sürmüştür.

Güncel μCT verileri ve üç boyutlu sonlu eleman analizleri (FEA), lateral fenestrasyonların varlığının kafatasındaki Von Mises stres dağılımını ve ısırma kuvveti mekanik avantajını anlamlı düzeyde değiştirmediğini; bu durumun çiğneme kuvvetlerini yeniden yönlendirmekten çok hızlı lokomosyon esnasında başın ağırlığını azaltmaya yönelik bir adaptasyon olduğunu göstermektedir (Wood-Bailey ve Sharp, 2025). Bu morfolojik ve biyomekanik özgünlük, tavşanın maksillofasiyal cerrahi ve kemik grefti çalışmalarında bir model olarak kullanılmasında dikkate alınması gereken anatomik sınırlılıkları beraberinde getirmektedir (Pearce ve ark., 2007). Bu çalışmanın amacı, tavşan maxillasının anatomik temellerini bütüncül bir yaklaşımla ele almaktır.

1.2. Makroskobik Anatomi ve Topografik Organizasyon

Corpus maxillae, maxillanın temel kütlesini oluşturarak nazal kavitenin lateral sınırını ve paranazal hava boşluklarını sınırlar (Barone, 2010; König ve Liebich, 2020). Karnivor ve ruminantlara kıyasla tavşanda korpusun lateral duvarı oldukça incedir. Maxilla kemiği kranialde *os incisivum*, dorsalde *os nasale* ve *os frontale*, kaudalde ise *os lacrimale*, *os zygomaticum* ve *os palatinum* ile birleşir (König ve Liebich, 2020).

Processus alveolaris, tavşana özgü sürekli uzayan (hipselodont / elodont) üst premolar ve molar dişlerin köklerini barındırır (Meredith ve Lord, 2014). Tavşanın üst çene diş formülü şu şekildedir (Kraatz ve ark., 2015):

$$\text{Üst Çene Diş Formülü: I } \frac{2}{1}, \text{ C } \frac{0}{0}, \text{ P } \frac{3}{2}, \text{ M } \frac{3}{3} \quad \text{(Toplam: 28 Diş)}$$

Büyük üst kesici dişlerin arkasında yer alan ikinci küçük kesici dişler (*peg teeth*), lagomorfları kemirgenlerden (*Rodentia*) ayıran en belirgin anatomik karakterdir (Kraatz ve ark., 2015). Sürekli diş erüpsiyonu nedeniyle alveoler soketlerde yaşam boyu osteoklastik ve osteoblastik remodeling devam eder (Harcourt-Brown, 2002).

Processus palatinus maxillae, sağ ve sol lamina tabakalarının median hatta birleşmesiyle (*sutura palatina mediana*) sert damağın yaklaşık üçte ikisini oluşturur (Dyce ve ark., 2017). Herbivor beslenmeye uyum sağlayan bu yapı dar ve rostrokaudal doğrultuda uzundur (Dyce ve ark., 2017). Kaudalde *foramen palatinum majus* ve multipl *foramina palatina minora* ile damar-sinir geçişleri sağlanır.

Maxillanın lateral yüzü (*facies lateralis*), ince kortikal kemik trabeküllerıyle birbirinden ayrılan çok sayıda düzensiz fenestrasyon alanı ile karakterizedir (Moss ve Feliciano, 1977). Bu fenestrasyonlar özellikle *foramen infraorbitale* çevresinde yoğunlaşır ve yaş ilerledikçe genişleyerek lateral yüzeyin büyük kısmını kaplar (Wood-Bailey ve ark., 2022).

Foramen infraorbitale, *nervus infraorbitalis* ile eşlik eden damarların geçişine olanak tanıyan geniş ve dikey yönelimli bir yarıktır (Meredith ve Lord, 2014). Çiğneme kuvvetlerinin dorsal nörokraniuma ve arcus zygomaticus boyunca kaudale aktarılmasını sağlayan zigomatik destek kolonları (*zygomatic buttresses*), lateral fenestrasyon alanlarının maruz kaldığı mekanik stres yoğunlaşmasını dengeler (Moss ve Feliciano, 1977).

1.3. Embriyolojik Gelişim, Postnatal Morfogenez ve Remodeling

Tavşan maxillası, birinci faringeal arkus mezenşiminden köken alan nöral krest hücrelerinin göçü ve farklılaşması neticesinde doğrudan intramembranöz ossifikasyon ile gelişir (Hall, 2015; Nanci, 2018). İlk kemikleşme merkezleri embriyonik dönemde infraorbital bölgede ortaya çıkar ve alveoler ile palatinal uzantılara doğru genişler.

Yenidoğan tavşanlarda lateral maksiller korteks homojen ve kompakttır; fenestrasyonlar doğum anında mevcut değildir (Moss ve Feliciano, 1977). Doğum sonrası ilk iki hafta içinde gerçekleşen morfolojik dönüşüm şöyledir (Moss ve Feliciano, 1977):

- **0–7. Gün:** Lateral kemik plağında yüzeysel vasküler oluklar ve lokal periostal rezorpsiyon odakları başlar.
- **7–14. Gün:** Çiğneme ve emme kuvvetlerinin devreye girmesiyle düşük mekanik gerilime maruz kalan alanlarda osteoklastik rezorpsiyon birleşir ve ağsı fenestralı yapı ortaya çıkar.

Moss ve Feliciano (1977), fenestrasyonların ortaya çıkışını Fonksiyonel Matriks Teorisi ve Wolff Yasası ile ilişkilendirmiştir. Çiğneme kaslarının (*musculus masseter*, *pterygoideus*) oluşturduğu vektörel kuvvetlerin aktarıldığı kalın kemik hatlarında osteogenezis korunurken, gerilimin minimum olduğu aralıklarda kemik dokusu rezorbe edilerek biyolojik ekonomi sağlanır (Moss ve Feliciano, 1977; Wolff, 1892). Büyüme sürecinde *sutura nasomaxillaris*, *frontomaxillaris* ve *zygomaticomaxillaris* üç boyutlu kraniyofasiyal gelişimi koordine eder (Jacobson, A., 2009;. Hall, 2015).

1.4. Histolojik ve Mikroyapısal Mimari

Maxilla korteksi ekstremite kemiklerindeki klasik Haversiyen kanalları içermez; periostal membranla örtülü lameller kemik tabakalarından oluşur (Jacobson, A., 2009). Kortikal kalınlık alveoler kenar, infraorbital kanal ve zigomatik destekte belirginken; lateral fenestrasyon bölgelerinde birkaç yüz mikrometreye kadar incelir (Moss ve Feliciano, 1977).

Kemik mimarisi ve implant osseointegrasyonunun değerlendirilmesinde kullanılan temel mikroyapısal değişkenler (Bouxsein ve ark., 2010; Wood-Bailey ve Sharp, 2025):

- **Trabekül Kalınlığı (**Tb.Th**):** Yük taşıyan hatlarda artış gösterir.
- **Trabekül Sayısı (**Tb.N**) ve Ayrımı (**Tb.Sp**):** Yönelimler oklüzal kuvvet vektörleriyle paraleldir.
- **Kemik Hacim Kesri (**BV/TV**):** Mekanik basınca bağlı olarak dinamik değişim sergiler.

1.5. Hücresel Dinamikler, Vaskülarizasyon ve İnnervasyon

Fenestrasyon kenarlarında osteoblast ve osteoklast aktivitesi sürekli dengelenir. Zengin kanlanma *arteria maxillaris*, *arteria infraorbitalis* ve *arteria alveolaris superior* aracılığıyla sağlanır. Duyu innervasyonu ise *nervus maxillaris* (CN V_2) ve onun infraorbital dallarınca yürütülür (Meredith ve Lord, 2014).

1.6. Lokomosyon ve Kranial Hafifleme (*Cranial Lightening*)

Sonlu eleman modelleri, fenestrasyonların çiğneme mekaniği üzerinde doğrudan bir avantaj yapmadığını (Wood-Bailey ve Sharp, 2025). Tavşanların sıçrayıcı (*saltatorik*) dört ayaklı lokomosyonu esnasında başın atalet momentinin düşürülmesi, özellikle kuyrukla denge sağlayamayan bu türlerde ani yön değişikliklerinde ve kaçış manevralarında biyomekanik avantaj sağlamaktadır (DuBrul, 1950; Wood-Bailey ve Sharp, 2025).

2. MATERYAL METOT

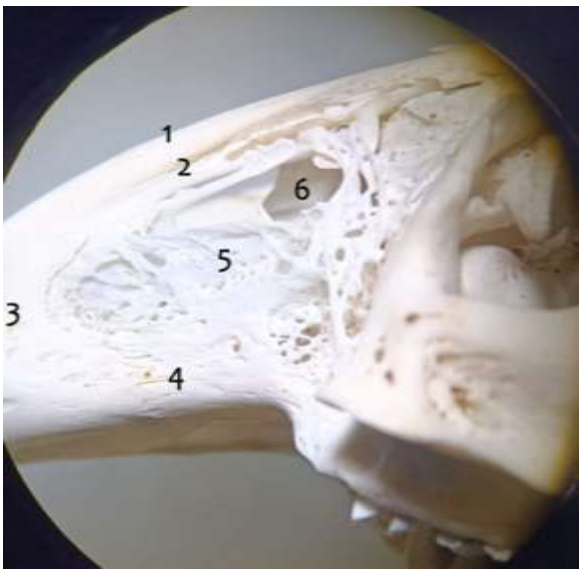
Çalışmadaki hayvanlar daha önceki çalışmalarda kullanılıp usulüne uygun olarak öldürülen hayvanlardan seçilmiştir. Alınan materyallerin ilgili bölümlerin yumuşak dokuları diseke edilerek uzaklaştırıldıktan sonra KOH içerisinde uygun sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir. Takip edilen materyaller uygun süre sonunda çıkartılıp yumuşak dokuları temizlenmiş ve H_2O_2 çözeltisine koyulmuştur. Böylece yumuşak dokudan ve yağlardan tamamen temizlenen materyaller çalışma için uygun hale getirilmiştir. Materyaller stereomikroskop altında incelenmiş, resimleri çekilmiştir ve bulgular alınmıştır.

3. BULGULAR

Bu çalışmada, maxilla'nın fenestrasyonlu bölgesi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Maxilla kemiği önde *os incisivum*, dorsalde *os nasale* ve *os frontale*, kaudalde ise *os lacrimale*, *os zygomaticum* ve *os palatinum* ile birleşir. Kranium'un iskeletin göbeğinde yer alan *os maxillare*; üst diş arkını destekleyen, sert damağın (*palatum durum*) büyük kısmını şekillendiren, cavum nasi'nin lateral sınırını oluşturan ve orbita tabanına katılan bir yapı olduğu saptandı. İncelenen tüm materyallerde, os nasale'ye paralel seyreden, ince ve levha (lamina) şeklinde bir kemik

uzantısı gözlenmiştir. Bu ince kemik laminasının hemen altında, büyük çaplı tek bir foramen dikkati çekmektedir; bu foramenin yapısı materyaller arasında değişkenlik göstermekte olup, incelenen örneklerin bir kısmında üçgen (triangüler), bir kısmında ise oval bir şekilde izlenmiştir. Bu büyük foramenin hemen altında (ventralinde) ise, düzenli bir dizilim izlemeyen, farklı çap ve şekillerde çok sayıda küçük foramen saptanmıştır. Bölgenin rostral (ön) kesiminde bu foramenlerin daha büyük çaplı ve birbirinden bağımsız, izole konumda yerleştiği belirlenmiştir. Fenestrasyonlu bölgenin orta kesiminde kemik dokusunun daha kompakt, stabil ve mekanik açıdan daha dayanıklı bir yapı sergilediği gözlenmiştir; bu bölgede foramen sayısının azaldığı ve mevcut foramenlerin de daha küçük çaplı olduğu tespit edilmiştir. Fenestrasyonun sonlandığı kemiğin ön (rostral) ucunda, yeniden küçük ve düzensiz şekilli foramenler izlenmiştir. Benzer nitelikte küçük foramenlere, arcus zygomaticum bölgesinde de rastlanmıştır.

Şekil 1. Maxilla'nın lateral'den görünümü. 1- Os nasale, 2- Processus nasalis os incisivum, 3- Corpus ossis incicivi, 4- Corpus maxillae (maxilla), 5- Facies facialis of 4 (perforated), 6- Üçgen şekilli foramen ovale



Şekil 2. Maxilla'nın lateral'den görünümü. 1- Os nasale, 2- Processus nasalis os incisivum, 3- Corpus ossis incicivi, 4- Corpus maxillae (maxilla), 5- Facies facialis of 4 (perforated), 6- Oval şekilli foramen ovale

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tavşan maxillasının biyolojik özellikleri, onu oral implantoloji, sinüs tabanı yükseltme ve kemik rejenerasyonu modelleri için elverişli kılsa da (Calasans-Maia ve ark., 2009; Pearce ve ark., 2007), insan anatomisi ile arasındaki yapısal farklar klinik çıkarımlarda sınırlılıklar oluşturur.

İnsan maxillası masif ve homojen bir kortikal kemik sunarken, tavşanın lateral fenestrasyonları implant primer stabilitesini ve greft tutulum dinamiklerini değiştirebilir. Ayrıca hipselodont dişlerin neden olduğu kesintisiz kemik remodelingi, osteogenezis hızını artırarak biyomalzeme rezorpsiyon sürelerini insan kliniğinden daha kısa periyotlara çekebilir (Harcourt-Brown, 2002; Meredith ve Lord, 2014). Bu nedenle tavşan maxillasında yürütülen translasyonel çalışmalarda mikroyapısal ve biyomekanik farklılıklar mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır (Pearce ve ark., 2007).

Anatomik çalışmamızdaki bulgular ayrıntılı olarak verilmiştir. Tavşan (*Oryctolagus cuniculus*) maxillası, Leporidae familyasına özgü fenestrasyonları, dinamik postnatal remodeling kapasitesi ve lokomosyona uyarlanmış biyomekanik mimarisi ile özgün bir kraniyofasiyal yapıdır. İleri sonlu eleman modellemeleri ve histomorfometrik analizler, bu fenestralı morfolojinin yalnızca çiğneme kuvvetlerinin pasif bir ürünü değil, aynı zamanda kranial kütle optimizasyonu sağlayan bir adaptasyon olduğunu ortaya koymaktadır. Tavşan modelinde yürütülecek biyomalzeme ve rekonstrüktif cerrahi araştırmalarında kemiğin bu türe özgü anatomik ve biyomekanik sınırlarının doğru yorumlanması translasyonel başarı için esastır.

KAYNAKLAR

Barone, R. (2010). *Anatomie comparée des mammifères domestiques: Tome 1, Ostéologie* (5. bs.). Vigot.

Bouxsein, M. L., Boyd, S. K., Christiansen, B. A., Guldberg, R. E., Jepsen, K. J., & Müller, R. (2010). Guidelines for assessment of bone microstructure in rodents using micro-computed tomography. *Journal of Bone and Mineral Research*, 25(7), 1468–1486. https://doi.org/10.1002/jbmr.141

Calasans-Maia, M. D., Monteiro, M. L., Áscoli, F. O., Granjeiro, J. M., & Alves, A. T. N. (2009). The rabbit as an animal model for experimental surgery. *Acta Cirúrgica Brasileira*, 24(4), 325–328. https://doi.org/10.1590/s0102-86502009000400014

DuBrul, E. L. (1950). Posture, locomotion and the skull in Lagomorpha. *American Journal of Anatomy, 87*(2), 277–313. https://doi.org/10.1002/aja.1000870205

Dyce, K. M., Sack, W. O., & Wensing, C. J. G. (2017). *Textbook of veterinary anatomy* (5. bs.). Elsevier.

Jacobson, A. (2009). Essentials of facial growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *136*(3), 471.

Hall, B. K. (2015). *Bones and cartilage: Developmental and evolutionary skeletal biology* (2. bs.). Academic Press.

Harcourt-Brown, F. (2002). *Textbook of rabbit medicine*. Butterworth-Heinemann.

König, H. E., & Liebich, H. G. (2020). *Veterinary anatomy of domestic mammals: Textbook and colour atlas* (7. bs.). Georg Thieme Verlag.

Kraatz, B. P., Sherratt, E., Bumacod, N., & Wedel, M. J. (2015). Ecological correlates to cranial morphology in Leporids (Mammalia, Lagomorpha). *PeerJ*, 3, e844. https://doi.org/10.7717/peerj.844

Meredith, A., & Lord, B. (2014). *BSAVA manual of rabbit medicine*. British Small Animal Veterinary Association.

Moss, M. L., & Feliciano, W. C. (1977). A functional analysis of the fenestrated maxillary bone of the rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 6(2), 167–187. https://doi.org/10.1111/j.1439-0264.1977.tb00431.x

Nanci, A. (2018). *Ten Cate's oral histology: Development, structure, and function* (9. bs.). Elsevier.

Pearce, A. I., Richards, R. G., Milz, S., Schneider, E., & Pearce, S. G. (2007). Animal models for implant biomaterial research in bone: A review. *European Cells and Materials*, 13, 1–10. https://doi.org/10.22203/ecm.v013a01

Wolff, J. (1892). *Das Gesetz der Transformation der Knochen*. Verlag von August Hirschwald.

Wood-Bailey, A. P., & Sharp, A. C. (2025). Lagomorph cranial biomechanics and the functional significance of the unique fenestrated rostrum of leporids. *The Anatomical Record*. https://doi.org/10.1002/ar.25656

Wood-Bailey, A. P., Sharp, A. C., et al. (2022). Comparative morphology of rostral fenestration in Leporidae. *Journal of Anatomy*, 241(3), 580–595.

ATLARDA KUYRUK OMURLARININ (VERTEBRAE CAUDALE) ANATOMİK ÖZELLİKLERİ VE KLİNİK ÖNEMİ

Prof.Dr. Şükrü Hakan ATALGIN

[1]Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakültesi sukruhakan@balikesir.edu.tr ORCID 0000-0001-9436-6270

Özet

Kuyruk omurları (vertebra caudalis), at omurgasının en arka kısmını oluşturur ve dengeyi koruma, iletişim ve böceklere karşı koruma gibi önemli roller oynayan kuyruğun iskelet temelini oluşturur. Kuyruk, sakrumun fonksiyonel bir devamı ve omurganın ayrılmaz bir parçası olmasına rağmen, kemik yapısı, kas-nörovasküler organizasyonu ve klinik yönetimi açısından kendine özgü özelliklere sahiptir. Kuyruk ve sakrokoksigeal bölgeyi içeren travma, kırıklar ve dejeneratif değişiklikler veteriner hekimlik pratiğinde nispeten nadirdir; ancak bu durumlar, hayvan refahını doğrudan etkileyebilecek gecikmiş tanı ve klinik sonuçlarla ilişkili olabilir. Bu çalışmada, atlardaki kuyruk omurlarının kemik anatomisi, güncel literatür ve karşılaştırmalı veteriner anatomik referansları ışığında değerlendirilmiştir. Çalışmada doğal ölüm sonrası elde edilen kuyruk omuru kemikleri kullanılmıştır. Kuyruk bölgesi usülüne uygun olarak alınmıştır. Daha sonra laboratuvar ortamında derisi ve kasları diseksiyon ile ayrılmıştır. Kuyruk omurlarını oluşturan kemikler temizlendikten sonra KOH çözeltisine konmuştur. Uygun ortamda kurulması beklenen kemikler resimlenerek bulguları alınmıştır. Kuyruk omurlarının, rostralden kaudal yöne doğru boyut ve morfolojik karmaşıklık bakımından giderek azaldığı gözlemlenmiştir. İlk iki kuyruk omurunun fonksiyonel eklem çıkıntılarına (processus articulares) ve tam bir omur kemerine (arcus vertebralis) sahip olduğu bulundu. Arkaya doğru gidildikçe kuyrukta yer alan omurlar giderek daha basit bir morfoloji sergiledi. Eklem çıkıntıları giderek küçüldü ve fonksiyonel önemlerini kademeli olarak kaybetti. Bu anatomik değişiklikler bölgeyi etkileyen travmatik ve dejeneratif lezyonların yorumlanması açısından önemli sonuçlar doğurabilir.

Anahtar kelimeler: At Anatomisi, at, columna vertebralis, vertebrae caudale.

ANATOMICAL FEATURES AND CLINICAL SIGNIFICANCE OF THE CAUDAL VERTEBRAE IN HORSES

Prof.Dr. Şükrü Hakan ATALGIN

[1]Balıkesir University Faculty of Veterinary Medicine, sukruhakan@balikesir.edu.tr

ORCID 0000-0001-9436-6270

Abstract

The caudal vertebrae (coccygeal vertebrae) constitute the most caudal part of the equine vertebral column and form the skeletal basis of the tail, which plays important roles in maintaining balance, communication, and protection against insects. Although the tail represents a functional continuation of the sacrum and an integral part of the vertebral column, it possesses distinctive characteristics in terms of its osseous structure, musculoneurovascular organization, and clinical management. Trauma, fractures, and degenerative changes involving the tail and sacrococcygeal region are relatively uncommon in veterinary practice; however, these conditions may be associated with delayed diagnosis and clinical consequences that can directly affect animal welfare. In the present study, the osseous anatomy of the caudal vertebrae in horses was evaluated in light of current literature and comparative veterinary anatomical references. Caudal vertebral bones obtained following natural death were used in the study. The tail region was collected in accordance with standard anatomical procedures. The skin and muscles were subsequently removed by dissection under laboratory conditions. After the bones constituting the caudal vertebrae had been cleaned, they were placed in a potassium hydroxide (KOH) solution. After an appropriate exposure period, the bones were removed from the solution. Following drying under suitable environmental conditions, the specimens were photographed and their morphological characteristics were documented. The caudal vertebrae were observed to progressively decrease in size and morphological complexity from the rostral to the caudal direction. The first two caudal vertebrae were found to possess functional articular processes (*processus articulares*) and a complete vertebral arch (*arcus vertebralis*). The more caudally positioned vertebrae exhibited progressively simpler morphology. The articular processes became progressively reduced in the more caudal vertebrae and gradually lost their functional significance. These anatomical changes may have significant implications for the interpretation of traumatic and degenerative lesions affecting the region.

Keywords: Caudal vertebrae, horse, equine anatomy, vertebral column.

1.GİRİŞ

Atlarda kuyruk vertebralarının sayısı bireysel varyasyon gösterir; literatürde bildirilen aralık 15–21 arasında olup ortalama sayı 18'dir. Vertebralar kuyruk köküden uca doğru gidildikçe kademeli olarak küçülür ve morfolojik karmaşıklıklarını kaybeder: İlk 4–5 koksigeal vertebra, işlevsel eklem çıkıntılarına (processus articulares) ve tam bir arcus vertebralis'e sahiptir. Dördüncü vertebradan itibaren laminalar dorsalde birleşmediği için arcus vertebralis eksik hale gelir; bu nedenle kuyruğun distal kısmında omurilik kanalı kapalı bir tüp şeklinde değildir. Daha kaudal vertebralarda eklem çıkıntıları küçülür ve işlevini kademeli olarak kaybeder (Dyce ve ark.., 2017, König & Liebich, 2020).

İlk vertebra caudalis'in sakrumla (özellikle 5. sakral vertebra ile) birleştiği eklem — sakrokoksigeal eklem — atlarda travmatik yaralanmaların en sık görüldüğü bölgedir; bu eklemin sakruma bu denli yakın olması, kırık/luksasyon durumlarında sinir köklerinin (cauda equina) etkilenme riskini artırır. İntervertebral diskler, kuyruğun güçlü fakat oldukça esnek olmasını sağlayan yastıklayıcı yapılar olarak görev yapar ve vertebralar arasında çok yönlü harekete olanak tanır (Dyce ve ark., 2017, König & Liebich, 2020).

Atlardaki kuyruk omurlarının sayıları bireysel olarak farklılık gösterir; literatürde aralığı 15–21 arasında olup ortalama sayı 18'dir (Dyce ve ark., 2017, König & Liebich, 2020). Vertebralar kuyruk kökünden uca doğru gidildikçe ilerledikçe küçülür ve morfolojik karmaşıklıklarını izler (IMAIOS Vet-Anatomy; Kentucky Equine Research):

- İlk 4–5 vertebra caudalis işlevsel parçalarına ve tam bir nörolojik arka yapıya sahiptir
- Dördüncü omurdan itibaren laminalar dorsalde birleşmediğinden ark eksik hale gelir; bu şekilde kuyruk kapalı bir tüp şeklinde değildir .
- Daha kaudal omurlardaki eklemlerin parçaları küçülür.
- İlk koksigeal vertebranın sakrumla (özellikle 5. sakral vertebra ile) birleştiği eklem — sakrokoksigeal eklem — atlarda travmatik yaralanmaların en sık görüldüğü bölgedir; bu eklemin sakruma bu denli yakın olması, kırık/luksasyon durumlarında kauda ve enfeksiyonlarının maruz kalma riskini arttırır (Tutko ve ark., 2002; Kearney ve Trostle, 2023).

İntervertebral diskler, kuyrukların güçlü fakat oldukça esnek olmasını sağlayan yastıklayıcı yapılar olarak görev yapar ve vertebralar arasında çok yönlü harekete olanak tanır (Dyce ve ark., 2017, König & Liebich, 2020).

Tablo 1. Tür bazında kuyruk (koksigeal) vertebra sayısı karşılaştırması

Tür	Koksigeal Vertebra Sayısı
At	15–21 (ortalama 18)
İnsan (kaudal/os coccygis)	3–5 (birleşmiş)
Köpek	20–23
Kedi	18–23
Sığır	18–20
Domuz	20–23

Kuyruğun hareketi, sakrum ve kuyruk kökü etrafında yerleşmiş iki çift dorsal ve iki çift ventral kas grubu tarafından sağlanır (Tutko ve ark., 2002):

- **Musculus sacrocaudalis dorsalis medialis (SDM)** ve **musculus sacrocaudalis dorsalis lateralis (SDL)** : Dorsal yerleşimli bu kas çiftleri, kuyruğun ekstansiyonundan (kaldırılmasından) sorumludur
- **Musculus sacrocaudalis ventralis lateralis (SVL)** ve **musculus sacrocaudalis ventralis medialis (SVM)** : Ventral yerleşimli bu kas çiftleri, kuyruğun fleksiyonunu (aşağı "kenetlenmesini") sağlar.

Dorsal ve ventral kaslarının gruplarının koordineli kasılması, kuyruğun yanal (lateral) hareketini oluşturur; yalnızca dorsal kasların hasarının yanal harekette belirgin bir kayba yolu açılması, yanal hareketin kaybı için ventral kasların da etkilenmesi gerekir. Kuyruk kökü bölgesi, daha yüzeysel ve büyük kas kütleleri olan **musculus biceps femoris** ve **musculus semitendinosus** , kuyruğun ventral kaslarını örter; bu durum ventral kas atrofisinin klinik muayenesinde dorsal kas atrofisine kıyasla anlaşılmasını zorlaştırır. **Musculus coccygeus** ve **ligamantum sacrosciaticum** da bu bölgedeki komşu destek yapıları içerir

Kuyrukta görülen kas atrofisi (özellikle SDM/SDL atrofisi), genellikle bu kasları innerve eden sinirlerde görülen hasarın klinik bir göstergesidir (Dyce ve ark., 2017, König & Liebich, 2020 Tutko ve ark., 2002).

Sinir ve Damar Yapıları

Omurilik, atlarda yaklaşık birinci-ikinci lumbar vertebra düzeyinde sonlanarak **conus medullaris'**i oluşturur; buradan itibaren ince, fibröz bir uzantı olan **filum terminale** kuyruğa doğru devam eder. Conus medullaris ve filum terminale'den ayrılan sinir kökleri, kuyruğa benzer görünümleri nedeniyle **cauda equina** (at kuyruğu) olarak adlandırılır ve bu yapı dördüncü sakral segmente kadar uzanır. Kuyruk vertebraları çevresinde, kaslar ve kemikler arasında yerleşmiş **dorsal kaudal sinir pleksusu** ve **ventral kaudal sinir pleksusu** bulunur; bu pleksuslardan vertebralar arasında dallanan sinirler dorsal ve ventral kuyruk kaslarını innerve eder (Dyce ve ark., 2017, König & Liebich, 2020). Bu sinirlerin kuyruk kökü çevresinde kemik ve kaslar arasında sıkışık şekilde seyretmesi, kırık parçalarının kolayca sinir hasarına yol açabilmesinin anatomik temelini oluşturur (Tutko ve ark., 2002).

Kuyruk bölgesinin arteriyel beslenmesi başlıca şu damarlardan sağlanır:

- **Arteria caudalis lateralis** (lateral kaudal arter)
- **Arteria caudalis media** (orta kaudal arter) ve buna eşlik eden venler
- Vertebralar arasında segmental olarak seyreden **dorsolateral** ve **ventrolateral kaudal arterler**
- **Musculi intertransversarii** segmentlerine eşlik eden küçük dallar

Klinik Anatomi: Görüntüleme Yöntemleri ve Patolojik Bulgular

Radyografik Sınırlamalar

Kuyruk sokumu ve sakrokoksigeal bölgenin büyük kas kütlesi ve anatomik lokalizasyonu nedeniyle, özellikle iri cüsseli atlarda ortogonal (birbirine dik) radyografik projeksiyonlar elde etmek genellikle mümkün olmaz. Kearney ve Trostle (2023) tarafından bildirilen olguda, 500 kg ağırlığındaki bir atta yalnızca lateral projeksiyon elde edilebilmiş, buna rağmen birinci koksigeal vertebranın beşinci sakral vertebraya göre ciddi ventral luksasyonu, ikinci-üçüncü koksigeal vertebralar arasında subluksasyon ve birinci koksigeal vertebranın gövde/ark kırığı net biçimde ortaya konabilmiştir.

Ogden ve ark. (2025) tarafından yayımlanan 56 olguluk retrospektif seride, kaudal omurga (T16–18, lumbar vertebralar ve sakrum) ve pelvis BT görüntülemesi ile şu başlıca patolojiler tanımlanmıştır:

- Sakroiliak eklem osteoartriti (28 olgu) — en sık bilateral ve orta şiddette
- İntervertebral disk eklemi patolojisi (12 olgu), özellikle lumbosakral diskte
- Pelvik kırıklar (9 olgu; en sık tuber ischii)
- Art. coxae osteoartriti (8 olgu)
- Ventral spondilozis (6 olgu, L4–L5 düzeyinde en sık)
- Acetabular kenar kırığı (2 olgu) ve koksofemoral luksasyon (2 olgu)

Bu çalışma, BT'nin özellikle radyografi ve ultrasonografi ile değerlendirilmesi güç olan lumbosakroiliak bölgede süperpozisyonu ortadan kaldırarak tanısal değeri artırdığını, ancak görüntü gürültüsü ve ışın sertleşmesi (beam hardening) artefaktı gibi sınırlılıklar taşıdığını vurgulamaktadır. Ayrıca görüntüleme bulguları ile klinik semptomlar arasındaki korelasyonun her zaman net olmadığı, bazı atlarda BT'de belirgin patoloji saptanmamasına rağmen klinik yakınmaların devam edebildiği belirtilmiştir (Ogden ve ark. 2025).

Tutko ve ark. (2002) tarafından bildirilen 12 olguluk seride, koksigeal kırıkların büyük çoğunlukla birinci veya ikinci koksigeal vertebrayı etkilediği gösterilmiştir. Bu kırıklar tipik olarak atın sırtüstü düşmesi veya geriye doğru sert bir cisme çarpması sonucu oluşur. Başlıca bulgular:

- Kuyruk köküne yakın kemiksi şişlik, tüy dökülmesi veya palpe edilebilen kırık hattı,
- Dorsal kas atrofisi (SDM/SDL), (sinir hasarının bir göstergesi olarak),
- Kuyruğu kaldırma yeteneğinde kısmi veya tam kayıp,
- Bazı olgularda dışkılama güçlüğü, perine bölgesinde duyu azalması,

Tutko ve ark. (2002) kırık parçalarının kuyruk çevresinde iç içe geçmiş sinirlere kolayca zarar verebileceğini ve bu hasarın —kırık parçaları stabil olmadığı veya sinirleri kestiği takdirde— kalıcı olabileceğini vurgulamıştır. Bununla birlikte, hasar sınırlı ve kırık bölgesi stabilse periferik sinirlerin rejenere olabileceği bildirilmiştir.

Kearney ve Trostle (2023) tarafından bildirilen olguda, travmatik düşme sonrası gelişen sakrokoksigeal luksasyon ve kırık, kronik dönemde (2 hafta sonra) kuyruk kaldırma kaybı, kuyruk kökünde krepitasyon ile kendini göstermiştir. Bu olgu, kırığın kronikleşmesi durumunda bile nörolojik fonksiyonun (idrar/dışkı kontrolü) kısmen korunabileceğini, ancak kallus oluşumu ilerledikçe kauda equina sinirlerinin sekonder olarak sıkışabileceği riskinin izlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

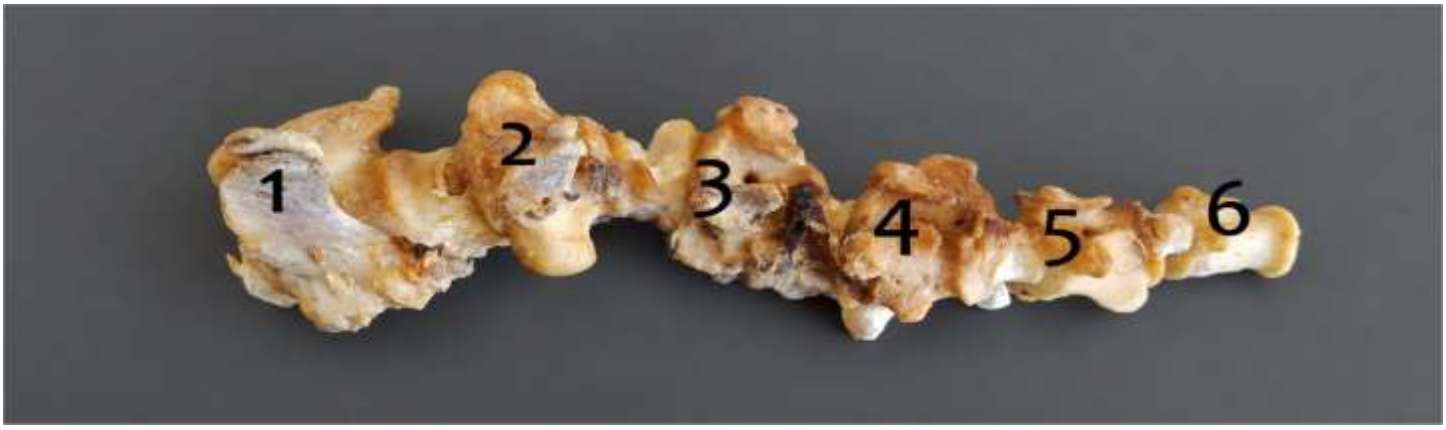
2.MATERYAL METOT

Çalışmada doğal ölüm sonrası elde edilen kuyruk omuru kemikleri kullanılmıştır. Kuyruk bölgesi usülüne uygun olarak alınmıştır. Daha sonra laboratuvar ortamında derisi ve kasları diseksiyon ile ayrılmıştır. Kuyruk omurlarını oluşturan kemikler temizlendikten sonra KOH çözeltisine konmuştur. Bu çözeltide uygun sıcaklık da bekleyen kemikler daha sonra $H_2 O_2$ (hidrojen peroksit) içine konup, bir süre sonra çıkartılmıştır. Uygun ortamda kurulması beklenen kemikler resimlenerek bulguları alınmıştır.

3.BULGULAR

Toplamda 17 adet omur saptandı. Kuyruk omurlarının sacrum'un arkasından itibaren uca doğru gidildikçe basamak basamak küçüldüğü ve anatomik çıkıntılarını kaybettiği saptandı (Şekil.1-2).

İlk 2 vertebra'nın arcus vertebralarının bulunduğu gözlendi. Fakat ilk vertebra'nın arcus vertebranın proximalde kemiksel olarak birleşmediği saptandı. Bu omurda arcus vertebraların biribirine paralel olarak proximale doğru uzandığı fakat kemiksel olarak birleşmediği gözlendi. İkinci kuyruk omurunun arcus vertebraları az gelişmiş olarak gözlendi. Bu omurların ise birleşmiş olduğu saptandı. Bundan sonraki omurlarda ise arcus vertebraların birbiriyle birleşmediği gözlendi. 3., 4. ve 5. nispeten 6. omurlarında arcus vertebralar saptandı. Daha sonraki omurlarda kemiklerin silindir bir yapıya dönüştüğü gözlendi.



Şekil 1. Atlarda ilk vertebra caudalis'ler. 1.İlk vertebra caudalis, 2.İkinci vertebra caudalis, 3. Üçüncü vertebra caudalis, 4. Dördüncü vertebra caudalis, 5. Beşinci vertebra caudalis, 6. Altıncı vertebra caudalis

Şekil 2. Atlarda son vertebra caudalis'ler. 7. Yedinci vertebra caudalis, 8. Sekizinci vertebra caudalis 9. Dokuzuncu vertebra caudalis 10. Onuncu vertebra caudalis 11.Onbirinci vertebra caudalis 12. Onikinci vertebra caudalis 13.Onüçüncü vertebra caudalis 14. Ondördüncü vertebra caudalis 15. Onbeşinci vertebra caudalis 16.Onaltıncı vertebra caudalis 17. Onyedinci vertebra caudalis.

Caudal Vertebra	**Caudal vertebra'nın boyu**	**Caudal vertebra'nın eni**
1	3,90	3,22
2	3,75	3,14
3	3,68	2,94
4	3,57	2,78
5	3,50	2,61
6	3,06	2,14
7	3,046	1,94
8	3,04	1,60
9	3,02	0,95
10	2,91	0,80
11	2,84	0,76
12	2,61	0,71
13	2,42	0,63
14	2,23	0,55
15	1,91	045
16	1,83	0,42
17	1,62	021

4.SONUÇ

ÇalışmamızdaToplamda 17 adet omur saptandı. Kaynaklarda (Dyce ve ark., 2017, König & Liebich,) atlarda 15-18 adet kuyruk omuru olduğu bildirilmiştir, çalışmamız kaynaklarla uygun olduğu belirlendi. İlk 4–5 koksigeal vertebra, işlevsel eklem çıkıntılarına (processus articulares) ve tam bir arcus vertebralis'e sahip olduğu dördüncü vertebradan itibaren laminaların dorsalde birleşmediği için arcus vertebralis eksik hale geldiği ve bu nedenle kuyruğun distal kısmında omurilik kanalı kapalı bir tüp şeklinde olmadığı bildirilmiştir (Dyce ve ark., 2017, König & Liebich, 2020 Tutko ve ark., 2002). Çalışmamızda ise ilk iki caudal omurun bu özellikleri gösterdiği gözlendi. Atlarda kuyruk vertebraları, sayıca ve morfolojik olarak değişken, kranialden kaudale doğru giderek basitleşen bir kemik dizisi olup; dorsal ve ventral kas çiftleri ile hareket ettirilir ve kemiğe yakın seyreden sinir pleksusları nedeniyle travmatik olaylarda nörolojik komplikasyon riski taşır. Sakrokoksigeal bölgenin anatomik karmaşıklığı ve büyük kas kütlesi, konvansiyonel radyografinin tanısal değerini sınırlarken, bilgisayarlı tomografi bu bölgedeki hem osseöz hem de ilişkili patolojilerin (kırık, luksasyon, osteoartrit, spondilozis) daha duyarlı biçimde ortaya konmasını sağlamaktadır. Bu teşhislerin tam olarak yapılabilmesi için atlarda kuyruk omurlarının anatomisinin çok iyi bilinmesi özellikle birinciden kademeli olarak sonuncu omura doğru değişiklikler tam olarak öğrenilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın görüntüleme sistemleriyle desteklenecek şekilde farklı hayvan türleriyle yapılması bu teşhisler için daha iyi bir kaynak oluşturacaktır.

5.KAYNAKLAR

1. **Dyce, K. M., Sack, W. O., & Wensing, C. J. G.** (2017). *Textbook of Veterinary Anatomy* (5th ed.). Elsevier.
2. **IMAIOS Vet-Anatomy.** Caudal vertebrae [Coccygeal]. IMAIOS Vet-Anatomy
3. **Kearney, E. M., & Trostle, S. S.** (2023). Inability to lift the tail in a Thoroughbred gelding. *Journal of the American Veterinary Medical Association (JAVMA)*. https://doi.org/10.2460/javma.23.07.0367
4. **Kentucky Equine Research.** A closer look at the equine spine. Kentucky Equine Research
5. **König, H. E., & Liebich, H. G.** (2020). *Veterinary Anatomy of Domestic Mammals* (7th ed.). Thieme.
6. **Ogden, N. K. E., Winderickx, K., & Stack, J. D.** (2025). Computed tomography of the equine caudal spine and pelvis. Pathological findings in 56 clinical cases (2018–2023). *Equine Veterinary Journal, 57*(5), 1279–1289. https://doi.org/10.1111/evj.14426
7. **Tutko, J. M., Sellon, D. C., Burns, G. A., Vivrette, S. L., Ragle, C. A., McConnico, R. S., & Gibbons, D.** (2002). Cranial coccygeal vertebral fractures in horses: 12 cases. *Equine Veterinary Education, 14*(4), 197–200.

TÜRKİYE KÜÇÜKBAŞ HAYVANCILIĞINDA KARAYAKA KOYUNUNUN ÖZELLİKLERİ VE BÜTÜNCÜL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DENK[1]/ Doç.Dr.Esra KAYA[2] / Zir Müh. Ömür ARDUÇ[3]

[1]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi/Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, Sağlık Bilimleri Temel Alanı, hdenk@agri.edu.tr, ORCID:0000-0003-2591-0361

[2]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi/Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, Ziraat ve Orman ve Su Ürünleri Temel Alanı, egursoy@agri.edu.tr, ORCID:0000-0002-4697-7365

[3]Amasya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, omur.arduc@tarimorman.gov.tr, ORCID:0009-0000-6594-5984

Özet

Bu çalışma, Karadeniz Bölgesi'nin yerli koyun ırklarından Karayaka koyununun Türkiye küçükbaş hayvancılığındaki önemini, popülasyon yapısını ve üretim sistemleriyle ilişkisini değerlendirmektedir. Araştırmada TÜİK verileri, TAGEM halk elinde ıslah projeleri, FAO raporları ile ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar birlikte ele alınmıştır. Karayaka koyununun, yetiştirildiği bölgenin doğal koşullarına uzun süreli adaptasyon sonucu gelişmiş, mera koşullarında yüksek performans ve çevresel faktörlere dayanıklılık sağlayan morfolojik ve fizyolojik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu özelliklerin, ırkın ekstansif ve yarı göçer üretim sistemlerine uyumunu ve sürdürülebilirliğini desteklediği görülmüştür. 2014–2023 yılları arasındaki popülasyon eğilimlerinin incelenmesi sonucunda; ekonomik koşullar, girdi maliyetleri ve destekleme politikalarının Karayaka koyunu sayısındaki değişimler üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Uluslararası raporların ırkı korunması gereken yerli genetik kaynaklar arasında göstermesi, Karayaka koyununun stratejik önemini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak Karayaka koyunu, sürdürülebilir hayvancılık ve bölgesel kalkınma açısından önemli bir yerli genetik kaynak olup, ırka yönelik koruma ve ıslah çalışmalarının devam ettirilmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Karayaka koyunu, genetik kaynak, sürdürülebilir hayvancılık, üretim sistemi

CHARACTERİSTİCS AND HOLİSTİC EVALUATİON OF THE KARAYAKA SHEEP İN TURKİYE SMALL RUMİNANT HUSBANDRY

Abstract

This study evaluates the importance of the Karayaka sheep, one of the native sheep breeds of the Black Sea Region, in small ruminant livestock production in Turkey, as well as its population structure and its relationship with production systems. In the research, data from TÜİK, TAGEM in situ breeding projects, FAO reports, and national and international academic studies were examined collectively. It has been determined that the Karayaka sheep possesses morphological and physiological characteristics developed through long-term adaptation to the natural conditions of the region where it is raised, enabling high performance under pasture conditions and resilience to environmental factors. These characteristics have been found to support the breed's adaptability and sustainability within extensive and semi-nomadic production systems. As a result of examining population trends between 2014 and 2023, it was determined that economic conditions, input costs, and support policies have influenced changes in the number of Karayaka sheep. The inclusion of the breed among native genetic resources requiring conservation in international reports highlights the strategic importance of the Karayaka sheep. In conclusion, the Karayaka sheep is an important native genetic resource in terms of sustainable livestock production and regional development, and conservation and breeding efforts directed toward the breed should be continued.

Keywords: Karayaka sheep, genetic resource, sustainable livestock , production system

GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından itibaren insanoğlu, doğal çevredeki kaynakların yanı sıra hayvanlardan da yararlanmıştır. İlk dönemlerde ağırlıklı olarak et ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılan hayvanlar, zamanla süt, yün, deri ve taşımacılık gibi farklı alanlarda da değerlendirilmiştir. Bu durum, hayvancılık faaliyetlerinin tarihsel süreç içerisinde gelişerek insan yaşamının ayrılmaz bir parçası haline gelmesine neden olmuştur (Taştan, Azaltun ve Mert, 2013). Hayvancılık, bireylerin sağlıklı ve dengeli beslenmesini sağlamak, sanayiye hammadde temin etmek, göçü önlemek ve yeni istihdam alanları yaratmak açısından çok boyutlu bir öneme sahiptir. Bu nedenle, hayvansal üretimin artırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için yönetim mercilerinin üreticiyi desteklemesi ve teşvik politikaları ile yönlendirmesi gerekmektedir. Ülkeler, hayvancılıkta kullanılan araç ve gereçleri üreticiye hibe veya destek yoluyla sağlayarak üretim alanını genişletmeyi ve ürünlerin ticarileştirilmesini teşvik etmektedir (TİGEM, 2013).

Hayvansal ürünler, barındırdığı yüksek kaliteli proteinler nedeniyle vazgeçilmez bir besin kaynağıdır ve başka besinlerle ikame edilemez. Bu ürünler, bireylerin büyüme, gelişme ve beyin fonksiyonlarının sağlıklı şekilde tamamlanmasında kritik öneme sahiptir (Çevik, 2015). Hayvancılık, tarih boyunca sadece temel gıda ihtiyaçlarını karşılamakla kalmamış, aynı zamanda iş alanları, dış ticaret kapasitesi, ülke ekonomisine katkı ve geçim sağlama gibi stratejik öneme sahip bir faaliyet hâline gelmiştir. Başlangıçta yalnızca et, süt ve taşımacılık amaçlı kullanılan hayvanlar, günümüzde sanayiye hammadde sağlama, nüfus dağılımını dengeleme, çarpık kentleşmeyi önleme ve istihdam yaratma gibi çok boyutlu işlevler üstlenmektedir. Küreselleşme ile birlikte üreticiler, yalnızca maliyet değil, kalite, hız ve verim açısından da rekabet etmek durumunda kalmıştır. Bu nedenle hayvancılık faaliyetlerinin diğer sektörlerle koordineli yürütülmesi, yem sanayisi, veteriner ilaç sanayisi, inşaat ve tarım ekipmanları üretimi gibi alanlardan destek alması önemlidir (Güven ve Yavuz, 2020).

Özellikle kırsaldan kente doğru gerçekleşen göç hareketleri, tarım ve hayvancılık faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Tarım sektörünün diğer sektörlere kıyasla daha az cazip olması, kırsal yaşamın zorlukları ve kentlerin sunduğu daha iyi yaşam koşulları, nüfusun kırsal alanlardan uzaklaşmasına neden olmaktadır (SERKA, 2017). Türkiye'de nüfus artışıyla birlikte beslenme, giyinme ve diğer temel ihtiyaçların karşılanmasında tarım ve hayvancılık sektörlerinin önemi giderek artmaktadır. Hayvansal üretim yalnızca gıda ihtiyacını karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda tekstil, ilaç ve kozmetik gibi sanayi dallarına da hammadde sağlamaktadır (Doğanay ve Orhan, 2017). Ancak kırsal nüfusun azalması ve üretim faaliyetlerinden uzaklaşılması, hayvansal üretimin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren Türkiye'de tarım ve hayvancılığı geliştirmeye yönelik çeşitli politikalar uygulanmıştır. Bu politikaların temel amacı, ülkenin kendi kendine yeterli bir üretim yapısına ulaşmasını sağlamaktır (Ünal,2004). Ancak günümüzde uygulanan politikalara rağmen, özellikle hayvansal üretimde dışa bağımlılığın tam anlamıyla azaltılamadığı görülmektedir (Mundan

vd,2017). Türkiye, doğal koşulları ve geniş otlak alanları sayesinde düşük maliyetli ve kaliteli hayvancılık için uygun bir konuma sahiptir. Yeryüzü şekilleri ve iklim özellikleri, hayvan çeşitliliğini olumlu yönde etkilemektedir. Ancak yalnızca fiziki koşullar yeterli olmayıp, hayvancılık faaliyetlerinden verimli bir şekilde faydalanmak için gerekli destek ve teşviklerin sağlanması gerekmektedir (Akça ve Bingöl, 2020).

Dünya üzerinde 1,2 milyar koyun mevcudu bulunmaktadır (FAO, 2023) Türkiye'de coğrafik dağılım ve morfolojik özellikler bakımından 45'den fazla yerel koyun ırkı mevcut olup, yaklaşık 45 milyon (TÜİK, 2025) koyun büyük oranda ekstansif koşullarda otlatmaya dayalı olarak yetiştirilmektedir. Türkiye, yaklaşık 46 milyonluk koyun sayısı varlığı (TUİK, 2025) ile Avrupa Birliği ülkelerinde ve dünyada önemli bir yere sahiptir. 2021–2025 yılları arasındaTürkiye'de hayvancılığın yeniden büyüme eğilimine girdiği görülmektedir. 2021 yılında büyükbaş hayvan sayısı 16,1 milyon, küçükbaş hayvan sayısı 44,3 milyon baş ve toplam hayvan varlığı 60,7 milyon baş civarındaydı. 2022 yılında bu sayılar sırasıyla 18,1 milyon büyükbaş, 54,1 milyon küçükbaş ve toplam 72,2 milyon baş olarak kaydedilmiştir. 2023 yılında büyükbaş hayvan sayısı 18,0 milyon, küçükbaş 57,5 milyon baş ve kümes hayvanları ise 398 milyon adet olarak görülmüştür. Toplam hayvan sayısı ise yaklaşık olarak 74,9 milyon baş olarak tahmin edilmiştir. 2024 ve 2025 yıllarında ise büyükbaş hayvan sayıları sırasıyla 16,99 ve 17,71 milyon baş, küçükbaş hayvan sayıları 54,9 ve 57,87 milyon baş ve kümes hayvanları ise 384 ve 394 milyon adet civarında olmuştur. Genel hayvan varlığı ise 76,3 milyon ve 80,0 milyon baş olarak gerçekleşmiştir. Türkiye Büyükbaş ve Küçükbaş hayvan sayısı bakımından Avrupa'da birinci sıradadır(TÜİK,2025).

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de koyun ve koyun ürünlerinin ekonomik ve sosyal açıdan insan yaşamına büyük katkısı vardır. Koyunlar, düşük kalitede olan kaba yemleri yüksek besleme değerine sahip hayvansal ürünlere dönüştürmektedirler. Diğer hayvan türleri ile karşılaştırıldığında tarımsal yapı içerisinde özel bir yere sahip olan koyun; kanaatkâr, yüksek adaptasyon yeteneğine sahip, hastalıklara ve soğuğa dayanıklı ve çok verim yönlü hayvan olması nedeniyle dünyanın hemen her yerinde yetiştirilmektedir (Akçapınar vd,2002; Kaymakçı ve Sönmez, 1996). Koyunlar, genel olarak çok yönlü verimli ve doğaya adaptasyonu iyi olan, tarımsal ürün artıklarını ve tarım dışı alanlardaki (mer'a, nadas gibi) bitki örtüsünü et, süt ve yapağı ürünlerine dönüştüren, insan beslenmesine ve ülke ekonomisine katkıda bulunan hayvanlardır. (Kaymakçı ve Sönmez, 1996). Türkiye'nin sosyo-ekonomik yapısı, iklimi, topoğrafik yapısı ve bitki örtüsüne göre şekillenen alt yapısı, koyun yetiştiriciliğine elverişli bir ortam oluşturmaktadır. Bu ortamda farklı bölgelerde hatta yörelerde birçok yerli koyun ırkı yetiştirilmektedir (Karaca ve Cemal, 1998).

Türkiye'de küçükbaş hayvan varlığında son yıllarda meydana gelen sayısal değişimler, Karayaka koyununun ülke genelindeki popülasyon içindeki konumunun yeniden ele alınmasını gerekli kılmaktadır. TÜİK'in 2014–2024 dönemine ait verileri dikkate alındığında, bu ırkın toplam koyun sayısı içerisindeki payına ilişkin değerlendirmeler önem kazanmıştır. Çeşitli araştırmalarda Karayaka koyununun, Türkiye koyun varlığının

yaklaşık %3,5–4,0'ünü oluşturduğu bildirilmektedir. Bu düzey, özellikle bölgesel üretim yapılarının sürekliliği ve yerli genetik kaynakların korunması bakımından stratejik bir değer taşımaktadır. Resmî istatistikler ile bilimsel çalışmalarda belirtilen oranların birlikte incelenmesi, Karayaka koyununun ulusal sürü yapısı içerisinde zaman içinde büyük değişim göstermeyen bir paya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Karayaka koyunu üzerine yürütülen bilimsel çalışmalar; üreme performansı, besi ve karkas verimi, yapağı nitelikleri, davranış özellikleri, kan biyokimyası, iskelet yapısı ve çevresel koşullara uyum mekanizmaları gibi geniş bir araştırma alanını kapsamaktadır. Elde edilen bulgular, bu ırkın hem verim özellikleri hem de fizyolojik dayanıklılığı açısından dikkat çekici özellikler taşıdığını ortaya koymaktadır. Sakız (Chios), Kıvırcık ve Ghezel gibi bazı yerli ve yabancı koyun ırklarıyla belirli düzeylerde benzerlikler göstermesine karşın, Karayaka koyunu genetik bütünlüğünü koruyan özgün bir yerli ırk niteliği taşımaktadır. Bu özelliği nedeniyle Karayaka ırkı, uluslararası kaynaklarda korunması gereken yerel genetik kaynaklar arasında değerlendirilmektedir (FAO, 2021).

Türkiye'de küçükbaş ve büyükbaş hayvan varlığı 2014–2024 yılları arasında ekonomik koşullar, yem maliyetleri, iklim değişiklikleri ve devlet destekleri gibi faktörler nedeniyle dalgalı bir seyir izlemiştir.

Tablo 1.Türkiye Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Varlığı

Yıl	Büyükbaş (baş)	Küçükbaş (baş)	Büyükbaş %	Küçükbaş %	Yıllık Değişim
2014	14,222,146	41,485,180	25.5%	74.5%	—
2015	14,107,468	41,924,100	25.%	74.8%	+1.05%
2016	13,994,316	41,329,232	25.2%	74.8%	−1.43%
2017	14,494,522	44,312,308	24.6%	75.4%	+7.18%
2018	17,042,832	46,117,399	27.0%	73.0%	+4.06%
2019	17,872,241	48,481,479	26.9%	73.1%	+5.1%
2020	18,157,005	54,112,626	25.1%	74.9%	+11.68%
2021	17,850,543	57,519,204	23.7%	76.3%	+6.27%
2022	16,978,388	56,265,750	23.1%	76.9%	−2.17%
2023	16,521,125	52,363,410	24.0%	76.0%	−6.94%
2024	**15,500,000**	**53,510,000**	**23.7%**	**76.3%**	**−4.80%**

TÜİK.(2014-2024)

Küçükbaş oranı, 2014'te %74.5 iken, 2024'te %76.3 seviyesine çıkmıştır. Bu, küçükbaş hayvancılığın son yıllarda daha fazla ön planda olduğunu ve gelişen küçükbaş üretim sistemi ile bu oranın arttığını gösteriyor. Küçükbaş hayvancılığın önemi bu verilerle daha da vurgulanmaktadır. Çünkü küçükbaş hayvan oranı hala %76.3 seviyelerinde kalmaktadır. Bu durum Türkiye'de küçükbaş hayvan üretiminin önemli bir şekilde hem ekonomik hem de sosyal bakımından ne kadar gerekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.Türkiye'de Küçükbaş Hayvan Varlığı (2014–2024)

Yıl	Koyun (baş)	Keçi (baş)	Toplam Küçükbaş	Koyun Oranı (%)	Keçi Oranı (%)	Yıllık Değişim (%)
2014	31,140,244	10,039,000	41,179,244	75.6	24.4	-
2015	31,507,934	10,416,000	41,923,934	75.2	24.8	+1.81
2016	30,983,933	10,316,000	41,299,933	75.0	25.0	-1.49
2017	33,677,636	10,722,000	44,399,636	75.9	24.1	+7.5
2018	35,194,972	10,986,000	46,180,972	76.2	23.8	+4.0
2019	37,276,050	11,205,000	48,481,050	76.9	23.1	+4.9
2020	42,126,781	12,174,000	54,300,781	77.6	22.4	+12.0
2021	45,177,690	12,341,000	57,518,690	78.5	21.5	+5.9
2022	44,687,888	12,347,000	57,034,888	78.3	21.7	-0.8
2023	42,060,470	12,163,000	54,223,470	77.5	22.5	-4.9
2024*	41,220,000	12,290,000	53,510,000	77.0	23.0	-1.3

TÜİK (2014–2024)

Tablo 2 incelendiğinde, Küçükbaş varlığımız 2021 yılında 57,518,690 baş olarak en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. 2020 yılında ise küçükbaş sayımız oransal olarak 12.4 artarak 54,300,781 baş olmuştur.

Tablo 3.Türkiye'de Karayaka Koyunu Popülasyonu Tahmini (2014–2023)

Yıl	Türkiye Koyun Sayısı	Karayaka Oranı (%)	Karayaka Sayısı (baş)	Kaynak
2014	31,140,244	3.5%	1,089,908	TÜİK (2014); Kılıç (2022)
2015	31,507,934	3.6%	1,134,285	TÜİK (2015); Duru (2024)
2016	30,983,933	3.8%	1,177,389	TÜİK (2016)
2017	33,677,636	3.9%	1,312,332	TÜİK(2017); Yıldız (2007)
2018	35,194,972	4.0%	1,407,799	TÜİK (2018)
2019	37,276,050	4.1%	1,528,316	TÜİK(2019);TAGEM (2020)
2020	42,126,781	4.2%	1,769,324	TÜİK (2020); USDA (2023)
2021	45,177,690	4.1%	1,852,284	TÜİK (2021); Kırıkçı (2020)
2022	44,687,888	3.8%	1,697,139	TÜİK (2022); Bozma vd.(2023).
2023	42,060,470	3.7%	1,556,237	TÜİK (2023); FAO (2021)

Tablo 3, incelendiğinde en yüksek Karayaka koyunu popülasyonu 2021 yılında 1,852,284 baş olarak görülmüştür.2023 yılında ekonomik kriz, yem maliyetleri ve ithalat politikaları nedeniyle belirgin düşüş yaşanmıştır. Karayaka koyunu popülasyonu da bu düşüşten etkilenmiştir. verileri yeniden toparlanma olduğunu göstermektedir. TÜİK verileri ve literatürde belirtilen Karayaka oranları (%3.5–4.0) kullanılarak yıllık tahmini popülasyon hesaplamaları yapılmıştır.

KARAYAKA KOYUNU

Karayaka koyunu, Türkiye'nin Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'ne ait yerli bir koyun ırkı olup, adını Samsun ilinin Terme ilçesine bağlı Karayaka yöresinden almaktadır. Yayılma Alanı olarak, Sinop'tan Trabzon'a kadar Karadeniz kıyı ve dağlık kesimleri ile Orta Karadeniz'in İç Anadolu ile kesişen Tokat ve Amasya çevresidir.

Karayaka koyununun verim yönü ise, Kombine, et, yapağı ve süttür. Karayaka koyun ırkının vücut yapısıgenel olarak küçüktür. Bedeni yüksekliğine nazaran uzun, geniş ve derindir. Baş küçük-orta yapılı, dar ve kaba görünüşlüdür. Koyunların alın üstünde kakül bulunur. Boynu kısa ve kalın, omuzlar dar, bacaklar ise nispeten kısadır .

Karayaka koyun ırkında beden rengi genel olarak beyazdır. Daha çok baş ve boyun bölgesinde olmak üzere çeşitli büyüklüklerde kahverengi ve siyah lekelere de rastlanılır. Koçlar baştan öne doğru kıvrımlarla açılan kalın ve kuvvetli bir boynuza sahiptir. Dişileri ise genel olarak boynuzsuzdur. Kuyruk yağsız ve uzundur olup, nadiren dip kısmında yağ kitlesi bulunur. Karayaka koyunlarında meme az gelişmiş ve bezseldir. Karayaka ırkına özgü ayırıcı özellikler olarak, Tırnak ve bacak yapıları sağlamdır, engebeli ve eğimli meralarda oldukça hızlı hareket ederler. Sevk ve idareleri ise oldukça zordur. En kaba Yapağılı koyun ırkımızdır. Yapağısı, kaba, uzun ve keçeleşme kabiliyetinin düşük olması sebebiyle yatak ve yorgan yapımında daha çok tercih edilir. Yapağı özelliği yağmurun deriye inmeden atılmasında özel bir avantaj sağlar. Koyunların alnındaki kaküller yapağının uzun olduğu dönemde görmeyi engelleyecek derecede gözleri kapatabilir. Karakaya koyununun eti ise oldukça lezzetlidir(GTHB-TAPGEM,2009).

Karaya koyun ırkının yetiştirme şartları genellikle dağlık, ağaçlık, nemli ve soğuk çevre koşullarıdır.Bu ırkın yetiştiriciliğinde yaylacılık geleneği oldukça yaygındır. Yılda iki kırkım uygulanabilmektedir. Karayaka koyunlarının yapağı kılları uzun ve kalındır. Yapağı gömleği ise çeşitli kalınlıktaki kıllardan oluşmuştur. Kıllar uzun olduğundan yılda iki kırkım bile yapılabilir. Karayaka koyununda kırkım sonu canlı ağırlığı, erkek toklu sürüsünde ortalama 49.0 kg bulunmuştur(Koyuncu vd.,1999). Karayaka ırkında vücut ölçüleri erkeklerde cidago yüksekliği 66cm,dişilerde ise 62cmdir. Vücut uzunluğu erkeklerde 71cm,dişilerde 63cmdir.Doğum ağırlığı erkek kuzularda 3.50kg,dişiler kuzularda ise 3.20kg dir. Karayakada ergin canlı ağırlık erkeklerde 55kg,dişilerde ise 40kg dır. Kuzularda günlük canlı ağırlık artışı kuzularda 220 gr.dır. Karayaka koyunlarında verim özellikleri olarak, laktasyon süt verimi 40-50kg, laktasyon süresi 100-160gün, yapağı verimi 2-3.5kg, damızlık yaşı 18ay olup, kuzu verimi ise 1.1 dir(GTHB-TAPGEM,2009).

Bu ırkın kökeni, bölgedeki geleneksel koyunculuk kültürü ve Karadeniz'in nemli, ılıman iklimine uyum sağlamış yerel hayvan popülasyonlarına dayanmaktadır. Karayaka koyununun tarihi, bölge halkının yüzyıllar boyunca yürüttüğü küçükbaş hayvancılık uygulamalarıyla şekillenmiştir Karayaka koyun ırkının en az 300–400 yıldır kesintisiz bir şekilde bölgede yetiştirildiğini ve yerel halk tarafından hem temel geçim kaynağı hem de geleneksel üretim faaliyetlerinin bir parçası olarak kullanıldığını ortaya koymaktadır. Bu uzun süreli yetiştiricilik, ırkın hem genetik çeşitliliğinin korunmasına hem de bölgeye özgü ekolojik koşullara yüksek adaptasyon yeteneği kazanmasına katkı sağlamıştır(Aşkın,1981).

Karayaka koyunu Anadolu'nun ince kuyruklu koyun grubu içinde yer almakta olup, bölgeye özgü değerli bir genetik kaynaktır(Dellal,2011).Karayaka koyununun küçük aile işletmeleri ve meraya dayalı üretim sistemlerinde başarılı olmasının temel nedenlerinden biri, yüksek adaptasyon kapasitesine sahip olmasıdır. Bu ırk, Karadeniz Bölgesi'nin yıl boyunca değişken ve zorlu iklim koşullarına karşı büyük bir dayanıklılık göstermektedir. Özellikle nemli iklim, sık yağışlar, serin yaz ve soğuk kış şartları gibi çevresel değişkenlere karşı koyunun sağlam fizyolojisi ve çevresel uyum yeteneği, hem hayvan refahını hem de üretim performansını korumasını sağlamaktadır (Kılıç, 2022).

Karayaka koyunu, ekstansif yani mera tabanlı üretim sistemlerinde yüksek verimlilik gösteren bir ırktır. Yapılan araştırmalar, bu ırkın davranışsal özelliklerinin doğal otlatma sistemleriyle uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Karayaka koyunları günlük zamanlarının yaklaşık %62'sini otlama faaliyetlerine ayırmaktadır. Bu yoğun otlama davranışı, mera kaynaklarının etkin kullanımını ve ot verimliliğini artırmakta, aynı zamanda hayvanların beslenme ihtiyaçlarının doğal yollarla karşılanmasını sağlayarak üretim maliyetlerini düşürmektedir. Dolayısıyla Karayaka koyunu, hem sürdürülebilir kırsal üretimi hem de ekstansif yetiştiricilik sistemlerinin verimliliğinin artırılması açısından önemli bir yerli ırk olarak öne çıkmaktadır(Ateş,2023).

Karayaka koyunu yerli koyun ırklarımızdan birisidir. Bu ırk Sinop'tan Karadeniz'e kadar uzanan Karadeniz sahil şeridi ile Tokat ve Amasya'da yetiştirilmekte olup mevcut koyun varlığımızın %3'ü bu ırktan oluşmaktadır.Karayaka koyun ırkı kompakt vücut yapısı ve ince kuyruk morfolojisi ile özellikle dağlık ve engebeli bölgelerde yüksek performans gösterir. (Akçapınar ve Özbeyaz,1999).

Yağsız, ince-uzun kuyruklu olan Karayaka koyun ırkının vücudu beyaz olup baş, kulak ve bacaklarda siyah lekeler vardır. Kıvırcık koyunu gibi iyi kaliteli et verimi mevcuttur. Yapağı yönünden ise kaba ve uzun bir yapağı üretmektedir. Karayaka koyunu , öncelikle et daha sonra süt ve yapağısı için yetiştirilir (Kaymakçı ve Sönmez, 1996).

Karayaka yerli koyunlar arasında en kaba yapağıya sahip olan bir ırktır. Yapağısı düz ve uzundur. Yapağıda ondülasyon yok denecek kadar azdır; hatta ondülasyon çok zor farkedilir. Medullasyon durumu tüm kıllarda görülmekte olup, sadece tek sıralı değil, iki ve hatta üç sıralı olanlarada çok rastlanır. Bu tip kıllardan oluşan yapağıda keçeleşme ve yığılma meydana gelmediğinden, Karayaka koyununun yapağısı yatak ve yorgan iç malzemesini oluşturmakta kullanılır. Yataktaki işlenmiş yünün bozulmamasından dolayı, yaylanma ve esneme özelliğinin korunması iyi olduğundan dolayı halk tarafından çok tutulmaktadır. Bu yönde talebin çok olması nedeniyle fiyatı diğer koyun yapağılarına göre bu bölgede oldukça yüksektir. Yapağı, diğer liflerin hiçbirinde bulunmayan incelik, uzunluk, mukavemet, elastikiyet ve kıvrım gibi özelliklerin yanında, ısıyı iyi tutma, rutubet alma ve keçeleşme yeteneği gibi üstün özellikleri ile giyim tekstil niteliğini gösteren ve vücut -çevre ilişkilerini en iyi şekilde ayarlayan bir dokuma ham maddesidir (Sarı,1982). Karayaka koyun ırkı Romanya, Macaristan ve

diğer Avrupa ülkelerinde yetiştirilen ve Çakkel denilen bir koyun ırkına benzerlik gösterdiği ve ortalama olarak 45 kg canlı ağırlığında olan bir koyundur (Tuncel, 1992). Bu koyun ırkında morfolojik özellik olarak vücut beyaz renkli ve kaba yapağı ile örtülüdür. Siyah ve kahverengi olanlara da rastlanılmaktadır. Esas ırkı temsil eden beyaz grupta iki tip görülür; Bu iki tip Çakrak ve Karagöz olarak adlandırılır (Sönmez 1978, Özcan1990, Tuncel 1992). Karayaka anaç koyunlarında canlı ağırlık 35-40 kg, kirli yapağı verimi 2.0-2.5 kg ,lüle uzunluğu 20-30 cm, yapağı kalitesi 32-36 'S (E-F) olup, yapağı randımanı ise %64-68'dir (Akçapınar, 1994).

Şekil 1.Karayaka koyun sürüsü(Ateş,2023)

Karayaka koyunlarda özellikle sahil kesiminde vücut iç sıcaklıkları (rektal sıcaklık) ve dakikadaki solunum sayısı değerleri yayladaki değerlerden önemli düzeyde yüksek bulunurken, vücut yüzeyi sıcaklık değeri arasında farklılık bulunmamıştır. Rektal sıcaklık, Solunum sayısı ve vücut ısısı gibi fizyolojik parametrelerİ,mevsimlere göre hayvanlarda ölçülen dakikadaki solunum sayısı değerlerinin en düşük 40 ve en yüksek 81 arasında değiştiği,

ve yazın çok sıcak olan ova alanlarındaki yetiştiriciler, koyunlarını yaylalara çıkarmakta ve soğukların başlaması ile yeniden ovaya veya sahile inmektedirler. Yetiştiricilerin bu hareket tarzları Karayaka koyun ırkının en düşük değerin sıcaklıkların düşük olduğu kış aylarında en yüksek değerin ve ortalamanın ise yaz aylarında ortaya çıktığı tespit edilmiştir(Ateş,2023).

Karayaka koyunlarında rektal sıcaklık ilkbaharda 38.85 C°, yaz aylarında 39.15C°, sonbaharda 39.01 C° ve kış aylarında ise 38.63 C°dir. Bir dakikadaki solunum sayıları ise ilkbaharda 53.88, yaz aylarında 69.17, sonbaharda 51.67 ve kışın ise 48.84 olmuştur. Vücut sıcaklık değerleri ise ilkbaharda 36.11 C°, yaz aylarında 36.21 C°, sonbaharda 36.18 C°, kışın ise 36.18 C° olmuştur. mevsimler arasında çevre sıcaklığına bağlı olarak değiştiği belirlenmiş olup, koyunların ekstansif ve yarı göçer sistemde sıcaklık nem indeks (SNİ) değerleri bakımından ise sahilde 50.15 ve yaylada 51.11değerlerinde stres oluşturmayacak şekilde hareket ettirildiklerinde ve barındırıldıkları alanlarda sıcaklık nem indeksi değerinin stres oluşturacak düzeye ulaşmadığı tesbit edilmiştir(Ateş.2023) . Bu nedenle farklı koşullarda hayvanların davranış biçimlerini anlamak, çevre dostu bir yönetim stratejisi ve karlı hayvansal üretim faaliyetini sürdürmek açısından önemlidir (Silva ve Filho, 2021).

Koyunlar sıcak kanlı hayvanlar olduklarından vücut sıcaklıklarını değişik çevre koşullarında sabit tutmak için davranışlarında ve metabolik faaliyetlerinde değişiklikler oluşmaktadır (Redfearn vd., 2023).

Ekstansif üretim koşullarında hayvanların konfor alanı dışındaki her değişikliğe karşı doğal savunma mekanizmalarını ortaya koyma biçimlerinin öğrenilmesi gereklidir. Ekstansif üretim sistemlerinde, hayvan davranışlarının belirlenmesi, özellikle doğumdan sonra uygun ve yeterli analık kabiliyeti, güçlü bir ana yavru bağının kurulması kuzu yaşamı için önemlidir(Ateş,2023)

Yerli ırklarımızdan Karayaka koyun ırkı, daha yoğun Orta Karadeniz Bölgesinde yaşamaya yüksek oranda adapte olmuş ve bu bölgede simge haline gelmiş bir ırkımızdır. Karayakanın yetiştiriciliği rakımı 3200 metreyi bulan yaylalar ile sahil kesimde yapılmaktadır. Sahil kesiminde aşırı sıcaklara uyum yeteneğinin zayıf olduğunu göstermektedir. Ayrıca sıcak yaz aylarında sahilde ya da sahile yakın alanlarda koyunlarını barındırmak durumunda kalan yetiştiriciler kuzuların gelişiminden ve damızlık koyunların üreme performanslarından tatmin edici sonuçlar alamadıklarını belirtmektedir(Ateş,2023)

Hayvanların maruz kaldıkları stres faktörlerine ,özelliklede açlık, susuzluk, yırtıcı hayvan ve hastalık taşımalarına karşın geliştirmiş oldukları davranış biçimlerinin yetiştiriciler tarafından bilinmesi, hayvan refahı ve işletme ekonomisi açısından faydalı olacaktır (Pritchard vd., 2021, Leu vd., 2021). 100 baş Karayaka erkek kuzusu, ortalama 31.14 kg canlı ağırlıkta besiye alınmış olup,64 günlük besi sonunda ortalama 50.02 kg canlı ağırlığa ulaştığı ve bu süre içerisinde kuzular ortalama 18.88 kg canlı ağırlık kazandıkları, günlük canlı ağırlık artışı ortalamalarının ise 295g olduğunu tespit etmiştir(Oğan,2000). Ayrıca Karayaka kuzularında 1 kg canlı ağırlık

artışı için tüketilen kuru yonca, kesif yem ve toplam yem değerlerini ise sırasıyla 1.61, 5.38 ve 6.99 kg olarak belirlemiştir(Oğan,2000).

Karayaka koçlarda testis çevresi, erkek hayvanın üreme kapasitesini belirleyen önemli bir parametredir. 27.31 cm testis çevresi, Karayaka koçlarının gelişmiş üreme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Genel olarak Karayaka koçlarında büyük testis çevresinin daha fazla sperm üretttiğini ve daha iyi dölleme kapasitesine sahip olduğunu tespit etmiştir(Demir,2000). Karayaka koyun ırkı, genetik olarak Chios'a(sakız koyunu), morfolojik olarak Kıvırcık koyununa ve adaptasyon olarak Ghezel koyununa, kompakt yapı bakımından ise shetland koyun ırkına benzemektedir(EAAP,2019-Aydın,2024-Popov,2022-O'Brien,2017). Karayaka koyunlarında döl tutma oranının %86.40 ve kuzulama oranının %113 olduğunu , ırkın döl verimi yönünden ise orta-yüksek bir performans değerine sahip olduğunu belirlemiştir(Bağ Keleş,2016).

Karayaka koyunlarının günlük yaşamında gözlemlenen %62.4'lük bir oranla otlatma davranışı, Karayaka koyunlarının günlerinin büyük bir kısmını otlama ile geçirdiğini göstermektedir. Bu durum ırkın mera sistemine adapte olduğunu ve ekstansif üretim sisteminde verimli çalıştığını ortaya koymaktadır. %21.8 oranındaki dinlenme davranışı ise koyunların günlük aktivite sürelerinin bir kısmını dinlenerek geçirdiklerini ve bu sürenin fizyolojik gereksinimlerini karşılama açısından önemli olduğunu gösterir. %10.5'lik geviş getirme oranı ise koyunların yemlerini sindirip, tekrar ağızlarına alarak sindirim sistemlerini etkin bir şekilde çalıştırdıklarını göstermektedir.%5.3 sosyal davranış oranı ise Karayaka koyunlarının sosyal etkileşime girme sıklığının oldukça düşük olduğunu fakat yine de sürü içerisinde güvenli ve sağlam bir yapı oluşturduklarını gösterir. Sosyal etkileşimlerin sınırlı olması, koyunların dış etkenlere karşı daha bağımsız ve dayanıklı bir şekilde hareket etmelerini sağladığını tespit etmiştir(Ateş,2023).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin çayır-mera koşulları , geleneksel yetiştiricilik anlayışı ve halkımızın beslenme alışkanlıkları gibi sebepler, küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinin gelişmesine ve sürekliliğine katkı sağlamıştır. Bu olumlu durumun sürdürülebilir hale gelmesi için , özellikle yetiştiricilerimize yönelik , konu ile ilgili eğitimler verilmeli ve köylere dönüşleri teşvik edilerek, devlet desteklemelerinin devamı sağlanıp, yerinde denetim mekanizması yapılması gerekmektedir. Ayrıca yetiştirildikleri alanlardaki meraların bilinçli ve planlı bir şekilde kullanılması ve meraların kaliteli ,vitamin, mineral yönüyle doğal gübrelerle zenginleştirilip sürdürülebilir hale getirilmesi gerekmektedir. Karakaya koyununun yetiştirme alanı, mevcut durumu ve önemini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, bölgeye uyum sağlamış, hastalıklara ve kötü şartlara dirençli olan bu yerli koyun ırkımız, değerli bir gen kaynağımızdır. Bundan dolayı, Karayaka koyunu potansiyeli ve özellikleri bakımından ülke hayvancılığında önemli bir yere sahiptir. Karayaka koyunu hakkında bahsettiğimiz hususlar dikkate alındığında çok değerli bir yerli gen kaynağımız olduğu aşikardır. Nasıl ki Atalarımız bu ırkı bizlere tam olarak neslini

koruyup, yaşatıp bu günlere kadar getirebildiler ise bizlerde gelecek nesillere aynı duyarlılıkla bu süreci devam ettirebilmeliyiz(Denk,2022).

Sonuç olarak, Karayaka koyunu ,verim yönüyle et, süt ve yapağı gibi kombine verimli olması ,yetiştirildiği bölgelerde tercih edilmesi, melezleme çalışmalarında kullanılması , bölgenin coğrafi ve iklim şartlarına adaptasyonunun yüksek olması, beslenmede yemi kanaatkar kullanması, paraziter ve diğer hastalıklara karşı dirençlilik göstermesi ve potansiyel yerli gen kaynağımız olması gibi faktörlerden dolayı Türkiye hayvancılığında ve ekonomisinde önemli bir yere sahiptir.

KAYNAKLAR

Akçapınar, H. (1994). Koyun Yetiştiriciliği. Medisan Yayınevi, Ankara

Akçapınar,H.,Özbeyaz, C.(1999). Hayvan Yetiştiriciliği Temel Bilgileri. Kariyer Matbaacılık. Ankara. Türkiye

Akçapınar, H., Ünal, N., Atasoy, F., Özbeyaz, C. ve Aytaç, M. (2002). Karayaka ve Bafra (Sakız x Karayaka G1) Koyunlarının Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Şartlarına Uyum Kabiliyeti. Lalahan Hay. Araşt. Derg., 42(1):11-24.

Akça, H., & Bingöl, F. (2020). *Türkiye'de hayvancılık faaliyetlerinin yapısı veekonomik önemi*. Ankara: Tarım ve Orman Yayınları.

Ateş, A.(2023).Ekstansif Üretim Koşullarında Karayaka Koyunu Davranış Biçimlerinin Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. Samsun

Aşkın, Y.(1981). *Karayaka koyunu üzerine araştırmalar*. Ziraat Fakültesi Yayınları.

Aydın, K. B. (2024). Review of sheep breeding and genetic research in Türkiye. *Frontiers in Genetics*.

Bağ Keleş, B. (2016). Karayaka ırkı koyunlarda üreme mevsimi dışında östrüs siklusunun uyarılması ve dölverimi üzerine etkileri.Yüksek lisans tezi, Samsun

Bozma, G., Ertan, K., & Yılmaz, A. (2023). Türkiye'de küçükbaş hayvancılıkta yıllık değişimlerin ekonomik etkileri. *Tarım Ekonomisi Dergisi, 29*(2), 112–125.

Çevik, H. (2015). *Hayvancılık ve tarımsal üretim ilkeleri*. Ankara: Tarım Yayınları

Dellal, G. (2011). *Türkiye'de küçükbaş hayvancılığın yapısı ve sürdürülebilirliği*. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Yayınları.

Demir, F. (2000). *Karayaka toklularında testis özelliklerinin döl verimine etkisi* (Yüksek lisans tezi). Tokat

Denk, H.(2022).Karakaş koyunu, Karadeniz 11th İnternational Conference on Applied Sciences,Rize

Doğanay, H., Orhan, F. (2017). *Tarım coğrafyası*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi

Duru, A. (2024). *Yerleşik ve yarı göçer üretim sistemlerinin hayvan refahına etkileri* (TAGEM Araştırma Raporu). Tarım ve Orman Bakanlığı.

EAAP.(2019). *European Society of Animal Genetics Annual Proceedings*.

FAO. (2021-2023). *Global farm animal genetic resources report*. Food and Agriculture Organization

GTHB- TAPGEM (2009).Türkiye Evcil Hayvan Genetik Kaynakları. Ankara

Güven, A., Yavuz, S. (2020). Kırsal bölgelerde hayvancılık faaliyetlerinin stratejikönemi. *Tarım Ekonomisi ve Politikaları Dergisi, 12*(2), 80–90.

Karaca, O.,Cemal, İ.(1998). Batı Anadolu Koyunculuğunda Genetik Kaynakların Korunma ve Kullanımı. Ege Bölgesi I. Anonim,Tarım Kongresi, Aydın

Kaymakçı, M., Sönmez, R.(1996). İleri Koyun Yetiştiriciliği. Ege Üniversitesi Basım Evi, Bornova-İzmir.

Kılıç, M. (2022). *Organik yetiştirme koşullarında Karayaka koyunlarının verim özellikleri*,Yüksek lisans tezi. Tokat

Kırıkçı, K. (2020). Genetic diversity and relationship among indigenous Turkish Karayaka sheep subpopulations. *Archives of Animal Breeding*.

Koyuncu,M.,Duru,S.,Erdoğan.T.(1999). Karayaka erkek tokluların yapağı verim özellikleri. Hayvansal Üretim 39-40: 24-29

Leu, S.T., Quiring, K., Leggett, K.E.A., Griffith, S.C., 2021. Consistent behavioural responses to heatwaves provide body condition benefits in rangeland sheep. Applied Animal Behaviour Science,234, 105204.

Mundan, D.,Çiçek, H.,Demir, P.(2017). Türkiye'de hayvancılık politikalarının değerlendirilmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(3), 230–240.

O'Brien, M. (2017). Morphological comparison of Scottish Blackface and Shetland sheep. *Journal of Agricultural Breeding*.

Oğan,M.(2000).Karayaka erkek kuzuların besi performansı ve karkas özellikleri. Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi.40(2),1-8

Özcan, L.(1990). Koyunculuk. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Seri No: 15, Ankara

Popov, D. (2022). Comparative morphology of Eurasian native sheep breeds. *Balkan Livestock Journal*.

Pritchard, C. E., Williams, A. P., Davies P., Jones, D., Smith, A. R.(2021). Spatial behaviour of sheep during the neonatal period: Preliminary study on the influence of shelter. Animal The international journal of animal biosciences, 15,100252.

Redfearn, A., Janodet, E., McNally, J., Brewer, H., Doyle, E., Doyle, R., Schmoelzl, S.(2023). Postnatal maternal behaviour expression depends on lambing difficulty in Merino ewes. Theriogenology, 196, 31,36

Sarı, O. (1982). Yün Liflerinin Oluşumu ve Yapısı. Ege Üniv.Zir.Fak. Yayın No: 420, İzmir

SERKA. (2017). *Hayvancılık sektörü raporu*. Serhat Kalkınma Ajansı

Silva, T.P.S, and Filho, A.L.A.(2021). Sheep and goat feeding behavior profile in grazing systems. Scientiarum Animal Sciences, 43-51265.

Sönmez, R. (1978). Koyunculuk ve Yapağı. Ege Üniv.Zir.Fak. Yayın No:108, İzmir

TAGEM. (2018–2023). *Küçükbaş halk elinde ıslah projeleri yıllık raporları*. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü.

TİGEM.(2013). *Hayvansal üretim vehayvancılık raporu*. Ankara: TİGEM Yayınları

Taştan, K., Azaltun, M., & Mert, H. (2013). Hayvancılığın tarihsel gelişimi ve ekonomik önemi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19(2), 115–120.

Tuncel, E. (1992). Küçükbaş Hayvan Yetiştirme. Uludağ Üniv. Zir.Fak. Ders Notları No: 23, Bursa

TÜİK, (2014-2025). Hayvancılık İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&loca le=tr, Erişim tarihi: 10.09.2026

USDA. (2023). *Global livestock outlook*. United States Department of Agriculture.

Ünal, V. (2004). Türkiye'de tarım politikaları ve hayvancılık sektörü. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(2), 255–268

Yıldız, M. (2007). Karayaka koyunu morfolojik varyasyon analizi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*

SOĞAN KABUĞUNDAKİ CEVHER; KUERSETİN VE EKSTRAKSİYONU

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

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

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

Özet

Reaktif oksijen türlerinin günümüzde artış gösteren kanser ve çok sayıda kronik hastalık vakalarında önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Buna bağlı olarak, bu sorunlarla mücadelede hayati öneme sahip olan antioksidanların insan sağlığı alanındaki kullanımına duyulan ilgi giderek artmaktadır. Kuersetin, polifenolik bir flavonoid ve doğal bir pigmenttir; bağışıklığı güçlendirme, kalp sağlığını koruma, kan basıncını düzenleme, kolesterolü düşürme, inflamasyonu azaltma ve çeşitli kanser türlerine karşı koruma sağlama gibi özellikleri sayesinde sağlık sektöründe kullanılan önemli bir ikincil metabolittir. Aynı zamanda bitkisel kökenli bir gıda takviyesi olarak da mevcuttur. Bir biyoflavonoid olan kuersetin, pigment ve aroma verici özellikleriyle dikkat çeker. Kırmızı (veya mor) soğan kabuklarında yüksek konsantrasyonlarda bulunur; bilimsel çalışmalar, soğan kabuklarının iç kısımlara kıyasla 30-40 kat daha fazla kuersetin içerdiğini ortaya koymuştur. Yüksek saflıkta ve yüksek verimle kuersetin elde edilmesinde, ekstraksiyon yöntemlerinin, çözücülerin ve miktarların seçimi kritik öneme sahiptir. Geri dönüştürülebilir bir kaynak olan soğan kabuklarından uygun yöntemlerle kuersetin elde edilmesi, hem ekonomiye katkı sağlayabilir ve çevre kirliliğini azaltabilir hem de insan sağlığı adına değerli bir kaynak oluşturabilir. Bu derleme, çok sayıda sağlık yararı ve çeşitli sektörlerde kullanım alanı bulunan bir bileşik olan kuersetin hakkında bilgi sunmakta ve bu bileşiğin ekstraksiyonu için yüksek verimli, çevre dostu yöntemleri ele almaktadır.

Anahtar kelimeler: *Allium cepa*, antioksidan, biyoflavonoid, quersetin

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

THE GEM IN ONION SKIN: QUERCETIN AND ITS EXTRACTION

Abstract

Reactive oxygen species are believed to play a significant role in the rising incidence of cancer and numerous chronic diseases today. Consequently, interest in the use of antioxidants—which are crucial for combating these issues—for human health is growing steadily. Quercetin is a polyphenolic flavonoid and a natural pigment. It is a significant secondary metabolite utilized in the health sector due to its ability to boost immunity, protect heart health, regulate blood pressure, lower cholesterol, reduce inflammation, and provide protection against various types of cancer. It is also available as a plant-based dietary supplement. As a bioflavonoid, quercetin is notable for its pigmenting and aromatic properties. It is found in high concentrations in the skins of red (or purple) onions; scientific studies have revealed that onion skins contain 30 to 40 times more quercetin than the inner flesh. The choice of extraction methods, solvents, and quantities is critical for obtaining high-purity, high-yield quercetin. Extracting quercetin from onion skins—a recyclable resource—using appropriate methods can contribute to the economy while simultaneously reducing environmental pollution, thereby creating a valuable resource for human health. This review provides information on quercetin—a compound with numerous health benefits and applications across various sectors—and discusses highly efficient, eco-friendly methods for its extraction.

Keywords: *Allium cepa*, antioxidant, bioflavonoid, quercetin

YEŞİL SENTEZLE ÜRETİLEN ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN KURAKLIK STRESİ ALTINDAKİ BUĞDAYDA FOTOSENTETİK PİGMENTLER VE PROTEİN ÜZERİNE ETKİLERİ

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

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

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

Özet

Çalışmada beyaz lahana atıklarından yeşil sentezlenen çinko oksit nanopartiküllerin buğday yapraklarının fotosentetik pigmentleri (kla, klb, toplam kl, karotenoid) ve çözünebilir proteinleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu nanopartiküller kuraklığa maruz bırakılan (%10 PEG 6000) veya bırakılmayan buğdaylara 0, 5, 10 ve 20 ppm konsantrasyonlarda foliar olarak uygulanmıştır. Çözünebilir toplam klorofil miktarları 20 ppm yeşil sentezlenmiş çinko oksit nanopartikül ve %10 PEG uygulamaları dışındaki tüm gruplarda kontrole oranla azalmıştır. Çözünebilir protein miktarları ise yalnız PEG 6000 ya da yalnız yeşil sentezlenmiş çinko oksit nanopartikül uygulamalarında kontrole oranla azalmış, diğer uygulamalarda artmıştır. Fotosentetik pigmentler ve proteinlere ait verilerimiz beyaz lahana atıklarından yeşil sentezle üretilen çinko oksit nanopartiküllerin kuraklığın olumsuz etkilerini hafiflettiğini ortaya çıkarmıştır. Özellikle 5 ve 10 ppm nanopartikül uygulamaları daha etkili olmuştur. Az maliyetli ve enerji gereksinimli olan bu yöntem çevresel atıkların değerlendirilmesiyle de çevre dostu bir yöntem olarak önem taşımaktadır. Bulgularımız çevre dostu çinko oksit nanopartiküllerin sürdürülebilir tarımda ve bitki atıklarının değerlendirilmesiyle çevre kirliliğinin önlenmesinde önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: klorofil, kuraklık, *Triticum aestivum*, ZnO-NP

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

EFFECTS OF GREEN-SYNTHESIZED ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS AND PROTEIN IN WHEAT UNDER DROUGHT STRESS

Abstract

This study investigated the effects of zinc oxide nanoparticles—green-synthesized from white cabbage waste—on the photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids) and soluble protein content of wheat leaves. These nanoparticles were applied foliarly at concentrations of 0, 5, 10, and 20 ppm to wheat plants, both under drought stress (induced by 10% PEG 6000) and under normal conditions. Total chlorophyll levels decreased relative to the control in all groups, except for those treated with 20 ppm green-synthesized zinc oxide nanoparticles and those treated with 10% PEG alone. Soluble protein levels decreased relative to the control in treatments with only PEG 6000 or only green-synthesized zinc oxide nanoparticles, whereas they increased in the other treatment groups. Our data regarding photosynthetic pigments and proteins revealed that zinc oxide nanoparticles green-synthesized from white cabbage waste mitigated the adverse effects of drought; the 5 ppm and 10 ppm nanoparticle treatments were particularly effective. This low-cost, energy-efficient approach is also significant as an eco-friendly method for the valorization of environmental waste. Our findings demonstrate that eco-friendly zinc oxide nanoparticles represent a valuable alternative for sustainable agriculture and for preventing environmental pollution through the utilization of plant waste.

Keywords: chlorophyll, drought, *Triticum aestivum*, ZnO-NP

ANADOLU KESTANESİ VE ADİ CEVİZ AHŞABININ GEOMETRİYE BAĞLI BASINÇ DAYANIMI: DENEYSEL BULGULAR VE NÜMERİK YORUMLAMA

Dr. Öğr. Üyesi Göksu ŞİRİN

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Almus Meslek Yüksekokulu, Ormancılık ve Orman Ürünleri Programı, e-posta: goksu.sirin@gop.edu.tr, ORCID numarası: 0000-0003-1394-1697

Özet

Bu çalışmada, Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) ve adi ceviz (*Juglans regia* L.) gövde odunlarında numune geometrisinin liflere paralel basınç direnci üzerindeki etkisi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Her odun türü için, 15 × 15 × 45 mm (Geometri A) ve 20 × 20 × 30 mm (Geometri B) boyutlarında iki farklı geometri kullanılmıştır. Deneysel ortalamalar, sonlu elemanlar analizleriyle karşılaştırılmıştır. Geometri A'dan B'ye geçişte numune hacminde artış, narinlik oranında ise düşüş meydana gelmiştir. Bu geçiş sonucunda kestane odununun ortalama basınç direnci 31,6 MPa'dan 35,2 MPa'a yükselirken, adi ceviz odununun ortalama basınç direnci 54,3 MPa'dan 43,3 MPa'a düşmüştür. Hava kurusu yoğunluk ortalamaları kestane ve adi ceviz için sırasıyla 590 ve 650 kg/m³ olarak belirlenmiştir. İki yönlü ANOVA sonuçları, tür, geometri ve tür × geometri etkileşiminin basınç direnci üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Tür × geometri etkileşiminin yüksek etki büyüklüğü, geometriye bağlı dayanım değişiminin türe bağımlı olduğunu ortaya koymuştur. Sonlu elemanlar analizi sonuçları, deneysel ortalamaları oldukça düşük bir hata payıyla başarılı bir şekilde tahmin etmiştir. Bulgular, basınç direncindeki geometri etkisinin yalnızca hacimsel değişimle açıklanamayacağını, kesit boyutu, numune uzunluğu, narinlik oranı, yük aktarımı, uç kısıtlaması ve odun türüne özgü anatomik–mekanik özelliklerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Castanea sativa*; *Juglans regia*; liflere paralel basınç direnci; numune geometrisi; narinlik oranı; sonlu elemanlar analizi; Weibull analizi

GEOMETRY-DEPENDENT COMPRESSIVE STRENGTH OF ANATOLIAN CHESTNUT AND COMMON WALNUT WOOD: EXPERIMENTAL FINDINGS AND NUMERICAL INTERPRETATION

Abstract

In this study, the effect of specimen geometry on the compressive strength parallel to the grain in the stem wood of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and common walnut (*Juglans regia* L.) was investigated experimentally and numerically. For each wood species, two different geometries were utilised: 15 × 15 × 45 mm (Geometry A) and 20 × 20 × 30 mm (Geometry B). The experimental means were compared with finite element analyses. The transition from Geometry A to B resulted in an increase in specimen volume and a decrease in the slenderness ratio. Consequently, the mean compressive strength of the chestnut wood increased from 31.6 MPa to 35.2 MPa, whereas that of the common walnut wood decreased from 54.3 MPa to 43.3 MPa. The mean air-dry densities were determined as 590 kg/m³ and 650 kg/m³ for the chestnut and common walnut, respectively. Two-way ANOVA results indicated that species, geometry, and the species × geometry interaction had statistically significant effects on the compressive strength. The large effect size of the species × geometry interaction revealed that the geometry-dependent variation in strength is species-dependent. The finite element analysis results successfully predicted the experimental means with a remarkably low margin of error. The findings demonstrate that the geometry effect on compressive strength cannot be explained solely by volumetric variation; rather, cross-sectional dimension, specimen length, slenderness ratio, load transfer, end restraint, and the specific anatomical–mechanical properties of the wood species must be evaluated collectively.

Keywords: *Castanea sativa*; *Juglans regia*; compressive strength parallel to grain; specimen geometry; slenderness ratio; finite element analysis; Weibull analysis

1. GİRİŞ

Ahşap, fiziksel-mekanik özellikleri ve maliyet etkinliği nedeniyle değer verilen, önde gelen bir mühendislik malzemesidir (Jifei vd., 2025). Malzeme, doğası gereği gözenekli ve homojen olmayan bir yapıya sahip olup anizotropik özellikler sergilemektedir. Ahşabın kendine has bu karmaşık yapısı hem tek bir ağaç gövdesinde hem de türler arasında önemli ölçüde değişim göstermektedir. Bu değişkenlik, malzemenin mekanik özelliklerinin doğru bir şekilde tespit edilmesini güçleştirmektedir. Dolayısıyla, ahşap için güvenilir fiziksel ve mekanik parametrelerin elde edilmesi, malzemenin derinlemesine anlaşılması ve rasyonel bir şekilde kullanılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca sayısal simülasyonlar ve mühendislik analizleri, güvenilir sonuçlar elde edebilmek adına hassas konstitütif parametrelerin hesaba katılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, ahşabın mekanik davranışlarının incelenmesi, mukavemet kriterlerinin geliştirilmesi ve uygun malzeme modellerinin oluşturulması pek çok araştırmacının odak noktası olmuştur (Zhao vd., 2024).

Temel mekanik özelliklerin belirlenmesinde genellikle kusursuz ve düz lifli ahşap numuneler tercih edilse de bu özellikler boyut etkisi olarak bilinen olgu nedeniyle numune boyutlarından da doğrudan etkilenmektedir (Schlotzhauer vd., 2017; Jifei vd., 2025). Literatürde pek çok çalışma, mekanik parametrelerin numune geometrisine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Lif yönüne bağlı olarak boyut etkisini açıklamak amacıyla çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunların başında Weibull tarafından formüle edilen ve deneysel olarak doğrulanan en zayıf halka teorisi gelmektedir (Hu vd., 2019). Weibull (1951), ahşap içerisindeki rastgele (stokastik) olarak ortaya çıkan zayıf noktalar nedeniyle, gerilmeye maruz kalan hacmin artmasının mukavemette bir düşüşe yol açtığını belirtmektedir. Başka bir deyişle, gerilme altındaki hacim büyüdükçe, dayanımı düşüren kritik bir kusurla karşılaşma olasılığı da artmaktadır (Pedersen vd., 2003; Schlotzhauer vd., 2017). Dolayısıyla boyut etkisi, ahşabın mekanik özelliklerinin sabit kalmadığını, aksine numune boyutlarındaki değişimlerle birlikte değişkenlik gösterdiğini kanıtlamaktadır.

Bununla birlikte, boyut etkisinin yalnızca stokastik varsayımlara dayanan Weibull teorisiyle açıklanamayacağı, aynı zamanda ahşabın silindirik ortotropik yapısıyla da doğrudan ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bu doğrultuda, boyut etkisinin arkasındaki mekanizmayı yalnızca olasılıksal bir yaklaşımdan ziyade deterministik bir perspektifle ele alan çalışmalar da bulunmaktadır (Hoffmeyer vd., 2000; Pedersen vd., 2003; Astrup vd., 2007; Schlotzhauer vd., 2017).

Bu çalışmada, endüstriyel açıdan öneme sahip iki sert ağaç türü olan Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) ve adi ceviz (*Juglans regia* L.) gövde odunlarında numune geometrisinin liflere paralel basınç dayanımı üzerindeki etkisi, deneysel testler, Weibull istatistiksel analizleri ve sayısal (nümerik) simülasyonlar entegre edilerek bütüncül bir yaklaşımla araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, numune boyutlarındaki değişimlerin

mekanik davranış üzerindeki yansımaları iki ağaç türü arasında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Materyal Temini ve Numune Hazırlığı

Bu çalışmada deney materyali olarak kullanılan Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) ve adi ceviz (*Juglans regia* L.) gövde odunları, Tokat ilinde bulunan bir ahşap işleme atölyesinden temin edilmiştir. Kerestelerin biçilmesi ve test numunelerinin hazırlanması süreçleri, ISO 3129 (2019) yönergeleri izlenerek gerçekleştirilmiştir. Gövdelerin öz kısımları dışarıda bırakılarak sadece diri odun materyali çalışmaya dâhil edilmiş ve her bir ölçüm grubu için (dört ayrı grup) 20'şer adet numune hazırlanmıştır. Numuneler, budak, lif sapması, çatlak ve benzeri makroskobik kusurlar içermemiştir.

2.2. Numunelerin Yoğunluk Tayini

Test numunelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yoğunluk ve rutubet ölçümleri, ISO 13061-1 (2014a) ve ISO 13061-2 (2014b) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyleri öncesinde numunelerin boyutları 0,01 mm hassasiyetli dijital kumpas kullanılarak ölçülmüş ve stereometrik hacimleri hesaplanmıştır. Numunelerin kütleleri, ±%0,2 ölçüm duyarlılığına sahip analitik terazi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen kütle ve hacim değerleri kullanılarak numunelerin yoğunlukları hesaplanmıştır.

Odun malzemesinin mekanik özellikleri üzerinde rutubet farklılıklarından kaynaklanabilecek değişkenliği azaltmak ve sonuçların literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılabilirliğini sağlamak amacıyla, numuneler yaklaşık %12 denge rutubeti seviyesine ulaşıncaya kadar kondisyonlanmıştır. Basınç deneyleri de bu kondisyonlama koşullarında gerçekleştirilen numuneler üzerinde yürütülmüştür.

2.3. Liflere Paralel Yönlü Basınç Dayanımı Tayini

Masif odunun liflere paralel nominal basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla uluslararası test standartlarına dayanan iki farklı prizmatik numune geometrisi kullanılmıştır. DIN 52185 (1976) ve ISO 13061-17 (2017) esas alınarak sırasıyla 15 × 15 × 45 mm (Geometri A) ve 20 × 20 × 30 mm (Geometri B) boyutlarında test numuneleri hazırlanmıştır. Mekanik deneyler öncesinde tüm numuneler, yaklaşık %12 denge rutubetine ulaşmaları amacıyla 20 ± 2 °C sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl nem koşullarında iklimlendirme kabininde şartlandırılmıştır.

Basınç deneyleri, TIRA GmbH (Schalkau, Germany) tarafından üretilen, 5 ton yük kapasitesine sahip üniversal test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler, lif yönü yükleme eksenine paralel olacak şekilde cihaza yerleştirilmiş ve yükleme hızı 3 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Bu yükleme hızı, numune göçmesinin ISO 13061-17 standardında öngörülen 90 ± 30 saniyelik süre aralığında gerçekleşmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Her numune için kırılma anındaki maksimum yük kaydedilmiştir. Numunelerin liflere paralel nominal basınç dayanımı, maksimum yükün nominal kesit alanına bölünmesiyle Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\sigma_c = \frac{F_{max}}{a \times b} \quad (1)$$

Burada; σ_c, nominal basınç dayanımını (MPa), F_{max}, kırılma anındaki maksimum yükü (N), a ve b, numunenin nominal kesit genişliği ve kalınlığını (mm) ifade etmektedir.

2.4. İstatistiksel Analiz

Basınç dayanımı verileri, odun türünün ve numune geometrisinin yanı sıra bu iki faktör arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla iki yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılarak incelenmiştir. Odun türü, *Castanea sativa* ve *Juglans regia* olmak üzere iki düzeyli sabit faktör olarak, numune geometrisi ise 15 × 15 × 45 mm ve 20 × 20 × 30 mm olmak üzere iki düzeyli sabit faktör olarak değerlendirilmiştir. Bağımlı değişken, liflere paralel basınç dayanımıdır.

2.5. Weibull İstatistiksel Analizi ve Olasılıksal Boyut Etkisi Modellemesi

Liflere paralel basınç dayanımı değerlerinin grup içi saçılımını ve dayanım dağılımlarındaki değişkenliği değerlendirmek amacıyla iki parametreli Weibull dağılım modeli kullanılmıştır (Weibull, 1951). Analiz, her bir odun türü ve numune geometrisi kombinasyonu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Böylece, tür ve geometriye bağlı dayanım dağılımlarının şekil ve karakteristik dayanım düzeyleri bakımından karşılaştırılması amaçlanmıştır.

İki parametreli Weibull dağılımında konum parametresi sıfıra sabitlenmiştir. Kümülatif kırılma olasılığı Eşitlik (2) kullanılarak ifade edilmiştir:

$$F(\sigma) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{\eta}\right)^{m}\right] \quad (2)$$

Eşitlikte; σ, uygulanan gerilmeyi (MPa), m, Weibull şekil parametresini (boyutsuz), η ise Weibull ölçek parametresini (MPa) ifade etmektedir.

Weibull parametreleri, her grup için maksimum olabilirlik yöntemiyle tahmin edilmiştir. Şekil parametresi m, dayanım değerlerinin dağılımındaki saçılımın değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Genel olarak daha yüksek m değerleri, daha düşük göreli saçılıma ve daha homojen bir dayanım dağılımına işaret eder. Ölçek parametresi η ise dağılımın karakteristik dayanım düzeyini temsil etmekte olup, iki parametreli Weibull modelinde kümülatif kırılma olasılığının yaklaşık %63,2 olduğu dayanım değerine karşılık gelmektedir.

Weibull analizleri, her grup için deneysel basınç dayanımı verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Weibull şekil ve ölçek parametreleri, ortalama basınç dayanımı, standart sapma ve değişim katsayısı ile birlikte raporlanmıştır. Düşük örneklem büyüklüğü nedeniyle elde edilen Weibull parametreleri, kesin bir malzeme güvenilirliği tahmini olarak değil, tür ve numune geometrisine bağlı dayanım saçılımının keşifsel göstergeleri olarak değerlendirilmiştir.

2.6. Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar (FEM) Modellemesi

Deneysel basınç testlerinde gözlenen gerilme dağılımını ve numune narinliğine bağlı mekanik davranış değişimlerini incelemek amacıyla üç boyutlu sonlu elemanlar analizleri (FEM) gerçekleştirilmiştir. Sayısal

sonuçlar, nümerik modelin deneysel gözlemlerle uyumunu değerlendirmek amacıyla deneysel ortalama basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sayısal analizler, SimScale platformunda Static analiz türü ve Code_Aster çözücüsü kullanılarak yürütülmüştür (SimScale GmbH, 2026). Ahşabın yön bağımlı mekanik davranışını temsil etmek amacıyla numuneler lineer elastik ortotropik malzeme modeli ile tanımlanmıştır. Modelde, anatomik doğrultulara ait dokuz bağımsız elastik sabit kullanılmıştır. Malzeme yoğunluğu, deneysel olarak belirlenen yoğunluk değerleri esas alınarak modele atanmıştır.

Sonlu elemanlar modelleri, deneysel numune geometrileriyle uyumlu olacak şekilde 15 × 15 × 45 mm ve 20 × 20 × 30 mm boyutlarında oluşturulmuştur. Her iki geometri için üç boyutlu tetrahedral elemanlardan oluşan sonlu elemanlar ağı kullanılmıştır. Mesh yapısı yaklaşık 9,2 × 10^3 hücre ve 13,6 × 10^3 düğüm içermiştir.

Deney düzeneğini temsil etmek amacıyla alt yüzey tüm serbestlik derecelerinde sabitlenmiş, üst yüzeye ise deneysel nihai deplasman değerine karşılık gelen yer değiştirme sınır şartı yükleme doğrultusunda atanmıştır. Böylece, yükleme ekseni boyunca uygulanan deformasyon kontrollü deney koşulları sayısal modele aktarılmıştır. Alt uç yüzeydeki serbestlik derecelerinin kısıtlanmasıyla, mesnet plakasının numune tabanında oluşturabileceği yanal genleşme engeli ve uç kısıtlanması etkisi modele dahil edilmiştir.

Sayısal sonuçların deneysel bulgularla karşılaştırılması amacıyla, sonlu elemanlar analizinden elde edilen hacimsel ortalama boyuna gerilmenin mutlak değeri, aynı tür ve geometriye ait deneysel ortalama basınç dayanımı ile karşılaştırılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki bağıl hata aşağıdaki Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Bağıl Hata (\%)} = \frac{|\sigma_{FEM} - \sigma_{deneysel}|}{\sigma_{deneysel}} \times 100 \quad (3)$$

Burada; σ_{FEM}, sonlu elemanlar analizinden elde edilen hacimsel ortalama boyuna gerilmenin mutlak değerini, $\sigma_{deneysel}$ ise aynı numune geometrisi ve odun türü için deneysel olarak belirlenen ortalama liflere paralel basınç dayanımını ifade etmektedir.

3. BULGULAR

3.1. Yoğunluğun Belirlenmesi

Odun türlerinin yaklaşık %12 rutubet düzeyindeki hava kurusu yoğunluklarına ilişkin istatistiksel sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Anadolu kestanesi odununun ortalama yoğunluğu 590 kg/m³, adi ceviz odununun ortalama yoğunluğu ise 650 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre adi ceviz odununun yoğunluğu kestane odunundan yaklaşık %10,17 oranında daha fazladır.

Her iki odun türünde de standart sapma 11,83 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, ortalama yoğunlukların farklı olması nedeniyle değişim katsayısı kestane için %2,01, adi ceviz için %1,82 olarak bulunmuştur. Bu değerler, her iki türde de yoğunluk ölçümleri arasındaki saçılımın düşük olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın temel amacı, numune geometrisinin liflere paralel basınç direnci üzerindeki etkisinin araştırılması olduğundan, her odun türü için belirlenen ortalama yoğunluk değeri her iki geometriye de uygulanmıştır. Böylece yoğunluk, geometri grupları arasında değiştirilen bir faktör olarak değil, her odun türünü temsil eden malzemeye özgü bir özellik olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, geometri değişiminin mekanik davranış üzerindeki etkisinin, türler arasındaki yoğunluk farklılığından bağımsız olarak incelenmesine olanak sağlamıştır.

Tablo 1. Odun türlerine ait ortalama hava kurusu yoğunluklar

Odun türü	n	Ortalama (kg/m³)	Standart sapma (kg/m³)	Minimum (kg/m³)	Maksimum (kg/m³)	CV (%)
Anadolu kestanesi	40	590	11,83	572	608	2,01
Adi ceviz	40	650	11,83	632	668	1,82

Not: n, Geometri A ve B'ye ait toplam numune sayısıdır

Literatürde Anadolu kestanesi için hava kurusu yoğunluk değeri 541−689 kg/m³ (Akyıldız ve Malkoçoğlu, 2001; Ay ve Şahin, 2002; Başboğa vd., 2023), adi ceviz için 570−670 kg/m³ (Castro vd., 2019; Najafian Ashrafi vd., 2024; Sharma vd., 2025) aralığında rapor edilmiştir.

3.2. Liflere Paralel Basınç Dayanımı Bulguları ve İstatistik Analiz

Anadolu kestanesi ve adi ceviz odunlarının liflere paralel basınç dayanımına ait deneysel bulgular Tablo 2'de özetlenmiştir. Analiz sonuçları, numune geometrisindeki değişimin her iki türün basınç direnci üzerinde birbirine zıt yönlü etkilere neden olduğunu göstermektedir. Geometri A'dan Geometri B'ye geçiş, kestane odununun basınç direncinde %11,45 oranında bir artış sağlarken adi ceviz odununda aynı değişim %20,35'lik belirgin bir düşüşe yol açmıştır (Şekil 1).

Şekil 1. Numune geometrisine göre Anadolu kestanesi ve adi ceviz odununun lif yönüne paralel ortalama basınç dayanımı sonuçları

Deneysel verilerin istatistiksel saçılımı incelendiğinde, her iki türde de varyasyon katsayılarının %8'in altında kalarak homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür. Kestane odunu her iki geometride de daha düşük bir saçılım gösterirken, en yüksek grup içi değişkenlik adi ceviz odununun Geometri B konfigürasyonunda saptanmıştır.

Geometri A'dan B'ye geçişte numune hacmi 10 125 mm³'ten 12 000 mm³'e yükselmiş ve numune uzunluğunun numune kesitine oranı olan narinlik değeri (L/D) 3,0'dan 1,5'e düşmüştür. Kestane odununda Geometri B, yük taşıma kapasitesini olumlu yönde etkilerken, ceviz odununda aynı form mekanik performans kaybına neden olmuştur. Elde edilen bu zıt yönlü eğilim, numune geometrisinin basınç direnci üzerindeki etkisinin yalnızca hacim veya L/D oranı gibi tekil parametrelerle açıklanamayacağını, türlere özgü yapısal ve mekanik anatomi farklılıklarının da değerlendirme süreçlerine mutlak suretle dâhil edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Odun türü ve numune geometrisine göre liflere paralel basınç dayanımı sonuçları

Odun türü	Geometri	n	Ortalama (MPa)	Standart sapma (MPa)	Varyans (MPa²)	Min.–Maks. (MPa)	CV (%)
Anadolu Kestanesi	A	20	31,62	1,87	3,51	28,9–33,6	5,92
Anadolu Kestanesi	B	20	35,24	1,65	2,73	33,3–37,1	4,69
Adi ceviz	A	20	54,34	3,82	14,58	48,2–58,6	7,03
Adi ceviz	B	20	43,28	3,35	11,24	41,3–49,2	7,75

Not: Standart sapma ve varyans örneklem istatistikleri olarak hesaplanmıştır. CV, standart sapmanın ortalamaya oranının yüzde karşılığıdır.

Marini vd. (2021), liflere paralel yönlü basınç dayanımını 20 × 20 × 30 mm boyutlu Anadolu kestanesi örnekleri için 47−52 MPa, Mitani vd. (2026) ise 20 × 20 × 60 mm boyutlu numunelerde 53,1-65,4 MPa arasında belirlemişlerdir. Kantay vd. (2000) 20 × 20 × 30 mm boyutlu adi ceviz numunelerinde bu değeri 38,8 MPa olarak raporlamışlardır.

Odun türü (Anadolu kestanesi ve adi ceviz) ile numune geometrisinin (Geometri A ve B) liflere paralel basınç direnci üzerindeki ana ve etkileşim etkileri iki yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları ve model parametreleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Varyans analizi çıktıları, odun türünün basınç direnci üzerinde istatistiksel olarak son derece anlamlı ve yüksek bir ana etkiye sahip olduğunu göstermektedir ($F(1,16) = 147{,}564$, $p < 0{,}001$, $\eta_p^2 = 0{,}902$). Modeldeki toplam varyansın %90,2'sini açıklayan tür faktörü, ceviz odununun kestane odununa kıyasla genel olarak belirgin düzeyde daha yüksek bir mekanik direnç sergilediğini ortaya koymaktadır. Numune geometrisinin ana etkisi de istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($F(1,16) = 8{,}633$, $p = 0{,}0096$, $\eta_p^2 = 0{,}350$).

Faktörler arası Tür × Geometri etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek etki büyüklüğüne sahiptir ($F(1,16) = 33{,}609$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0{,}678$). Metodolojik olarak, anlamlı ve yüksek derecede bir etkileşim varlığında ana etkilerin tek başına yorumlanması yanıltıcı sonuçlar verebilir. Geometri B'ye geçişin kestane odununda basınç dayanımını artırırken, ceviz odununda düşürmesi bu durumun temel nedenidir. Dolayısıyla geometri ana etkisinin gösterdiği ortalama eğilim, tür düzeyindeki gerçek mekanik davranışı yansıtmamaktadır. Basınç direncindeki değişimin ana belirleyicisi odun türü olmakla birlikte, geometri değişimine verilen mekanik

tepki mutlak suretle türün yapısına bağlıdır. Bu nedenle numune geometrisinin basınç direnci üzerindeki etkisi genel geçer, sabit bir parametre olarak değerlendirilmemeli, değerlendirmelerde Tür × Geometri etkileşimi esas alınmalıdır.

Tablo 3. Liflere paralel basınç dayanımı için iki yönlü ANOVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı (*SS*)	Serbestlik Derecesi (*df*)	Kareler Ortalaması (*MS*)	*F*	*p*	Kısmi Eta-Kare (η_p^2)
Odun Türü	1182,722	1	1182,722	147,564	$< 0{,}001$	0,902
Geometri	69,192	1	69,192	8,633	0,0096	0,350
Tür × Geometri	269,378	1	269,378	33,609	$< 0{,}001$	0,678
Hata	128,240	16	8,015	—	—	—
Toplam	1649,532	19	—	—	—	—

Not: ANOVA, odun türü ve numune geometrisini sabit faktörler olarak içeren iki yönlü modelle gerçekleştirilmiştir. Kısmi eta-kare, her etkinin hata varyansına göre etki büyüklüğünü göstermektedir. $p < 0{,}05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3.3 Basınç Dayanımı Değişkenliğinin Weibull Karakterizasyonu

Liflere paralel basınç dayanımı değerlerinin grup içi saçılım davranışını ve homojenliğini değerlendirmek amacıyla iki parametreli Weibull dağılım modeli uygulanmıştır. Konum parametresi sıfıra sabitlenmiş ve parametreler maksimum olabilirlik yöntemiyle tahmin edilmiştir. Modelden elde edilen Weibull şekil parametresi (m) dayanım verilerinin saçılım derecesini ve malzeme güvenilirliğini, ölçek parametresi (η) ise dağılımın %63,2 kırılma olasılığına karşılık gelen karakteristik dayanım düzeyini temsil etmektedir. Hesaplanan parametreler ve tanımlayıcı istatistikler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Liflere paralel basınç dayanımı için iki parametreli Weibull dağılımı sonuçları

Odun türü	Geometri	Şekil parametresi, m	Ölçek parametresi, η(MPa)
Anadolu kestanesi	A	23,46	32,39
Anadolu kestanesi	B	27,51	35,95
Adi ceviz	A	20,66	55,84
Adi ceviz	B	12,93	44,81

Weibull analiz sonuçları, numune geometrisindeki değişimin iki tür arasında yalnızca ortalama dayanım düzeyinde değil, saçılım özelliklerinde de zıt eğilimler oluşturduğunu göstermektedir. Kestane odununda Geometri B konfigürasyonuna geçişle birlikte şekil parametresi artarak mekanik dayanım değerlerinin daha dar ve homojen bir aralıkta toplandığına işaret etmiştir. Buna paralel olarak karakteristik dayanım düzeyini gösteren ölçek parametresi de Geometri B'de yükselmiştir. Buna karşın ceviz odununda Geometri B'ye geçiş, şekil parametresinde belirgin bir düşüşe yol açarak grup içi veri saçılımını ve değişkenliği artırmış, aynı zamanda ölçek parametresinde kayda değer bir azalma oluşturmuştur.

Bununla birlikte, Weibull parametrelerinin iki ağaç türü üzerinden tahmin edilmiş olması dikkate alınmalıdır. Bu nedenle mevcut Weibull analizi, nihai bir malzeme güvenilirliği doğrulamasından ziyade, tür ve geometriye bağlı saçılım eğilimlerini inceleyen keşifsel bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir.

Numune hacmindeki artışa ve *L/D* oranındaki azalmaya rağmen Weibull parametrelerinin türler arasında zıt yönlü değişim sergilemesi, mekanik davranışın yalnızca hacim esaslı en zayıf halka (*weakest-link*) teorisiyle açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. Bu durum, geometri etkisi altında meydana gelen gerilme dağılımlarının, narinlik, uç kısıtlamaları, yük aktarım mekanizmaları ve türlere özgü anatomik–mikromekanik yapı özellikleriyle eş zamanlı etkileşim hâlinde olduğunu desteklemektedir.

Weibull teorisine uygun (Liu vd., 2024; Kana vd. 2024; Jifei vd. 2025) ve aksi yönde sonuçlar oluşturan önceki çalışmalar da (Schlotzhauer vd., 2017; Verrill vd., 2019; Christoforo vd., 2020; Wolenski vd., 2020) şekil değiştirme dağılımının ahşabın yapısına olan bağımlılığını kanıtlamaktadır.

3.4. Sonlu Elemanlar Analizi

Deneysel olarak belirlenen liflere paralel basınç dayanımı için sayısal bir karşılaştırma sağlamak amacıyla SimScale platformu kullanılarak doğrusal statik sonlu elemanlar analizi (FEM) gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlardan elde edilen hacim ortalamalı Cauchy gerilmeleri mutlak değerlerine dönüştürülmüş ve deneysel ortalama basınç dayanımlarıyla karşılaştırılmıştır. İlgili sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur.

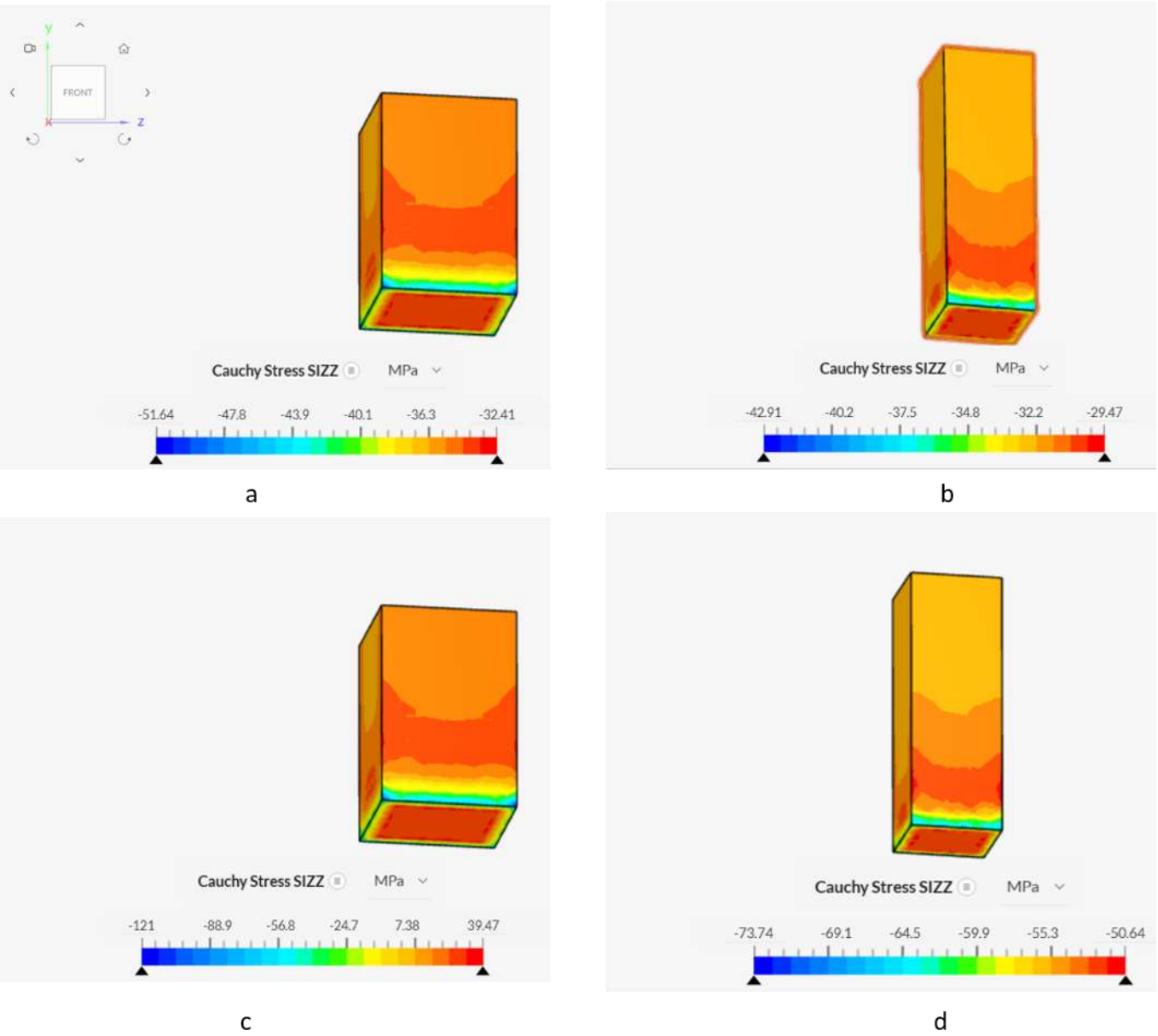
Tablo 5. FEM gerilme değerleri ile deneysel ortalama basınç dayanımı ve Weibull karakteristik dayanımı karşılaştırması

Odun türü	Numune geometrisi	Deneysel ortalama basınç dayanımı (MPa)	Weibull ölçek parametresi, η (MPa)	FEM ortalama gerilmesi (MPa)	Deneysel-FEM mutlak fark (MPa)	Deneysel-FEM yüzde fark (%)	Deneysel/FEM oranı
Kestane	A	31,62	32,39	31,73	0,11	0,35	0,997
Kestane	B	35,24	35,95	35,50	0,26	0,74	0,993
Ceviz	A	54,34	55,84	54,53	0,19	0,35	0,997
Ceviz	B	43,28	44,81	43,38	0,10	0,23	0,998

Not: FEM ortalama gerilme değerleri, hacim ortalamalı Cauchy gerilmelerinin mutlak büyüklüklerini göstermektedir. Yüzde farklar, deneysel ortalama basınç dayanımı referans alınarak hesaplanmıştır. η, bir dayanım dağılımı parametresidir ve aritmetik ortalama basınç dayanımıyla aynı değildir.

FEM tahminleri, dört tür–numune geometrisi kombinasyonunun tamamında deneysel ortalama değerlerle yüksek bir uyum göstermiştir. Deneysel ortalama basınç dayanımının referans değer olarak kullanıldığı ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) %0,42 olarak hesaplanmıştır. Deneysel değerlerin FEM değerlerine oranı 0,993–0,997 arasında değişmiş ve bu durum iki veri seti arasında yakın bir sayısal karşılık bulunduğunu göstermiştir.

Sayısal model, deneysel süreçte numune geometrisine bağlı olarak gözlenen ve odun türüne göre zıt yönlerde gelişen mekanik yanıtları da başarıyla yeniden üretmiştir. Kestane odununda Geometri A'dan Geometri B'ye geçişte ortalama basınç dayanımında gerçekleşen artış eğilimi simülasyon sonuçlarında da aynı yönde ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde, ceviz odununda narinlik oranının azalmasıyla gözlenen belirgin dayanım kaybı, sayısal modelde de hassas bir biçimde yansıtılmıştır. Bu durum, geometrik boyut değişiminin gerilme alanı üzerindeki etkisinin ve türe özgü mekanik davranışın sayısal model tarafından doğru kurgulandığını göstermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Deneysel bulguların FEM simülasyon sonuçları: a) Anadolu kestanesi 20 × 20 × 30 mm; b) Anadolu kestanesi 15 × 15 × 45 mm; c) Adi ceviz 20 × 20 × 30 mm; d) Adi ceviz 15 × 15 × 45 mm

Ek bir karşılaştırma amacıyla FEM ortalama gerilmeleri, deneysel dayanım dağılımlarından elde edilen Weibull ölçek parametreleriyle de karşılaştırılmıştır. FEM değerleri ile Weibull ölçek parametreleri arasındaki farklar %1,25–3,19 arasında değişmiştir. En büyük fark ceviz–Geometri B kombinasyonunda, en küçük fark ise kestane–Geometri B kombinasyonunda gözlenmiştir. Weibull ölçek parametresi, aritmetik ortalama basınç dayanımından farklı olarak bir dağılım parametresini temsil ettiğinden, bu karşılaştırma doğrudan deneysel ortalama değerlerin doğrulanması olarak değil, tamamlayıcı bir değerlendirme olarak yorumlanmıştır.

Genel olarak, deneysel ortalama dayanımlar ile hacim ortalamalı FEM gerilmeleri arasındaki uyum, geliştirilen sayısal modelin makroskopik mekanik davranışı ve geometriye bağlı eğilimleri simüle etmede başarılı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, yerel gerilme piklerinin mesnet koşullarına ve temas mekaniğine olan yüksek duyarlılığı göz önüne alındığında, elde edilen sayısal bulgular mikro-ölçekli kırılma mekanizmalarının bağımsız bir kanıtı olarak değil, makroskopik geometri etkisini destekleyen teorik bir doğrulama aracı olarak yorumlanmalıdır.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Anadolu kestanesi ve adi ceviz odunlarında liflere paralel basınç dayanımının odun türü ve yoğunlukla birlikte numune geometrisinden de güçlü biçimde etkilendiğini ortaya koymuştur. Aynı geometrik değişimin iki odun türünde farklı yönlerde dayanım tepkisi oluşturması, boyut etkisinin ahşap malzemelerde tek bir genel mekanizma üzerinden açıklanamayacağını göstermektedir. Bu nedenle numune geometrisi, mekanik karakterizasyonun yalnızca deneysel bir ayrıntısı değil, ölçülen dayanımın yorumlanmasında temel bir değişken olarak değerlendirilmelidir.

Geometriye bağlı farklı tepkiler, narinlik oranı ve hacim değişiminin dayanım üzerindeki etkisinin, yük aktarımı, uç kısıtlanmaları, gerilme dağılımı, temas koşulları ve odun dokusunun heterojenliğiyle birlikte ele alınması gerektiğini göstermiştir. Bu sonuç, farklı numune boyutları veya deney standartları kullanılarak elde edilen basınç dayanımı değerlerinin, geometrik koşullar dikkate alınmadan doğrudan karşılaştırılmasının uygun olmadığını ortaya koymaktadır. Özellikle ahşap malzemelerin deneysel karakterizasyonunda kesit boyutları, numune uzunluğu, narinlik oranı, yükleme yönü ve mesnet koşulları açık biçimde raporlanmalıdır.

Weibull analizi, geometri değişiminin dayanım saçılımını da türlere göre farklı biçimde etkilediğini göstermiştir. Kestane ve ceviz odunlarında şekil parametresinin farklı yönlerde değişmesi, geometrik değişimin yalnızca ortalama dayanımı değil, dayanım dağılımının karakterini de etkilediğine işaret etmektedir. Bu bulgu, boyut etkisinin klasik “en zayıf halka” yaklaşımıyla tek başına açıklanamayacağını desteklemektedir. Bununla birlikte, mevcut analizde Weibull parametreleri, sınırlı örneklem ve iki geometriyle elde edilen karşılaştırmalı göstergeler olarak değerlendirilmiştir. Daha geniş örneklem ve daha fazla geometrik düzey, güvenilirlik sınırlarının ve hacme bağlı ölçekleme ilişkilerinin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

Yoğunluk, odun türleri arasındaki dayanım düzeyinin açıklanmasında önemli bir malzeme göstergesi olarak öne çıkmıştır. Ancak geometriye verilen farklı tepkiler, yoğunluğun tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Anatomik yapı, lif sürekliliği, hücre duvarı organizasyonu, mikroyapısal heterojenlik ve yerel gerilme yoğunlaşmaları, dayanım davranışının açıklanmasında dikkate alınması gereken tamamlayıcı değişkenlerdir. Bu çerçevede, ahşabın basınç dayanımının tahmininde yoğunluğun geometrik ve yapısal parametrelerle birlikte kullanılması, yalnızca yoğunluğa dayalı tahminlere göre daha kapsamlı bir değerlendirme sağlayabilir.

SimScale ortamında geliştirilen üç boyutlu ortotropik sonlu elemanlar modelleri, deneysel ortalama basınç dayanımlarıyla yakın sonuçlar vermiş ve geometri değişimine bağlı dayanım eğilimlerinin yönünü yeniden üretmiştir. Bu uyum, kullanılan modellerin incelenen deney koşullarındaki makroskopik basınç tepkisini temsil edebildiğini göstermektedir. Modellerdeki gerilme dağılımlarının benzer karakter sergilemesi, yükleme ve sınır koşullarının numune grupları arasında tutarlı biçimde uygulandığını da ortaya koymuştur. Bununla birlikte, yerel gerilme maksimumları ve minimumları doğrudan makroskopik basınç dayanımı olarak değerlendirilmemelidir. Bu değerler, özellikle yükleme ve sabit sınır bölgelerinde oluşan gerilme gradyanlarına, temas tanımlarına ve modelleme tercihlerine duyarlıdır. Bu nedenle nümerik sonuçlar, deneysel dayanımın yerine geçen değerler olarak değil, gerilme dağılımını, yük aktarımını ve olası kritik bölgeleri incelemeyi sağlayan tamamlayıcı bir araç olarak kullanılmalıdır.

Çalışmanın sonuçları, masif ahşap elemanların tasarımı ve değerlendirilmesi açısından çeşitli uygulama alanları sunmaktadır. Liflere paralel basınç taşıyan kısa kolonlar, basınç elemanları, ahşap çerçeve sistemlerindeki basınç bölgeleri, birleşim çevresindeki yük aktarım alanları ve mesnet bölgeleri için numune geometrisinin ve uç kısıtlanmalarının değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Elde edilen bulgular ayrıca, farklı kesit boyutlarına veya uzunluklara sahip ahşap elemanların mekanik performansının karşılaştırılmasında geometrik uyumun sağlanmasına katkı sağlayabilir. Laboratuvar deneylerinde ise uygun numune boyutlarının seçilmesi, sonuçların standartlar arasında karşılaştırılabilirliğini artırabilir ve deneysel belirsizliklerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

Nümerik modelleme yaklaşımı, deneysel programların planlanmasında da işlevsel bir ön değerlendirme aracı olarak kullanılabilir. Farklı kesit oranları, numune uzunlukları, yükleme düzenleri ve mesnet koşulları deney öncesinde incelenerek olası gerilme yoğunlaşmaları, yük aktarım bölgeleri ve deformasyon eğilimleri belirlenebilir. Bu yaklaşım, deney sayısının ve numune geometrilerinin daha rasyonel biçimde seçilmesine, kritik bölgelerin önceden tanımlanmasına ve deneysel kaynakların daha verimli kullanılmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca, deneysel sonuçlarla birlikte değerlendirilen nümerik analizler, ahşap elemanların makroskopik dayanım davranışının arkasındaki gerilme aktarım mekanizmalarının anlaşılmasını kolaylaştırabilir.

Sonuç olarak, Anadolu kestanesi ve adi ceviz odunlarında liflere paralel basınç dayanımı, tür, yoğunluk, numune geometrisi ve yükleme koşullarının birlikte etkilediği çok değişkenli bir davranış sergilemektedir. Geometriye

bağlı dayanım tepkilerinin türler arasında farklılaşması, ahşap malzemelerin mekanik karakterizasyonunda ve mühendislik tasarımında tür–geometri etkileşiminin dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Deneysel verilerle uyumlu nümerik analizler ise yalnızca dayanım değerlerinin yorumlanmasını değil, gerilme dağılımının ve yük taşıma davranışının incelenmesini, yeni deney geometrilerinin ön değerlendirilmesini ve gelecekteki tasarım çalışmalarının geliştirilmesini sağlayan etkili bir tamamlayıcı yöntem sunmaktadır.

KAYNAKLAR

Akyıldız, M. H., & Malkoçoğlu, A. (2001). Doğu Karadeniz bölgesinde yetişen önemli bazı ağaç odunlarının vida tutma dirençleri. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1*(1), 54–60.

Astrup, T., Clorius, C. O., Damkilde, L., & Hoffmeyer, P. (2007). Size effect of glulam beams in tension perpendicular to grain. *Wood Science and Technology, 41*(4), 361–372. https://doi.org/10.1007/s00226-006-0113-6

Ay, N., & Şahin, H. (2002). Maçka-Çatak bölgesi Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odununun bazı fiziksel özellikleri. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1*(1), 63–71.

Başboğa, İ. H., Başboğa, H. V., & Eğilmez, M. (2023). Kütahya/Simav bölgesindeki biyolojik olarak zarar görmüş Anadolu kestanesinin (*Castanea sativa* Mill.) odunlarının teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. *ArtGRID—Journal of Architecture Engineering and Fine Arts, 5*(1), 70–84.

Castro, G., Bergante, S., Sansone, D., Bidini, C., & Pelleri, F. (2019). Common walnut (*Juglans regia* L.) wood characteristics in two Italian plantations. *Annals of Silvicultural Research, 43*(1), 35–40. https://doi.org/10.12899/asr-1818

Christoforo, A. L., Aquino, V. B. D. M., Govone, J. S., Dias, A. M. P. G., Panzera, T. H., & Lahr, F. A. R. (2020). Alternative model to determine the characteristic strength value of wood in the compression parallel to the grain. *Maderas. Ciencia y Tecnología, 22*(3), 281–290. https://doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000303

Deutsches Institut für Normung. (1976). *Testing of wood; compression test parallel to grain* (DIN Standard No. 52185:1976-09). DIN Media. https://doi.org/10.31030/1260162

Hoffmeyer, P., Damkilde, L., & Pedersen, T. N. (2000). Structural timber and glulam in compression perpendicular to grain. *Holz als Roh- und Werkstoff, 58*(1–2), 73–80. https://doi.org/10.1007/s001070050390

Hu, W., Wan, H., & Guan, H. (2019). Size effect on the elastic mechanical properties of beech and its application in finite element analysis of wood structures. *Forests, 10*(9), 783. https://doi.org/10.3390/f10090783

International Organization for Standardization. (2014a). *Physical and mechanical properties of wood—Test methods for small clear wood specimens—Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests* (ISO Standard No. 13061-1:2014).

International Organization for Standardization. (2014b). *Physical and mechanical properties of wood—Test methods for small clear wood specimens—Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests* (ISO Standard No. 13061-2:2014).

International Organization for Standardization. (2017). *Physical and mechanical properties of wood—Test methods for small clear wood specimens—Part 17: Determination of ultimate stress in compression parallel to grain* (ISO Standard No. 13061-17:2017).

International Organization for Standardization. (2019). *Wood—Sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens* (ISO Standard No. 3129:2019).

Jifei, L., Zhenlin, C., Xiao, H., Yang, S., & Huaxin, L. (2025). Effects of specimen longitudinal dimensions on the compressive mechanical properties of timber: Experimental investigation and quantitative analysis. *Case Studies in Construction Materials*, e05665. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05665

Kana, S. K., Biwolé, A. B., Mejouyo Huisken, P. W., Ganou Koungang, B. M., Ngono Mvondo, R. R., Tounkam, M. N., & Njeugna, E. (2024). Physical and mechanical properties of two tropical wood (*Detarium macrocarpum* and *Piptadeniastrum africanum*) and their potential as substitutes to traditionally used wood in Cameroon. *International Wood Products Journal, 15*(1), 5–19. https://doi.org/10.1177/20426445241233343

Kantay, R., As, N., & Ünsal, Ö. (2000). The mechanical properties of walnut (*Juglans regia* L.) wood. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 24*(6), 751–756.

Liu, J.-H., Xu, G., Bai, Y.-S., Lin, Y.-J., & Geng, W. (2024). A study of dimensional effects on the stress characteristics of Yunnan pine shafts considering seismic strain rates. *Holzforschung, 78*, 271–282. https://doi.org/10.1515/hf-2023-0098

Marini, F., Manetti, M. C., Corona, P., Portoghesi, L., Vinciguerra, V., Tamantini, S., Kuzminsky, E., Zikeli, F., & Romagnoli, M. (2021). Influence of forest stand characteristics on physical, mechanical properties and chemistry of chestnut wood. *Scientific Reports, 11*, 1549. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80558-w

Mitani, A., Koutsianitis, D., Ninikas, K., Ntalos, G., Theodorakou, K., & Ntalos, P. (2026). Mechanical and hygroscopic properties of chestnut wood (*Castanea sativa* Mill.) from Mount Athos. *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design, 15*(1), 123–132. https://doi.org/10.66211/inno.2026.1.401

Najafian Ashrafi, M., Heidari, A., & Jafarzadeh, H. (2024). Studying the physical and mechanical properties of walnut (*Juglans regia* L.) wood from regions of Mashhad and Maku in Iran. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 39*(2), 111–120. https://doi.org/10.22092/IJWPR.2024.364995.1771

Pedersen, M. U., Clorius, C. O., Damkilde, L., & Hoffmeyer, P. (2003). A simple size effect model for tension perpendicular to the grain. *Wood Science and Technology, 37*(2), 125–140. https://doi.org/10.1007/s00226-003-0168-6

Schlotzhauer, P., Nelis, P. A., Bollmus, S., Gellerich, A., Militz, H., & Seim, W. (2017). Effect of size and geometry on strength values and MOE of selected hardwood species. *Wood Material Science & Engineering, 12*(3), 149–157. https://doi.org/10.1080/17480272.2015.1073175

Sharma, U., Sankhyan, H. P., Rana, V. S., Kumari, A., Sankhyan, N., Kumar, R., Thakur, S., & Sharma, S. (2025). Variability in wood physico-chemical properties of *Juglans regia* L. from Indian Himalayan region. *Wood Material Science & Engineering*, 1–12. https://doi.org/10.1080/17480272.2025.2522989

SimScale GmbH. (2026). *SimScale* [Cloud-based engineering simulation software]. https://www.simscale.com/

Verrill, S. P., Owens, F. C., Kretschmann, D. E., Shmulsky, R., & Brown, L. S. (2019). Visual and MSR grades of lumber are not 2-parameter Weibulls and why this may matter. *Journal of Testing and Evaluation, 48*(5). https://doi.org/10.1520/JTE20180472

Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics, 18*(3), 293–297. https://doi.org/10.1115/1.4010337

Wolenski, A. R. V., Peixoto, R. G., Aquino, V. B. D. M., Christoforo, A. L., Lahr, F. A. R., & Panzera, T. H. (2020). Evaluation of mechanical strengths of tropical hardwoods: Proposal of probabilistic models. *European Journal of Wood and Wood Products, 78*(4), 757–766. https://doi.org/10.1007/s00107-020-01521-0

Zhao, C., Liu, D., Zhang, C., Li, Y., & Wang, Y. (2024). Influence of specimen size on the compressive strength of wood. *Buildings, 14*(4), 1156. https://doi.org/10.3390/buildings14041156

FARKLI TUZLULUK DÜZEYLERİNDEKİ SULAMA SULARININ BUĞDAY YETİŞTİRİLEN TOPRAKLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE PROFİL BOYUNCA TUZ DAĞILIMINA ETKİSİ

Prof. Dr. Servet TEKİN[1]

[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, servettekin@yahoo.com mail, https://orcid.org/0000-0002-5691-2549

Özet

Bu araştırmada, farklı tuzluluk düzeylerine sahip sulama sularının buğday yetiştirilen toprakların fiziksel özellikleri ve profil boyunca tuz dağılımı üzerindeki etkileri, sera koşullarında iki yıl süreyle incelenmiştir. Araştırmada Vorana-CNO79/Kauz ekmeklik buğday çeşidi kullanılmış ve deniz suyu ile kanal suyunun farklı oranlarda karıştırılmasıyla elektriksel iletkenliği (EC) 2.1 - 19.4 dS m^{-1} arasında değişen sulama suları hazırlanmıştır. Çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sistemi kullanılarak lateralden dışa doğru 2 m aralıklarla TA, TB ve TC konuları oluşturulmuştur. Lateral kaynağına en yakın TA parselleri en fazla, TB parselleri orta düzeyde, en uzakta bulunan TC parselleri ise en düşük miktarda sulama suyu almıştır. Böylece lateralden uzaklaştıkça uygulanan su ve tuz miktarının azaldığı bir dağılım gradyanı oluşturulmuştur. Toprak hacim ağırlığı 2009 ve 2010 yıllarında sırasıyla 1.19 - 1.51 ve 1.27 - 1.38 g cm^{-3}; tarla kapasitesi %29.6 - 35.8 ve %46.9 - 55.6; kullanılabilir su içeriği ise 45.30 - 69.70 ve 62.48 - 102.06 mm arasında değişmiştir. Ortalama toprak tuzluluğu birinci yılda 0.54 dS m^{-1} iken ikinci yılda 12.92 dS m^{-1}'ye yükselmiştir. İkinci yılda tuzluluk TA, TB ve TC konularında sırasıyla 2.97 - 12.92, 2.52 - 10.76 ve 1.74 - 6.75 dS m^{-1} arasında değişmiş; en yüksek değerler lateral kaynağına yakın TA konusunda ve özellikle üst toprak katmanlarında belirlenmiştir. Yüksek toprak tuzluluğunun ozmotik etkisi, bitkinin toprak suyundan yararlanma kapasitesini yaklaşık % 33 azaltmıştır. Bulgular, yeterli yıkama ve etkin drenaj sağlanmadığında tuzlu sulama suyunun toprakta önemli tuz birikimine yol açtığını göstermektedir. Bu nedenle sulama suyu kalitesi ve toprak tuzluluğunun düzenli izlenmesi, uygun yıkama gereksiniminin belirlenmesi ve etkin drenajın sağlanması önemlidir. Ayrıca çizgi kaynaklı yağmurlama sistemlerinde lateral boyunca oluşan su ve tuz dağılımındaki mekânsal farklılıklar sulama programlamasında dikkate alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Tuzlu sulama suyu, toprak tuzluluğu, elektriksel iletkenlik, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, kullanılabilir su, buğday

THE EFFECTS OF IRRIGATION WATER WITH DIFFERENT SALINITY LEVELS ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS AND SALT DISTRIBUTION ALONG THE SOIL PROFILE UNDER WHEAT CULTIVATION

Abstract

This study investigated the effects of irrigation water salinity on the physical properties of soils cultivated with wheat and the distribution of salts throughout the soil profile under greenhouse conditions over two years. The bread wheat cultivar Vorana-CNO79/Kauz was used, and irrigation waters with electrical conductivity (EC) ranging from 2.1 to 19.4 dS m^{-1} were prepared by mixing seawater and canal water at different ratios. A line-source sprinkler irrigation system was used to establish experimental treatments at 2-m intervals perpendicular to the lateral, designated as TA, TB, and TC. The TA plots, located closest to the lateral, received the highest amount of irrigation water, followed by TB and TC, which received progressively lower amounts. Thus, a spatial gradient of water and salt application was created with increasing distance from the lateral. Soil bulk density ranged from 1.19 to 1.51 g cm^{-3} in 2009 and from 1.27 to 1.38 g cm^{-3} in 2010, while field capacity ranged from 29.6 to 35.8% and from 46.9 to 55.6%, respectively. Available water content varied between 45.30 - 69.70 mm in 2009 and 62.48 - 102.06 mm in 2010. Mean soil salinity increased from 0.54 dS m^{-1} in the first year to 12.92 dS m^{-1} in the second year. In the second year, soil salinity ranged from 2.97 - 12.92, 2.52 - 10.76, and 1.74- 6.75 dS m^{-1} in TA, TB, and TC, respectively, with the highest values observed in TA, particularly in the upper soil layers. High soil salinity reduced plant access to soil water by approximately 33% through osmotic effects. The findings demonstrate that, in the absence of adequate leaching and effective drainage, saline irrigation water can cause substantial salt accumulation in the soil. Therefore, regular monitoring of irrigation water quality and soil salinity, determination of appropriate leaching requirements, and provision of effective drainage are essential. Spatial variations in water and salt distribution along the line-source sprinkler system should also be considered when designing irrigation schedules.

Keywords: Saline irrigation water, soil salinity, electrical conductivity, bulk density, field capacity, available water, wheat.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış, iklim değişikliği, yağış rejimlerindeki düzensizlikler ve su kaynaklarının farklı sektörler tarafından giderek artan oranlarda kullanılması, tarımsal üretimde kullanılabilir su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliği büyük ölçüde sulamaya bağlı olmakla birlikte, su kaynaklarının yalnızca miktarı değil, kalitesi de üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, sulama suyunun tuzluluğu, toprak – su - bitki ilişkilerini ve dolayısıyla bitki gelişimi ile verim oluşumunu doğrudan etkileyebilen temel kalite göstergelerinden biridir.

Sulama suyunda bulunan çözünmüş tuzlar, sulama uygulamalarıyla toprak profiline taşınmakta ve yeterli yıkama ile drenaj koşullarının sağlanamadığı durumlarda özellikle kök bölgesinde zamanla birikmektedir. Toprak çözeltisindeki tuz konsantrasyonunun artması, ozmotik potansiyelin daha negatif hale gelmesine ve buna bağlı olarak bitkinin su alma gücünün azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sulama suyunun uygunluğunun değerlendirilmesinde elektriksel iletkenlik (EC), sodyumluluk ve iyon toksisitesi gibi göstergelerin yanı sıra iklim, toprak özellikleri, drenaj koşulları, sulama yöntemi ve miktarı ile bitkinin tuzluluk toleransının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Ayers ve Westcot, 1985).

Toprakta tuz birikiminin oluşumunda yalnızca sulama suyunun tuzluluk düzeyi değil, uygulanan suyun miktarı da belirleyici bir role sahiptir. Sulama suyu ile profile giren toplam tuz yükü, suyun tuzluluğu ile uygulanan su miktarının birlikte bir fonksiyonu olduğundan, aynı EC değerine sahip bir suyun farklı miktarlarda uygulanması toprakta farklı düzeylerde tuz birikimine yol açabilmektedir. Buna karşılık, tuz birikiminin düzeyi; evapotranspirasyon, infiltrasyon, perkolasyon, yıkama oranı ve drenaj arasındaki denge tarafından belirlenmektedir. Dolayısıyla sulama suyu tuzluluğu (ECw) ile toprak elektriksel iletkenliği (ECe) arasındaki ilişki doğrudan ve doğrusal olmayıp, toprak - su sistemindeki toplam tuz bilançosunun zamansal gelişimini yansıtmaktadır.

Farklı sulama düzeylerinin aynı deneme içerisinde oluşturulabilmesi açısından çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi önemli bir deneysel olanak sunmaktadır. Hanks ve ark. (1976) tarafından geliştirilen bu sistemde lateral boyunca su uygulamasının görece homojen, lateralden uzaklaştıkça ise sürekli değişen bir dağılım göstermesi, farklı sulama miktarlarının kontrollü koşullarda oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Böylece sulama miktarı, su-tuz yükü ve toprak tuzluluğu arasındaki ilişkilerin aynı deneysel ortam içerisinde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Sulama suyunun tuzluluğundaki artış, yalnızca toprak çözeltisinin kimyasal özelliklerini değil, aynı zamanda toprakların fiziksel ve hidrolik özelliklerini de etkileyebilmektedir. Özellikle sodyumun artışı, kil dispersiyonu ve agregat stabilitesindeki değişimler yoluyla gözeneklilik, infiltrasyon ve su hareketi üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu değişimler, kök bölgesindeki suyun depolanması ve hareketinin yanı sıra bitkinin toprak suyundan yararlanma kapasitesini de etkileyebilmektedir. Dolayısıyla tuzluluğun

değerlendirilmesinde yalnızca ECe değişiminin değil, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, solma noktası ve kullanılabilir su içeriği gibi toprak - su ilişkilerini tanımlayan fiziksel göstergelerin de dikkate alınması gerekmektedir.

Buğday, Çukurova Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştirilen temel tarla bitkilerinden biri olup, sulama suyu kalitesi ile toprak özellikleri ve bitki su ilişkileri arasındaki etkileşimin belirlenmesi, özellikle su ve tuzluluk stresinin birlikte görüldüğü üretim koşullarında önem arz etmektedir. Önceki çalışmalar, yeterli yıkama ve drenaj koşulları sağlanmadığında sulama suyu ile toprağa giren tuzların zaman içerisinde birikebildiğini ortaya koymuştur (Meiri ve Plaut, 1985; Yurtsever, 1989; Bahçeci, 1995; Üzen, 2009; Kanber ve Ünlü, 2010). Benzer şekilde, sulama suyu tuzluluğundaki artışın toprak tuzluluğunda artışla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Noble, 1987; Puntamkar ve ark., 1988; Ödemiş, 2001; Singh, 2009). Bununla birlikte, toprakta ölçülen su miktarı ile bitkinin bu sudan fizyolojik olarak yararlanabilmesi aynı kavram değildir. Tuzluluk arttıkça toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelinin daha negatif hale gelmesi, toprakta fiziksel olarak bulunan suyun bitki tarafından alınabilirliğini azaltabilmektedir. Bu nedenle yüksek tarla kapasitesi veya kullanılabilir su içeriği değerleri, tuzluluk koşulları dikkate alınmaksızın doğrudan yüksek bitki su kullanılabilirliği şeklinde yorumlanmamalıdır.

Bu çalışmanın temel amacı, farklı tuzluluk düzeylerine sahip sulama sularının ve buna bağlı olarak değişen su–tuz yüklerinin buğday yetiştirilen topraklarda oluşturduğu fiziksel değişimleri ve toprak profilindeki tuz dağılımını belirlemektir. Bu kapsamda; *(i)* sulama suyu tuzluluğunun toprak tuzluluğu üzerindeki etkisi, *(ii)* toprak profilindeki tuz dağılımının zamansal ve derinliğe bağlı değişimi, *(iii)* lateralden uzaklığa bağlı olarak oluşan su ve tuz gradyanının toprak tuzluluğuna yansıması, *(iv)* tuzluluk koşullarının hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, solma noktası ve kullanılabilir su içeriği üzerindeki etkisi ve *(v)* artan toprak tuzluluğunun toprak suyunun bitki tarafından fizyolojik olarak kullanılabilirliği üzerindeki olası sınırlayıcı etkileri değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım ile sulama suyu kalitesi, su–tuz yükü, toprak tuzluluğu ve toprak–su ilişkileri arasındaki etkileşimin bütüncül olarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.1. Kuramsal Çerçeve

Sulama suyu kalitesi, toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, sulama suyuyla toprağa taşınan çözünmüş tuzlar yeterli yıkama ve drenaj sağlanmadığında kök bölgesinde birikerek toprak tuzluluğunun artmasına neden olmaktadır. Sulama suyunun tuzluluk düzeyinin belirlenmesinde en yaygın göstergelerden biri elektriksel iletkenlik (EC) değeridir.

Toprakta tuz birikimi, bitkinin toprak suyundan yararlanmasını azaltarak ozmotik stres oluşturmakta ve bitki gelişimini olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca yüksek tuzluluk ve özellikle sodyumluluk, toprak agregatlarının yapısını, gözenekliliğini, infiltrasyonu ve su tutma özelliklerini etkileyerek toprakların fiziksel özelliklerinde

değişimlere yol açabilmektedir. Hacim ağırlığı, tarla kapasitesi ve kullanılabilir su içeriği bu değişimlerin değerlendirilmesinde önemli göstergelerdir.

Toprakta tuz hareketi büyük ölçüde su hareketine bağlıdır. Sulama ile profile giren tuzlar, suyun hareketiyle taşınırken; buharlaşma ve bitki su tüketimi tuzların toprak çözeltisinde yoğunlaşmasına neden olabilmektedir. Yeterli yıkama ve drenaj koşullarının bulunması ise tuzların kök bölgesinden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.

Çizgi kaynaklı yağmurlama sistemlerinde lateral boyunca su dağılımının farklılık göstermesi, uygulanan su ve tuz miktarlarının da mekânsal olarak değişmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle lateralden uzaklığa bağlı olarak toprak tuzluluğunun ve fiziksel özelliklerin farklılaşması beklenmektedir. Sonuç olarak sulama suyunun tuzluluğu, uygulanan su miktarı, toprak özellikleri, yıkama ve drenaj koşulları birlikte değerlendirilmelidir. Bu unsurların düzenli olarak izlenmesi, buğday yetiştiriciliğinde toprak tuzluluğunun kontrolü ve sürdürülebilir sulama yönetimi açısından önem taşımaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, sera koşullarında iki yetiştirme sezonu boyunca yürütülmüş ve çalışmanın temel materyalini ekmeklik buğday bitkisi, farklı tuzluluk düzeylerine sahip sulama suları ve sera toprağı oluşturmuştur. Araştırmada, sulama suyu tuzluluğunun yıllar arasında değiştirilmesiyle toprak profilinde meydana gelen kısa süreli ve birikimli tuzluluk etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Araştırmada kullanılan sulama suları, deniz suyu ile Aşağı Seyhan Sulama Sistemi'nden alınan kanal suyunun farklı oranlarda karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Deniz suyu, Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yumurtalık Balık Üretim Kurumu'ndan alınarak 250 m^3 kapasiteli bir havuzda depolanmıştır. Farklı tuzluluk düzeylerinin hazırlanmasında 15 ton kapasiteli dört tank kullanılmış ve tanklar alg gelişimini ve yüksek sıcaklığın etkisini azaltmak amacıyla beyaz yağlı boya ile boyanmıştır. Hazırlanan sulama sularının elektriksel iletkenlik (ECw) değerleri 2.13–19.37 dS m^{-1} arasında değişmiştir. Birinci yılda buğdayın tuzluluk eşik değerinin altında kalan sulama suları, ikinci yılda ise çıkış dönemi dışındaki dönemlerde EC değeri 9.0 dS m^{-1}'nin üzerinde olan sulama suları uygulanmıştır. Tuzluluk değerlendirmelerinde Ayers ve Westcot (1985) tarafından belirtilen kriterlerden yararlanılmıştır.

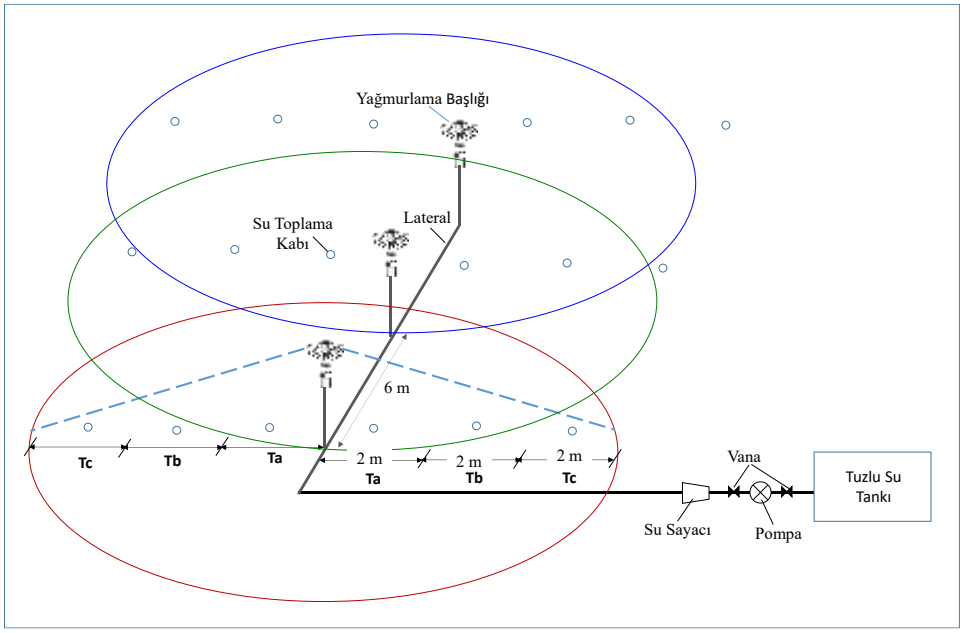
Sulama uygulamalarında çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sistemi kullanılmıştır. Sistem, lateralden uzaklaştıkça uygulanan su miktarının azalmasını sağlayarak farklı sulama düzeylerinin oluşturulmasına olanak vermektedir (Hanks ve ark., 1976; Singh, 2009). Yağmurlama başlıkları 1,5 atm işletme basıncında, yaklaşık 12 m fırlatma uzaklığı ve 180^o açı ile çalıştırılmış; lateral üzerinde 6 m aralıklarla üç başlık kullanılmıştır. Başlıklar doğu ve batı yönlerinde deneme parsellerini sulayacak şekilde yerleştirilmiştir.

Deneme konuları lateralden dışa doğru 2 m aralıklarla TA, TB ve TC olarak oluşturulmuştur (Şekil 1). Lateralin yanında yer alan TA parselleri en yüksek, TB orta ve TC en düşük miktarda sulama suyu almıştır. Buna bağlı

olarak deneme konularında sırasıyla yüksek, orta ve düşük tuz yükü meydana gelmiştir. Böylece sulama suyu miktarı ve tuz yükünün toprak tuzluluğu üzerindeki etkisinin birlikte değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Sulama zamanının belirlenmesinde kök bölgesindeki kullanılabilir suyun %50'sinin tüketilmesi esas alınmıştır (Kanber, 1997). Yağış meydana gelen günlerde planlı sulamalar ertelenmiş, yağış miktarları kaydedilerek sulama programına dahil edilmiştir. Teknik nedenlerle sulama yapılamayan dönemlerde gerçekleşen yağışlar da daha sonra toplam sulama uygulamasında dikkate alınmıştır. Sulamalar birinci yılda 28.04.2009, ikinci yılda 09.04.2010 tarihinde sona erdirilmiştir. Sulama suyu miktarları, tarla kapasitesi ile mevcut toprak suyu arasındaki fark dikkate alınarak Kanber (1997)'e göre hesaplanmıştır.

Toprak örnekleri 0-30, 30-60, 60-90 ve 90-120 cm derinliklerinden alınmıştır. Örneklemeler her iki yetiştirme yılında başlangıç, orta dönem ve hasat olmak üzere üç dönemde gerçekleştirilmiştir. Birinci yılda örnekleme tarihleri 05.01.2009, 26.03.2009 ve 18.05.2009; ikinci yılda ise 06.01.2010, 22.03.2010 ve 20.05.2010 olarak belirlenmiştir. Bu örneklemelerle sulama uygulamalarına bağlı olarak toprak profilindeki tuz dağılımının zamansal ve derinliğe bağlı değişimi izlenmiştir.



Şekil 1. Çizgi kaynaklı yağmurlama sisteminde görünüm ve deneme konuları

Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla her bir örnekleme derinliğinden alınan toprak örnekleri laboratuvarda analiz edilmiştir. Hacim ağırlığı, bozulmamış toprak örneklerinin etüvde 105 °C'de sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulması ve kuru toprak kütlesinin örnek hacmine oranlanmasıyla belirlenmiş ve g cm^{-3} olarak ifade edilmiştir.

Tarla kapasitesi ve solma noktası, toprak örneklerinin ilgili su gerilimlerinde tuttukları su miktarlarının belirlenmesiyle saptanmış ve gravimetrik su içeriği olarak (%) ifade edilmiştir. Kullanılabilir su miktarı, tarla

kapasitesi ile solma noktası arasındaki fark esas alınarak, her bir toprak katmanının hacim ağırlığı ve kalınlığı dikkate alınarak mm cinsinden hesaplanmıştır.

Toprak tuzluluğu, doygun toprak macunu ekstraktının elektriksel iletkenliği (ECe) üzerinden belirlenmiştir. Toprak örnekleri deiyonize su ile doygunluk macunu kıvamına getirildikten sonra ekstrakt elde edilmiş ve ekstraktın elektriksel iletkenliği bir EC metre kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen değerler dS m^{-1} cinsinden ifade edilmiş ve toprak profilindeki tuzluluk düzeyinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Sulama suyu analizleri kapsamında kanal suyu, deniz suyu ve bunların farklı oranlarda karıştırılmasıyla hazırlanan sulama sularından örnekler alınmıştır. Örnekleme işlemlerinde Kanber (1992), sulama sularının kalite ve uygunluk değerlendirmelerinde ise USSL (1954) ile Kanber ve Ünlü (2010) tarafından belirtilen kriterlerden yararlanılmıştır. Özellikle sulama sularının elektriksel iletkenlik ve tuzluluk özellikleri dikkate alınarak uygulamaların toprakta oluşturabileceği tuz yükü değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Sera Toprağında Fiziksel Özellikler ve Tuzluluğun Zamansal Değişimi

Çalışmanın yürütüldüğü iki yetiştirme döneminde sera toprağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler ile toprak su ve tuzluluk durumundaki farklılıklar Tablo 1'de verilmiştir. 2009 ve 2010 yetiştirme dönemleri arasında sera toprağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinde belirgin değişimler meydana geldiği belirlenmiştir. En dikkat çekici farklılık, toprak su tutma özelliklerindeki artış ile topraktaki tuzluluk (ECe) değerlerindeki belirgin yükselmenin aynı dönemde ortaya çıkmasıdır. Bu durum, ikinci yetiştirme yılında toprak profilinin hem su depolama kapasitesi hem de tuzluluk açısından başlangıç koşullarından önemli ölçüde farklılaştığını göstermektedir.

Hacim ağırlığı 2009 yılında 1.19 - 1.51 g cm^{-3} arasında değişmiş ve derinlikle birlikte artış gösterirken, 2010 yılında 1.27–1.38 g cm^{-3} aralığında kalarak profil boyunca daha homojen bir dağılım sergilemiştir (Çizelge 1). Bu farklılıklar, toprak tekstürü, agregat yapısı, sıkışma durumu ve ıslanma - kuruma koşullarındaki değişimlerle ilişkili olduğu söylenebilir (Hillel, 2004). Bununla birlikte, iki yetiştirme dönemi arasındaki farklılığın tek bir fiziksel parametre üzerinden açıklanması mümkün olmayıp, toprak yapısı ve su- tuz dinamiklerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo 1. Çalışmanın yürütüldüğü 2009 ve 2010 yıllarına ait sera toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yıl	Derinlik (cm)	Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	Tarla kapasitesi (g g^{-1}, %)	Solma noktası (g g^{-1}, %)	Kullanılabilir su (mm)	ECe (dS m^{-1})
2009	0-30	1.19	34.9	18.2	59.62	0.978
	30-60	1.32	35.8	18.2	69.70	0.313
	60-90	1.42	35.1	19.2	67.73	0.440
	90-120	1.51	29.6	19.6	45.30	0.429
2010	0-30	1.38	47.4	26.2	87.77	12.68
	30-60	1.32	50.3	27.5	90.29	14.60
	60-90	1.27	46.9	30.5	62.48	14.20
	90-120	1.35	55.6	30.4	102.06	10.20

Toprak su tutma özellikleri 2010 yılında belirgin biçimde artmıştır. Tarla kapasitesi 2009 yılında % 29.6 - 35.8 iken 2010 yılında % 46.9 - 55.6'ya, solma noktası ise % 18.2 - 19.6'dan % 26.2–30.5'e yükselmiştir. Buna bağlı olarak kullanılabilir su miktarı 45.30–69.70 mm'den 62.48 - 102.06 mm'ye ulaşmıştır (Tablo 1). Tarla kapasitesi ve solma noktasındaki eş zamanlı artış, toprağın su depolama kapasitesinin yükseldiğini gösterse de, bu artışın bitki tarafından kullanılabilir su miktarında aynı oranda bir artış anlamına gelmediği dikkate alınmalıdır. Özellikle yüksek tuzluluk koşullarında toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelinin daha negatif hale gelmesi, bitkinin topraktan su alma gücünü sınırlandırabilmektedir (Ayers ve Westcot, 1985).

Tablo 1'de en dikkat çekici değişim toprak tuzluluğu (ECe) değerlerinde görülmüştür. ECe, 2009 yılında 0.313 - 0.978 dS m^{-1} arasında değişirken, 2010 yılında tüm profil boyunca 10.2 - 14.6 dS m^{-1} düzeyine yükselmiştir. Bu artış, tuzluluğun yalnızca yüzey toprağıyla sınırlı kalmadığını, 120 cm'lik profil boyunca önemli düzeyde birikim meydana geldiğini göstermektedir. 2010 yılında ECe'nin 0-30, 30-60, 60-90 ve 90-120 cm katmanlarında sırasıyla 12.68, 14.60, 14.20 ve 10.20 dS m^{-1} olması, tuzların sulama suyu ve toprak suyu hareketleriyle profil içerisinde taşındığını ve özellikle 30-90 cm katmanlarında daha yüksek düzeylerde biriktiğini belirlenmiştir.

2009-2010 deneme yılında ECe'de meydana gelen yaklaşık bir büyüklük mertebesindeki artış, tekrarlanan tuzlu sulama uygulamaları altında gelişen kümülatif tuz birikimiyle uyumludur. Sulama suyuyla profile giren tuzların yeterli yıkama ve drenaj sağlanamadığında toprakta tutulması, zaman içerisinde kök bölgesi tuzluluğunun yükselmesine neden olabilmektedir (Stavi ve ark., 2021; Paz ve ark., 2023). Bununla birlikte, ECe'deki değişimin yalnızca sulama suyu tuzluluğuyla açıklanması doğru olmayıp, uygulanan sulama suyu miktarı ve sıklığı, evapotranspirasyon, perkolasyon, toprak hidrolik özellikleri ve drenaj koşulları arasındaki toplam tuz bilançosu dikkate alınmalıdır. Dikkat çekici bir diğer bulgu, 2010 yılında kullanılabilir su miktarındaki artış ile yüksek ECe değerlerinin aynı dönemde ortaya çıkmasıdır. Bu durum, toprakta depolanan su miktarının tek başına bitkinin suya erişimini temsil etmediğini göstermektedir. Yüksek tuzluluk, toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelini azaltarak köklerin su alımını sınırlandırabilir ve böylece fiziksel olarak yüksek görünen toprak su içeriğinin fizyolojik kullanılabilirliği azalabilir (Wang ve ark., 2023; Pachepsky ve ark., 2024). Dolayısıyla bu sonuçlar,

toprak su durumunun değerlendirilmesinde gravimetrik veya hacimsel su içeriğinin yanı sıra toprak çözeltisinin tuzluluğunun da birlikte ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Genel olarak, iki yetiştirme dönemi arasındaki değişimler, özellikle ECe'deki belirgin artışın, toprak su tutma özelliklerindeki değişimden çok daha güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, tekrarlanan tuzlu sulama altında toprakta gelişen kümülatif tuz bilançosunun, bitkinin su kullanım koşullarının değerlendirilmesinde temel bir belirleyici olduğunu göstermektedir. Özellikle 30 - 90 cm katmanlarında 14 dS m^{-1}'nin üzerindeki ECe değerleri, kök bölgesinde yüksek tuzluluk koşullarının oluştuğuna işaret etmekte ve toprakta depolanan suyun bitki tarafından kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ozmotik kısıtın dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

3.2. Sulama Suyu Tuzluluğunun Toprak Tuzluluğuna Etkisi

Şekil 4.5'teki sonuçlar, sulama suyu tuzluluğundaki farklılıkların iki yıllık uygulama süreci sonunda toprak profilindeki ECe değerlerine belirgin biçimde yansıdığını göstermektedir. İkinci yetiştirme yılı sonunda maksimum ECe değerleri TA, TB ve TC uygulamalarında sırasıyla 12.92, 10.76 ve 6.75 dS m^{-1} olarak belirlenmiş ve uygulamalar arasında TA > TB > TC şeklinde bir farklılaşma ortaya çıkmıştır. Bu eğilim, artan sulama suyu tuz yükünün, yeterli tuz uzaklaştırımı sağlanmadığı koşullarda toprak profilindeki net tuz birikimini artırabileceğini düşündürmektedir.

Sulama suyuyla toprak profiline taşınan çözünmüş tuzlar, yeterli yıkama ve drenaj sağlanmadığında kök bölgesinde zamanla birikmekte; bu durum toprak çözeltisindeki tuz konsantrasyonunu artırarak ECe'nin yükselmesine yol açabilmektedir (Kramer ve Mau 2023). Özellikle evapotranspirasyonun perkolasyona göre baskın olduğu koşullarda suyun sistemden uzaklaştırılmasına karşın tuzların önemli bir bölümünün profilde kalması, zaman içerisinde kümülatif tuz birikimine yol açabilmektedir. Bu mekanizma, mevcut çalışmada özellikle TA uygulamasında ikinci yıl sonunda belirlenen yüksek ECe değerinin olası açıklamalarından biridir ve sulama kaynaklı tuzluluğun uzun dönemli gelişiminde kümülatif tuz yükünün önemini desteklemektedir (Mohanavelu ve ark.,2021).

Bununla birlikte, sulama suyu ECw'sindeki farklılıkların ECe'ye doğrudan veya doğrusal biçimde aktarılması beklenmemelidir. Toprakta oluşan net tuz birikimi; sulama suyu ile sisteme giren toplam tuz yükünün yanı sıra sulama miktarı ve sıklığı, evapotranspirasyon, toprak tekstürü ve hidrolik özellikler, yıkama fraksiyonu ve drenaj etkinliği tarafından belirlenmektedir (Ayers ve Westcot, 1985; Tessema ve ark.,2023). Dolayısıyla Şekil 4.5'teki TA, TB ve TC arasındaki ECe farklılıkları, yalnızca farklı sulama suyu kalitelerinin değil, tuz girdisi ile yıkama ve drenaj yoluyla gerçekleşen tuz çıkışı arasındaki net dengenin bir sonucu olarak değerlendirilmelidir.

İkinci yılın sonunda ulaşılan yüksek ECe değerleri, önceki yetiştirme döneminden kalan tuzların yeni sulama uygulamalarıyla sisteme giren tuzlara eklenmiş olabileceğini de düşündürmektedir. Özellikle sera koşullarında

doğal yağışın sınırlı olması, doğal yıkama potansiyelini azaltmakta ve kök bölgesindeki tuzların uzaklaştırılmasını sulama ve drenaj yönetimine daha fazla bağımlı hale getirmektedir. Bu nedenle iki yıllık süreçte gözlenen ECe artışı, yalnızca mevcut sezonun tuz girdisiyle değil, kümülatif tuz bilançosuyla birlikte değerlendirilmelidir (Mohanavelu ve ark.,2021).

Genel olarak, TA, TB ve TC uygulamalarında belirlenen sırasıyla 12.92, 10.76 ve 6.75 dS m^{-1} düzeyindeki maksimum ECe değerleri, yüksek tuzlulukta sulama suyunun tekrarlı kullanımının, yeterli yıkama ve etkin drenaj sağlanmadığında toprak tuzluluğunu zaman içerisinde artırabileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bulgular ECw - ECe ilişkisinin basit bir aktarım olmadığını**,** toprak–su–bitki sistemindeki tuz girdisi, su tüketimi, perkolasyon, yıkama ve drenaj süreçlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Mohanavelu ve ark.,2021; Tessema ve ark.,2023).

3.3. Toprak Profilinde Tuzun Düşey Dağılımı

Şekil 4.5'teki ECe dağılımları, toprak tuzluluğunun profil boyunca homojen olmadığını ve özellikle ikinci yetiştirme yılında üst toprak katmanlarında belirgin bir tuz birikimi meydana geldiğini göstermektedir. Profil derinliği arttıkça ECe değerlerinin genel olarak azalması, sulama suyuyla sisteme giren tuzların düşey dağılımının su hareketi, evapotranspirasyon ve yıkama koşullarının birlikte etkisi altında şekillendiğini düşündürmektedir. Bu nedenle gözlenen ECe profili, yalnızca tuzların mevcut konumunu değil, aynı zamanda profil içerisindeki su ve tuz taşınımının zamansal bütünleşik sonucunu yansıtmaktadır.

Sulama suyuyla toprağa giren çözünmüş tuzlar, infiltrasyon ve perkolasyon yoluyla profil içerisinde aşağı doğru taşınabilmektedir. Bununla birlikte, kökler tarafından suyun alınması ve evapotranspirasyon yoluyla sistemden uzaklaştırılması, tuzların eşdeğer miktarda uzaklaştırılması anlamına gelmemektedir. Perkolasyonun yetersiz kaldığı koşullarda su kaybının tuz kaybından daha yüksek olması, kök bölgesindeki çözeltinin konsantre olmasına ve dolayısıyla ECe'nin yükselmesine neden olabilmektedir (Ayers ve Westcot, 1985). Özellikle sera koşullarında doğal yağışın sınırlı olması, bu sürecin yağış kaynaklı doğal yıkama ile dengelenmesini engelleyerek tuz birikimi riskini artırabilmektedir.

Mevcut çalışmada ECe'nin derinlikle birlikte azalması, net tuz birikiminin yüzeye yakın katmanlarda daha belirgin olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, sulama suyuyla yüzeyden gerçekleşen sürekli tuz girdisinin yanı sıra üst toprak katmanlarında meydana gelen yoğun evapotranspiratif su kayıplarıyla ilişkili olabilir. Ancak bu dağılım, alt katmanlara tuz taşınımının gerçekleşmediği şeklinde yorumlanmamalıdır. Aksine, sulama sonrasında çözünmüş tuzların bir bölümünün perkolasyonla daha derin katmanlara taşınması beklenirken, bu taşınımın üst katmanlarda oluşan net tuz birikimini tamamen dengeleyecek düzeyde olmadığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla Şekil 4.5'teki profil, tuzların tamamen immobilize olmasından ziyade, düşey tuz taşınımı ile kök bölgesindeki tuz konsantrasyonunun eş zamanlı gerçekleştiği dinamik bir dengeyi temsil etmektedir.

Toprak özellikleri de bu düşey dağılımın şekillenmesinde önemli bir kontrol mekanizmasıdır. Tekstür, gözenek yapısı, hidrolik iletkenlik ve su tutma kapasitesi, infiltrasyon ve perkolasyonun hızını ve dolayısıyla çözünmüş tuzların profil içerisindeki hareketini doğrudan etkileyebilmektedir. Yüksek su tutma kapasitesine sahip ince tekstürlü topraklarda suyun profil içerisindeki hareketi daha uzun süreli ve karmaşık bir karakter gösterebilirken, daha yüksek hidrolik iletkenliğe sahip koşullarda tuzların alt katmanlara taşınması daha hızlı gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle aynı sulama suyu tuzluluğu altında dahi farklı toprak koşullarında farklı ECe profillerinin oluşması beklenmektedir (Ayers ve Westcot, 1985; Tessema ve ark., 2023).

İkinci yetiştirme yılında üst katmanlarda belirlenen yüksek ECe değerleri, zamansal tuz birikimi ile düşey tuz dağılımının birbirinden bağımsız süreçler olmadığını göstermektedir. Önceki yetiştirme döneminde profil içerisinde uzaklaştırılamayan tuzların sonraki sezona taşınması ve yeni sulama uygulamalarıyla sisteme ilave tuz yükünün eklenmesi, özellikle yüzeye yakın katmanlarda kümülatif tuz birikimini artırmış olabilir. Bu durum, uzun süreli tuzlu sulama uygulamalarında toprak tuzluluğunun yalnızca mevcut sulama sezonunun koşullarıyla değil, önceki dönemlerden devreden tuz yüküyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir (Mohanavelu ve ark.,2021).

Uygulamalar arasındaki farklılıklar da bu değerlendirmeyi desteklemektedir. İkinci yıl sonunda maksimum ECe değerlerinin TA, TB ve TC uygulamalarında sırasıyla 12,92, 10,76 ve 6,75 dS m^{-1} olması, daha yüksek tuz girdisinin sezon sonunda daha yüksek toprak tuzluluğuyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, TA > TB > TC farklılaşmasının yalnızca sulama suyu tuzluluğuna bağlanması doğru olmayacaktır. Net tuz birikimi, sisteme giren tuz yükünün yanı sıra sulama miktarı ve sıklığı, evapotranspirasyon, perkolasyon, drenaj ve yıkama etkinliği tarafından belirlenmektedir (Ayers ve Westcot, 1985; Tessema ve ark.,2023).

Toprak profilinde tuzların özellikle aktif kök bölgesinde yoğunlaşması, bitkinin su ilişkileri açısından da önem taşımaktadır. Kök bölgesindeki ECe artışı, toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelini daha negatif hale getirerek bitkinin topraktan su almasını güçleştirebilir. Bu nedenle profil boyunca belirlenen ECe farklılıkları yalnızca toprak kalite göstergesi olarak değil, bitkinin gelişme dönemi boyunca maruz kaldığı potansiyel ozmotik stresin mekânsal bir göstergesi olarak da değerlendirilmelidir (Ayers ve Westcot, 1985).

Genel olarak, Şekil 4.5'te gözlenen düşey ECe gradyanı, sera koşullarında tekrarlı tuzlu sulamanın, yeterli yıkama ve drenaj sağlanmadığında, tuzların özellikle yüzeye yakın ve kök bölgesi katmanlarında kümülatif olarak birikmesine yol açabileceğini ortaya koymaktadır. Bulgular, toprak tuzluluğunun değerlendirilmesinde yalnızca sulama suyunun ECw değerinin değil, profil boyunca ECe'nin zamansal ve düşey değişiminin, tuz girdisi–yıkama–drenaj dengesinin ve aktif kök bölgesindeki tuz birikiminin birlikte dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Tessema ve ark.,2023).

3.3. Toprak Tuzluluğunun Zamansal Değişimi

Şekil 4.5'te verilen sonuçlar, toprak profilindeki doygunluk ekstraktı elektriksel iletkenliğinin (ECe) yetiştirme sezonu boyunca belirgin bir zamansal değişim sergilediğini ortaya koymuştur. ECe değerlerinin sezon başlangıcında daha düşük düzeylerde bulunmasına karşın, yetiştirme döneminin ilerlemesiyle artış eğilimine girmesi ve en yüksek değerlerin sezon sonunda belirlenmesi, kök bölgesindeki tuz dengesinin zaman içerisinde birikim yönünde değiştiğine işaret etmektedir. Bu değişim, toprak tuzluluğunun yalnızca başlangıç toprak özellikleriyle değil, yetiştirme sezonu boyunca gerçekleşen su ve tuz hareketlerinin kümülatif etkisiyle şekillendiğini göstermektedir.

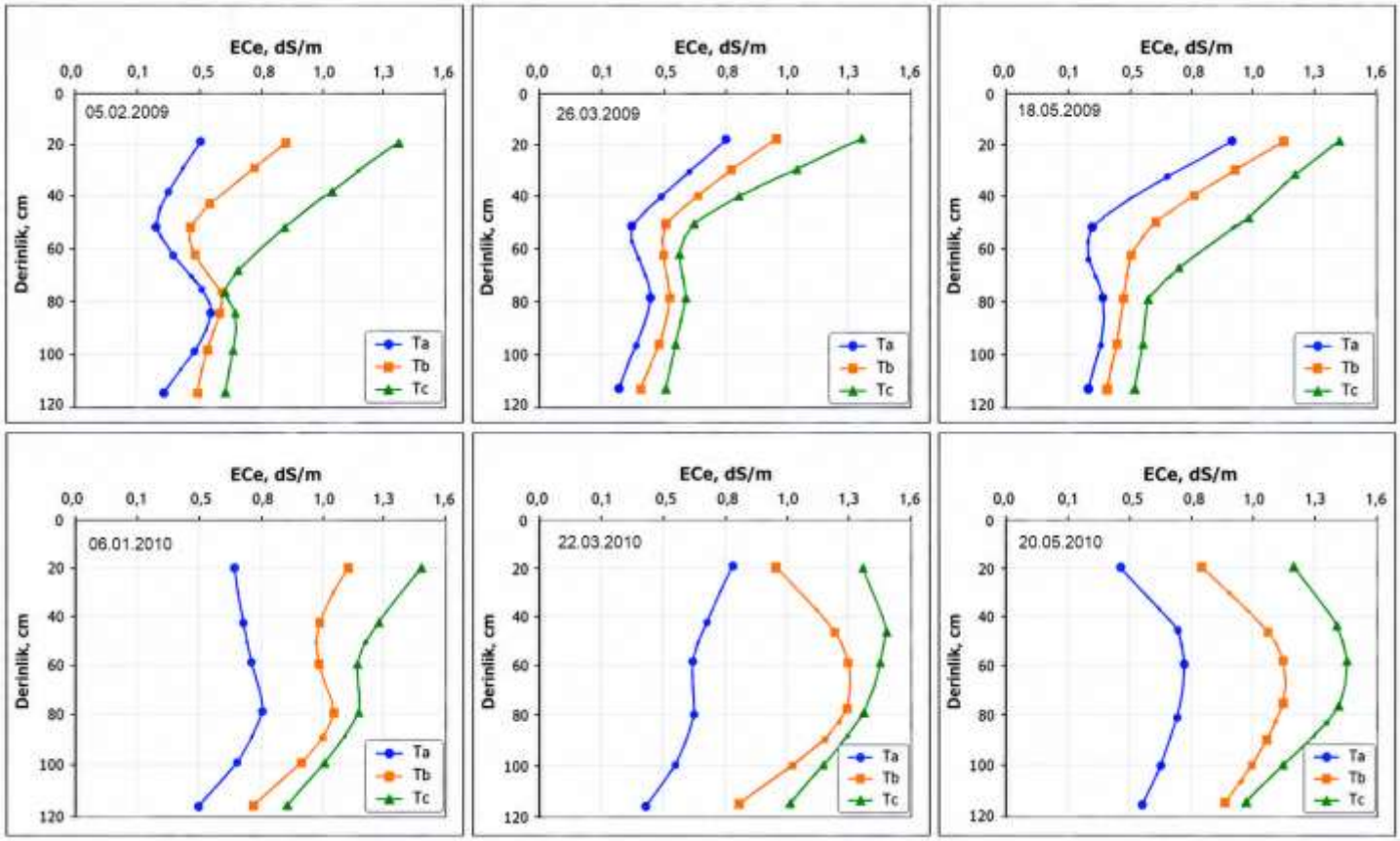
Sulama suyuyla birlikte toprağa sürekli olarak çözünmüş tuzların taşınması, söz konusu artışın temel mekanizmalarından biri olarak değerlendirilebilir. Sulama suyunda bulunan tuzların bitki tarafından yalnızca sınırlı bir bölümünün alınması nedeniyle, kök bölgesine giren tuzların önemli bir kısmı toprak sisteminde tutulabilmektedir. Özellikle uygulanan suyun evapotranspirasyon yoluyla uzaklaştırıldığı, ancak buna karşılık yeterli miktarda suyun kök bölgesinin altına süzülerek tuzları sistem dışına taşıyamadığı koşullarda, tuzlar zaman içerisinde konsantre olmakta ve ECe yükselmektedir (Mohanavelu ve ark.,2021). Dolayısıyla gözlenen artış, yalnızca sulama suyunun tuzluluğunun değil, aynı zamanda tuz girdisi ile yıkama ve drenaj yoluyla gerçekleşen tuz kayıpları arasındaki net dengenin bir sonucu olarak değerlendirilmelidir. Bu süreç sera koşullarında daha belirgin hale gelebilmektedir. Doğal yağışın bulunmaması veya sınırlı olması, açık tarla koşullarında meydana gelebilecek doğal yıkama sürecini önemli ölçüde sınırlandırmakta ve kök bölgesindeki tuzların uzaklaştırılmasını sulama yönetimi ile drenaj koşullarına bağımlı hale getirmektedir. Bu nedenle, yeterli yıkama fraksiyonu ve etkin drenaj sağlanmadığında, her sulama uygulaması sisteme yalnızca su değil, aynı zamanda ilave bir tuz yükü kazandırmakta ve bu yük sezon boyunca kümülatif olarak artabilmektedir (Ayers ve Westcot, 1985; Tessema ve ark., 2023).

Çalışmanın özellikle 2010 yılına ait sonuçları bu kümülatif tuz birikimini açık biçimde yansıtmaktadır. Sezon sonunda ECe değerleri TA, TB ve TC uygulamalarında sırasıyla 12.92, 10.76 ve 6.75 dS m^{-1} düzeylerine ulaşmıştır. Uygulamalar arasında gözlenen bu farklılık, sulama suyu ile sisteme giren tuz yükünün artmasının sezon sonu kök bölgesi tuzluluğunda karşılık bulduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, ECe'deki farklılıkların yalnızca sulama suyu EC'sine atfedilmesi uygun değildir; zira net tuz birikimi, uygulanan sulama suyu miktarı ve sıklığının yanı sıra evapotranspirasyon, toprak tekstürü ve hidrolik özellikler, drenaj kapasitesi ve yıkama etkinliği gibi faktörlerin ortak etkisi altında ortaya çıkmaktadır (Ayers ve Westcot, 1985; Tessema ve ark.,2023). 2010 yılı sonunda belirlenen yüksek ECe değerleri, ayrıca iki yıllık yetiştirme sürecinde ortaya çıkan kümülatif tuz bilançosu açısından değerlendirilmelidir. Önceki yetiştirme döneminde kök bölgesinden yeterince uzaklaştırılamayan tuzların sonraki sezona başlangıç tuz yükü olarak taşınması ve yeni sulama uygulamalarıyla

bu yüke ilave tuzların eklenmesi, uzun dönemli tuz birikimini güçlendirmiş olabilir. Bu nedenle ikinci yıl sonunda belirlenen yüksek ECe değerleri, yalnızca 2010 sezonundaki tuz girdisini değil, iki yıllık süreçte tuz girdileri ile tuz kayıpları arasındaki kümülatif dengesizliği yansıtıyor olabilir. Benzer şekilde, uzun süreli tuzlu sulama uygulamalarında yetersiz yıkama ve drenaj koşullarının toprakta giderek artan tuz birikimine neden olabileceği bildirilmiştir (Mohanavelu ve ark.,2021).

ECe'nin sezon içerisinde sürekli olarak yükselmesi, bitkinin maruz kaldığı tuzluluk koşullarının da gelişme dönemi boyunca değiştiğini göstermesi bakımından önemlidir. Sezon başındaki nispeten düşük toprak tuzluluğunun ilerleyen dönemlerde yüksek değerlere ulaşması, bitkinin özellikle gelişmenin ileri dönemlerinde artan ozmotik stres koşullarıyla karşılaşmış olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle, toprak tuzluluğunun tek bir zaman noktasında belirlenmesi yerine farklı gelişme dönemlerinde izlenmesi, kök bölgesindeki tuzluluk dinamiğinin ve bitkinin sezon boyunca maruz kaldığı tuz stresinin daha gerçekçi biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Tessema ve ark.,2023).

Sonuç olarak, Şekil 4.5'te ortaya çıkan zamansal ECe artışı, sera koşullarında tuzlu sulama suyunun tekrarlı kullanımının, evapotranspiratif su kayıpları ve sınırlı yıkama ile birlikte kök bölgesinde kümülatif tuz birikimini teşvik edebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle 2010 yılı sonunda TA, TB ve TC uygulamalarında sırasıyla 12.92, 10.76 ve 6.75 dS m^{-1} olarak belirlenen ECe değerleri, sulama suyu kalitesinin tek başına değerlendirilmesinin yeterli olmadığını; sürdürülebilir tuzluluk yönetimi açısından sulama programı, yıkama koşulları ve drenajın birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, uzun dönemli tuzlu sulama stratejilerinin değerlendirilmesinde yalnızca sulama suyunun başlangıç ECw değerinin değil, sezon boyunca oluşan kümülatif tuz yükünün ve toprak–su–bitki sistemindeki net tuz bilançosunun dikkate alınması gerekmektedir (Ayers ve Westcot, 1985; Mohanavelu ve ark.,2021; Tessema ve ark.,2023).



Şekil 4.5. Sera çalışmasında deneme konularına uygulanan tuzlu sulama suyunun toprakta tuz değişimine etkisi

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İki yetiştirme sezonu sonucunda, sulama suyu tuzluluğundaki artışın toprak tuzluluğunu belirgin biçimde artırdığı ve bu etkinin zamanla güçlendiği ortaya konmuştur. Ortalama toprak ECe değeri birinci yılda 0,54 dS m^{-1} iken ikinci yılda 12,92 dS m^{-1}'ye ulaşmış; yüksek tuzluluk düzeyleri 0–120 cm toprak profilinin tamamında gözlenmiştir. Lateral boyunca ECe'nin azalması ve TA, TB ve TC konularında maksimum değerlerin sırasıyla 12.92, 10.76 ve 6.75 dS m^{-1} olması, toprak tuzluluğunun sulama suyu tuzluluğunun yanı sıra uygulanan su miktarı ve tuz yükü tarafından da belirlendiğini göstermiştir. Artan tuzluluk, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi ve solma noktası gibi toprak özelliklerini değiştirmiş; kullanılabilir su miktarı yaklaşık % 41 artmasına rağmen ozmotik stres nedeniyle bitkinin toprak suyundan yararlanma kapasitesi yaklaşık % 33 azalmıştır. Bu sonuç, tuzlu koşullarda toprakta daha fazla su bulunmasının bitki için daha yüksek su kullanılabilirliği anlamına gelmediğini göstermektedir. Bu nedenle, tuzlu sulama suyunun sürdürülebilir kullanımında sulama suyu EC'si ve toprak ECe'si düzenli olarak izlenmeli; sulama miktarı, drenaj ve yıkama gereksinimi birlikte değerlendirilmelidir. Uzun süreli tuzlu su kullanımında kök bölgesinde kritik tuz birikiminin önlenmesi için uygun sulama yönetimi ve tuza dayanıklı çeşitlerin kullanımı önem taşımaktadır. Bulgular ayrıca, çizgi kaynaklı yağmurlama sisteminin farklı su

ve tuz yüklerinin kontrollü biçimde oluşturulması ve tuzluluğun mekânsal dağılımının değerlendirilmesi için etkili bir araştırma yaklaşımı olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

Ayers, R. S., Westcot, D.W. (1985). Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. Rome.

Bahçeci, İ. (1995). Tarla Fasulyesinde Tuz-Su ve Verim İlişkilerinin İrdelenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tar. Yap. ve Sul. Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana, 109 s.

Hanks, R. J., Keller, J., Rasmussen, V. P., Wilson, G. D. (1976). Line Source Sprinkler for Continuous Variable Irrigation-Crop Production Studies. Soil Science Society of America Journal, 40(3), 426–429.

Hıllel, D. (2000). Salinity Management for Sustainable Irrigation: Integrating Science, Environment, and Economics. The World Bank, Washington, DC, 92 s.

Kanber, R. (1992). Bitki Üretim Fonksiyonlarının Eldesinde Çizgi Kaynaklı Yağmurlama Sistemlerinin Kullanılması. Köy Hiz. Ar. Enst. 435-1 Nolu Ana Proje, Ek Talimat-3.

Kanber, R. (1997). Sulama, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 174, Ders Kitapları Yayın No: 52, Adana.

Kanber, R., Ünlü, M. (2010). Tarımda Su ve Toprak Tuzluluğu. Ç.Ü. Ziraat Fak. Gen. Yay. No:281. Ders Kitapları Yay. No:A-87 Adana. 307 s.

Kramer, I., Mau, Y. (2023). Review: Modeling the effects of salinity and sodicity in agricultural systems. Water Resources Research, 59, e2023WR034750.

Meiri, A., Plaut, Z. (1985). Crop production and management under saline conditions. In: Pasternak, D., San Pietro, A. (eds) Biosalinity in Action: Bioproduction with Saline Water. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 17. Springer, Dordrecht.

Mohanavelu, A., Naganna, S. R., Al-Ansari, N. (2021). Irrigation induced salinity and sodicity hazards on soil and groundwater: An overview of its causes, impacts and mitigation strategies. Agriculture, 11(10), 983.

Noble, C.L., Hunter, C.C., Wildes, R.A. (1987). Irrigation of Lucerne with Saline Groundwater on Slowly Permeable Doplex Soil Inst. for Irrigation and Salinity Res. Victorian Dep. Of Agric. And Rural Affairs, Tature Victoria, 8(1): 35-48, Australia.

Ödemiş, B. (2001). Farklı Nitelikteki Sulama Sularının ve Yıkama Oranlarının Pamuk Bitkisinin Değişik Gelişme Dönemlerindeki Etkilerinin İrdelenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tar. Yap. ve Sul. Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana, 211 s.

Pachepsky, Y., Yakirevich, A., Ponizovsky, A.A., Gummatov, N. (2024). The osmotic potential of soil solutions in salt tolerance studies: Following M. Th. van Genuchten's innovation. Vadose Zone Journal, 23, e20299.

Paz, A.M., Amezketa, E., Canfora, L., Castanheira, N., Falsone, G., Goncalves, M.C., Gould, I., Hristov, B., Mastrorilli, M., Ramos, T., Thompson, R., Costantini, E.A.C. (2023). Salt-affected soils: field-scale strategies for prevention, mitigation, and adaptation to salt accumulation, Italian Journal of Agronomy,18(2): 2166.

Puntamkar, S.S., Kant, K., Mathur, S.K. (1988). Effect of Saline Soil Water Irrigation on Soil Properties. Transaction of Indian Society of Desert Technology, No:2, 69-72, India.and the Future. Encyclopedia Britannia Chicago.Mapping Soil Salinity. Adv. Agron. 49:201-251.

Singh, R.B., Chauhan, C.P.S., Mınhas, P.S. (2009). Water Production Functions of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Irrigated with Saline and Alkali Waters Using Double-line Source Sprinkler System. Agricultural Water Management, 96 (2009) 736-744.

Stavi, I., Thevs, N., Priori, S. (2021) Soil salinity and sodicity in drylands: a review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. Front. Environ. Sci. 9: 712831.

Tessema, N., Yadeta, D., Kebede, A., Ayele, G.T. (2023). Soil and irrigation water salinity, and its consequences for agriculture in Ethiopia: A systematic review. Agriculture, *13*(1), 109.

USSL. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Agriculture Handbook, No:60, 160s., USA.

Üzen, N. (2009). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Koşullarında Yetiştirilen Kimi Pamuk Çeşitlerinin Farkli Seviyelerdeki Tuz Stresine Gösterdikleri Tepkilerin İncelenmesi Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana..

Wang, T., Xu, Y., Zuo, Q., Shi, J., Wu, X., Liu, L., Sheng, J., Jiang, P., Ben-Gal, A. (2023). Evaluating and improving soil water and salinity stress response functions for root water uptake, Agricultural Water Management, 287: 108451.

Yurtsever, E. (1989). Değişik Kalitedeki Sulama Sularının Soya Fasulyesi Verimine Etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniv. Fen Bil. Enst. Tar. Yap. ve Sul. Anabilim Dalı, Ankara, 120 s.

PLASTİK SERA KOŞULLARINDA ÇİZGİ KAYNAKLI YAĞMURLAMA SİSTEMİ ALTINDA BUĞDAYIN DEĞİŞEN SULAMA SUYU MİKTARI VE TUZLULUK KOŞULLARINA YAPRAK SU POTANSİYELİ YANITI

Prof. Dr. Servet TEKİN[1]

[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, servettekin@yahoo.com mail, https://orcid.org/0000-0002-5691-2549

Özet

Tuzluluk ve sınırlı su kaynakları, Akdeniz koşullarında buğday üretimini giderek daha fazla kısıtlamakta ve marjinal kaliteli sulama sularının kullanımı bitkilerde eş zamanlı hidrolik ve ozmotik strese neden olabilmektedir. Bu çalışmada, plastik sera koşullarında çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi kullanılarak oluşturulan değişken sulama suyu miktarı ve tuzluluk koşullarında buğdayın fizyolojik su durumu yaprak su potansiyeli (YSP) ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi, lateralden uzaklaştıkça sulama miktarının kademeli olarak azalmasını sağlayarak üç uygulama bölgesi (TA, TB ve TC) oluşturmuştur. Sulama suyu elektriksel iletkenliği (ECw) 2.13–19.37 dS m^{-1} arasında değişmiştir. Yaprak su potansiyeli sulama öncesi ve sonrası ile seçilen dönemlerde iki saatlik aralıklarla ölçülmüştür. Sulama öncesi öğle saatlerinde YSP, TA'dan TC'ye doğru giderek daha negatif değerler almış ve sırasıyla -16,5, -21,0 ve -24,1 bar olarak belirlenmiştir. TA ile TC arasındaki 7.6 barlık fark, buğdayın fizyolojik su durumunda belirgin bir bölgesel farklılaşma olduğunu göstermiştir. Sulama sonrasında 11:00 - 13:00 saatleri arasında ölçülen YSP değerleri TA, TB ve TC için sırasıyla -13.8, -14.6 ve -12.4 bar olmuş ve bitki su durumunda kısa süreli bir iyileşme gözlenmiştir. Bununla birlikte, sulama sonrası YSP'nin uygulanan sulama miktarıyla doğrusal bir ilişki göstermemesi, atmosferik evaporatif talep, transpirasyon ve kök bölgesi koşullarının önemini ortaya koymuştur. Sulama miktarı ve tuz yükünün çizgi kaynak boyunca eş zamanlı değişmesi nedeniyle YSP yanıtları yalnızca su eksikliğini değil, hidrolik ve ozmotik stresin birlikte etkisini yansıtmıştır. Sonuç olarak YSP, değişken sulama ve tuzluluk koşullarında buğdayın fizyolojik su durumunun belirlenmesinde duyarlı bir gösterge olmuş ve çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi, korumalı koşullarda birleşik su–tuz stresinin oluşturulması ve değerlendirilmesi için etkili bir deneysel yöntem olarak ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Buğday, yaprak su potansiyeli, su stresi, tuzluluk, ozmotik stres, çizgi kaynaklı yağmurlama, tuzlu sulama, plastik sera

LEAF WATER POTENTIAL RESPONSE OF WHEAT TO VARIABLE IRRIGATION AMOUNTS AND SALINITY UNDER A LINE-SOURCE SPRINKLER SYSTEM IN A PLASTIC GREENHOUSE

Abstract

Salinity and limited water availability increasingly constrain wheat production in Mediterranean environments, where the use of marginal-quality irrigation water may impose simultaneous hydraulic and osmotic stress. This study evaluated the physiological response of wheat to spatially variable irrigation amounts and salinity using leaf water potential (LWP) under plastic greenhouse conditions. A line-source sprinkler system was used to generate a gradual irrigation gradient with increasing distance from the sprinkler lateral, establishing three treatment zones (TA, TB, and TC). Irrigation-water electrical conductivity (ECw) ranged from 2.13 to 19.37 dS m^{-1}. Leaf water potential was measured before and after irrigation and at two-hour intervals during selected diurnal periods. Pre-irrigation midday LWP progressively declined from TA to TC, reaching -16.5, -21.0, and -24.1 bar in TA, TB, and TC, respectively. The 7.6 bar difference between TA and TC demonstrated a pronounced spatial differentiation in wheat physiological water status. Following irrigation, LWP values measured between 11:00 and 13:00 were -13.8, -14.6, and -12.4 bar in TA, TB, and TC, respectively, indicating short-term recovery but no consistent relationship with irrigation amount. Diurnal measurements further revealed substantial variation in LWP associated with atmospheric evaporative demand and transpiration. Because irrigation amount and salt loading varied simultaneously along the line-source gradient, the observed LWP responses represent combined hydraulic and osmotic stress rather than water deficit alone. Overall, LWP proved to be a sensitive indicator of wheat physiological water status under variable irrigation and saline conditions. The line-source sprinkler system provided an effective experimental framework for generating spatially variable water–salinity stress and evaluating crop physiological responses under protected conditions.

Keywords: Wheat, leaf water potential, water stress, salinity, osmotic stress, line-source, sprinkler, saline irrigation, greenhouse

1. GİRİŞ

Akdeniz kuşağı ve yarı kurak bölgelerde su kıtlığı ile sulama suyu kalitesindeki bozulma, bitkisel üretimin sürdürülebilirliğini sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Tatlı su kaynakları üzerindeki baskının giderek artması, tuzlu ve marjinal nitelikli suların sulamada kullanımını zorunlu hale getirebilmekte; ancak bu durum, bir yandan tatlı su açığının azaltılmasına katkı sağlarken, diğer yandan bitkilerin suya erişilebilirliğini düşürmekte ve kök bölgesinde tuz birikimini hızlandırabilmektedir. Buğdayda tuzluluk, başlangıçta hızlı gelişen ozmotik stres, uzun süreli maruziyet koşullarında ise iyona özgü toksisite oluşturarak bitkinin su ilişkilerini, büyümesini ve verim oluşumunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Munns ve Tester, 2008; Patwa ve ark., 2024; Ibrahimova ve ark., 2025). Güncel araştırmalar da tuzlu suyla sulamanın buğday verimini ve su üretkenliğini önemli ölçüde azaltabildiğini ortaya koymakta ve bu nedenle sulama miktarı ile sulama suyu kalitesinin birlikte ve etkin biçimde yönetilmesinin gerekliliğine işaret etmektedir (Jiang ve ark., 2025).

Bitki su durumu, bitkilerin su ve tuzluluk stresine verdikleri fizyolojik yanıtların değerlendirilmesinde temel göstergelerden biridir. Yaprak su potansiyeli (YSP); toprakta suyun bulunabilirliği, köklerin su alımı, atmosferik buharlaşma talebi ve bitkinin hidrolik işleyişini bütünleşik biçimde yansıttığından, yalnızca uygulanan sulama miktarı veya toprak su içeriğinden elde edilemeyecek önemli fizyolojik bilgiler sağlamaktadır. Bu ayrım, özellikle tuzluluk koşullarında daha da önem kazanmaktadır. Çünkü toprak çözeltisindeki tuz konsantrasyonunun artması, toprak su potansiyelinin ozmotik bileşenini daha negatif hale getirerek, toprak su içeriği görece yüksek olsa dahi suyun kökler tarafından fizyolojik olarak alınabilirliğini azaltmaktadır Nitekim buğday üzerinde gerçekleştirilen güncel çalışmalar, tuzluluk koşullarının bitkinin su durumunu ve fizyolojik işleyişini olumsuz etkilediğini, buna karşılık çözünür şekerler ve prolin gibi ozmotik düzenleyici bileşiklerin birikiminin hücresel su dengesinin korunmasına katkı sağlayabildiğini göstermektedir (Ehtaiwesh ve ark., 2024; Chattha ve ark., 2024). Ayrıca, buğdayda tuzluluk stresine verilen yanıtların genotipe ve gelişme dönemine bağlı olarak değişebildiği ve ozmotik düzenlemenin tuzluluk toleransının önemli bileşenlerinden biri olduğu bildirilmiştir (Ehtaiwesh ve ark., 2024).

Yaprak su potansiyeli, yaygın olarak Scholander ve ark. (1965) tarafından geliştirilen basınç odası (pressure chamber) tekniği kullanılarak belirlenmektedir. Bununla birlikte, YSP'nin yorumlanmasında ölçüm zamanının dikkate alınması büyük önem taşımaktadır; zira bitkinin su durumu, transpirasyon düzeyi ve atmosferik evaporatif talebe bağlı olarak gün içerisinde önemli ölçüde değişebilmektedir (Turner, 1988). Dolayısıyla, farklı sulama rejimlerine karşı bitkisel yanıtların değerlendirilmesinde YSP'nin yalnızca mekansal değişiminin değil, aynı zamanda zamansal ve günlük dinamiklerinin de ortaya konulması gerekmektedir.

Çizgi kaynaklı yağmurlama (line-source sprinkler) sistemi, nispeten sınırlı bir deneme alanı içerisinde sulama miktarında kontrollü ve sürekli bir bölgesel gradyan oluşturulmasına olanak sağlayan etkili bir deneysel yöntemdir. Önceki çalışmalar, yağmurlama hattından uzaklık arttıkça uygulanan sulama miktarının kademeli

olarak azaldığını ve bunun sonucunda buğdayın su tüketimi ile veriminde ölçülebilir farklılıklar meydana geldiğini göstermiştir (Sezen ve Yazar, 2006; Yazar ve ark., 2006). Ayrıca, çizgi kaynaklı yağmurlama yağmurlama sistemleri Akdeniz koşullarında buğdayın su–tuzluluk etkileşimlerine verdiği yanıtların araştırılmasında başarıyla kullanılmış; sulama suyu tuzluluğundaki artışın bitki su tüketimi ve verimde azalmaya, buna karşılık toprak tuzluluğunda artışa neden olduğu ortaya konulmuştur (Tekin ve ark., 2014). Benzer çizgi kaynaklı yağmurlama yağmurlama yaklaşımları, tuzlu ve alkali nitelikteki sulama sularına maruz bırakılan buğdayın tepkilerinin belirlenmesinde de kullanılmış ve bu sistemlerin sulama miktarı ile sulama suyu kalitesi arasındaki etkileşimlerin değerlendirilmesindeki potansiyeli ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, tuzlu suyun çizgi kaynaklı yağmurlama yağmurlama sistemi aracılığıyla uygulanması durumunda, sulama miktarındaki mekansal azalmaya eş zamanlı olarak tuz yükündeki değişim de eşlik etmektedir. Dolayısıyla oluşturulan gradyan, yalnızca bağımsız bir su açığı gradyanını değil, birbirine bağlı hidrolik ve ozmotik stres koşullarını temsil etmektedir. Bu ayrım, özellikle tuzluluk koşullarında fizyolojik stresin yalnızca toprak su içeriği üzerinden değerlendirilmesinin yanıltıcı olabileceğini göstermesi bakımından kritik öneme sahiptir. Başka bir ifadeyle, toprakta yeterli miktarda su bulunmasına rağmen yüksek tuz konsantrasyonu nedeniyle bu suyun bitki tarafından fizyolojik olarak kullanılabilirliği önemli ölçüde azalabilmektedir.

Bu çerçevede, bu çalışmanın temel amacı, çizgi kaynaklı yağmurlama yağmurlama sistemiyle donatılmış plastik bir serada oluşturulan mekansal sulama miktarı ve tuzluluk gradyanları altında buğdayın fizyolojik su durumunu YSP ölçümleri aracılığıyla karakterize etmektir. Bu kapsamda çalışma ile; *(i)* sulama öncesi ve sonrası YSP'deki bölgesel farklılıkların niceliksel olarak belirlenmesi, *(ii)* gün içerisindeki YSP dinamiklerinin ortaya konulması, *(iii)* sulama miktarı ve tuzluluğun birlikte oluşturduğu gradyanlara karşı buğdayın fizyolojik tepkilerinin değerlendirilmesi ve *(iv)* YSP'nin su–tuzluluk stresinin bitki temelli bir göstergesi olarak kullanım uygunluğunun ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.1. Kuramsal Çerçeve

Su ve tuzluluk stresi, özellikle Akdeniz iklim koşullarında buğday üretimini sınırlayan önemli çevresel faktörlerdir. Sulama suyundaki tuzların toprakta birikmesi, bitkinin su alımını azaltarak ozmotik strese; yetersiz sulama ise kök bölgesinde su eksikliğine ve hidrolik strese neden olmaktadır. Bu iki stres faktörünün birlikte ortaya çıkması, bitkinin fizyolojik su durumunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Bitkinin su durumunun belirlenmesinde kullanılan önemli göstergelerden biri yaprak su potansiyelidir (YSP). YSP, bitkinin su stres düzeyini ve toprak–bitki–atmosfer arasındaki su hareketini değerlendirmede kullanılan duyarlı bir fizyolojik göstergedir. Su stresinin artmasıyla yaprak su potansiyeli daha negatif değerlere ulaşmakta, yeterli sulama sonrasında ise bitkinin su durumunda geçici iyileşmeler görülebilmektedir.

Çizgi kaynaklı yağmurlama sistemlerinde lateral boyunca sulama miktarının değişmesi, farklı bölgelerde farklı su ve tuz yüklerinin oluşmasına olanak sağlamaktadır. Lateral kaynağına uzaklaştıkça sulama miktarının azalması, bitkiler arasında farklı su durumlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Bunun yanında sulama suyunun tuzluluğunun artması, toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelini düşürerek bitkinin toprak suyundan yararlanmasını güçleştirmektedir.

YSP, yalnızca toprak nemi ve sulama miktarından değil; aynı zamanda atmosferik evaporatif talep, transpirasyon, kök bölgesi koşulları ve toprak tuzluluğundan etkilenmektedir. Bu nedenle değişken sulama ve tuzluluk koşullarında ölçülen YSP değerleri, bitkinin maruz kaldığı hidrolik ve ozmotik stresin bileşik etkisini yansıtmaktadır. Bu çerçevede YSP ölçümleri, çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi altında farklı su ve tuzluluk koşullarının buğdayın fizyolojik su durumu üzerindeki etkisinin belirlenmesinde önemli bir araçtır.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Deneme Alanı ve Sera Koşulları

Araştırma, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü araştırma alanında plastik sera koşullarında yürütülmüştür. Denemenin yürütüldüğü sera yaklaşık 36°59′ K enlem ve 35°18′ D boylamında, deniz seviyesinden yaklaşık 20 m yükseklikte yer almıştır. Sera 24 x 14 m boyutlarında olup toplam yaklaşık 336 m^2 deney alanına sahiptir. Sera, alüminyum kemer konstrüksiyon üzerine kaplanmış 360 µm kalınlığında UV stabilizasyonlu polietilen örtüden oluşmuştur.

Plastik örtü, doğrudan yağışın deneme parsellerine ulaşmasını engelleyerek sulama suyu uygulamalarının ve toprak su koşullarının yağıştan bağımsız olarak kontrol edilmesine olanak sağlamıştır. Buğday yetiştiriciliği sonbahar - ilkbahar döneminde gerçekleştirilmiş ve bu süreçte sera içerisindeki hava sıcaklığı, bağıl nem ve atmosferik evaporatif talep mevsimsel koşullara bağlı olarak doğal biçimde değişmiştir. Böylece bitkiler doğal atmosferik değişimlere maruz bırakılırken doğrudan yağış etkisinden korunmuştur. Sera koşulları, yağışın oluşturabileceği ek su girdisi ortadan kaldırılarak sulama miktarı ve sulama suyu tuzluluğunun kontrollü biçimde değiştirilmesine olanak sağlaması bakımından araştırma amacı için uygun bir ortam oluşturmuştur. Bu nedenle bitkilerin su durumunda meydana gelen değişimler, esas olarak uygulanan sulama ve tuzluluk gradyanları ile ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir.

2.2. Toprak Özellikleri

Deneme toprağı Mutlu serisine ait olup ağır bünyeli ve nispeten yüksek su tutma kapasitesine sahip bir topraktır. Toprak bünyesi Bouyoucos hidrometre yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Toprağın nispeten yüksek kil içeriği ve su tutma kapasitesi, hem sulama suyunun kök bölgesinde depolanmasını hem de çözünmüş tuzların kök bölgesi içerisindeki hareketini ve birikimini etkilediğinden, bitki su durumunun yorumlanması açısından önemli

özelliklerdir. Bu toprak özellikleri, sulama, toprak suyu durumunu ve tuzluluk arasındaki etkileşimin değerlendirilmesi için uygun koşullar sağlamıştır.

2.3. Bitkisel Materyal

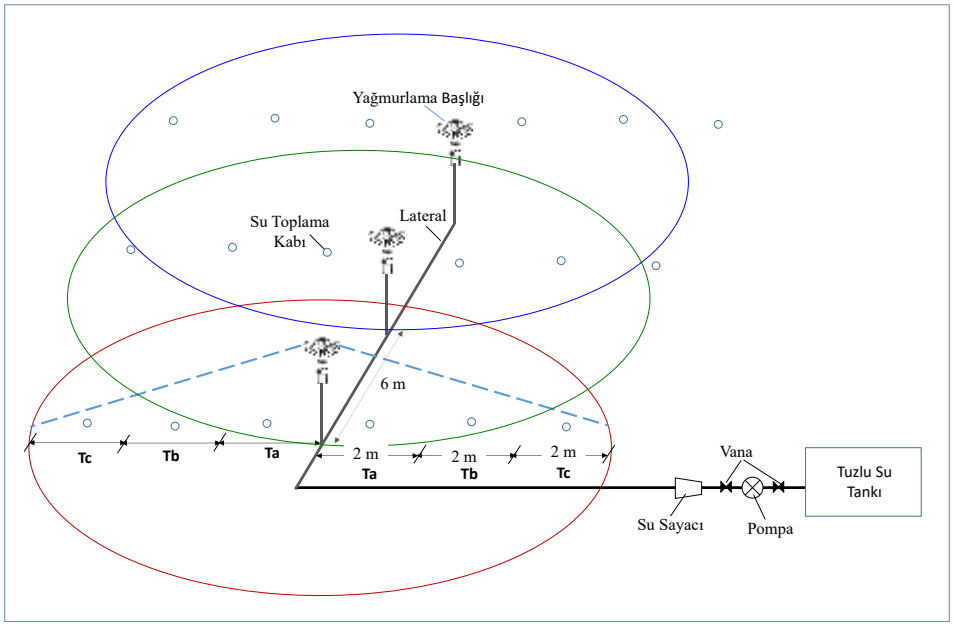
Araştırmada ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) türüne ait Vorana-CNO79/Kauz çeşidi kullanılmıştır. Çeşit, bölgenin çevresel koşullarına adaptasyonu ile kuraklık ve pas hastalıklarına karşı bildirilen toleransı dikkate alınarak seçilmiştir. Buğdayın tercih edilmesinde, Akdeniz iklim kuşağında önemli bir tahıl ürünü olması ve üretimin özellikle mevsimsel su kısıtları ile sulama suyu kalitesindeki bozulmadan eş zamanlı olarak etkilenebilmesi etkili olmuştur.

2.4. Sulama Sularının Hazırlanması

Farklı tuzluluk düzeylerine sahip sulama suları, kanal suyu ile deniz suyunun farklı oranlarda karıştırılması yoluyla hazırlanmıştır. Kanal suyu Aşağı Seyhan Sulama Sistemi'nden, deniz suyu ise Yumurtalık Su Ürünleri Üretim Enstitüsüne ait deniz suyu depolama tesisinden temin edilmiştir. Deniz suyu, deneme alanının yakınında bulunan 250 m³ kapasiteli bir rezervuarda depolanmıştır. Karıştırma işlemi, her biri 15 ton kapasiteli dört ayrı tank kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı oranlarda kanal suyu ve deniz suyu karıştırılarak farklı elektriksel iletkenlik (ECw) değerlerine sahip sulama suları hazırlanmıştır. Hazırlanan sulama sularının elektriksel iletkenliği 2.13 - 19.37 dS m^{-1} arasında değişmiştir. Bitkinin erken gelişme, çimlenme ve başlangıç gelişimi üzerinde oluşabilecek olumsuz etkileri azaltmak amacıyla nispeten düşük tuzlulukta sulama suyu kullanılmıştır. Bitki gelişimi ilerledikçe daha yüksek tuzluluğa sahip sulama suları uygulanmıştır. Böylece buğdayın fizyolojik tepkisinin geniş bir sulama suyu tuzluluğu aralığında değerlendirilmesi sağlanmıştır.

2.5. Deneme Deseni ve Çizgi Kaynaklı Yağmurlama Sulama Sistemi

Sera içerisinde sulama suyu uygulamasında, yağmurlama lateraline dik doğrultuda bir sulama gradyanı oluşturmak amacıyla çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi kullanılmıştır. Sistemin temel prensibi, yağmurlama lateraline yakın bölgelerde daha yüksek, hattan uzaklaştıkça ise giderek daha düşük sulama miktarlarının uygulanmasına dayanmaktadır. Yağmurlama lateraline farklı uzaklıklarda üç uygulama bölgesi oluşturulmuş ve bu bölgeler TA, TB ve TC olarak adlandırılmıştır. TA, yağmurlama hattına en yakın bölgede yer almış ve dolayısıyla en yüksek sulama miktarını almıştır. TB, orta uzaklıktaki bölgeyi temsil etmiş ve orta düzeyde sulama almıştır. TC ise yağmurlama hattından en uzak bölgede yer almış ve en düşük sulama miktarına maruz kalmıştır. Böylece TA – TB - TC sıralaması, deney alanında yağmurlama hattından uzaklaştıkça azalan sulama suyu miktarına karşılık gelen kontrollü bir gradyan oluşturmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Çizgi kaynaklı yağmurlama sisteminde görünüm ve deneme konuları

Yağmurlama laterali boyunca 6 m aralıklarla altı adet 180° yağmurlama başlığı yerleştirilmiştir. Yağmurlama başlıkları yaklaşık 1.5 atm basınçta çalıştırılmış ve nominal atış yarıçapı yaklaşık 12 m olarak belirlenmiştir. Su, lateralin her iki tarafında yarım daire biçiminde dağıtılmıştır. Deneme bölgeleri yağmurlama hattına dik doğrultuda 2 m aralıklarla konumlandırılmıştır. Uygulanan sulama suyu miktarı, yine 2 m aralıklarla yerleştirilen toplama kapları kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 1). Toplama kaplarının çapı 10.5 cm, yüksekliği ise 20 cm'dir. Her sulama uygulamasından sonra toplama kaplarında biriken su miktarı ölçülmüş ve sulama derinliğine dönüştürülmüştür. Ayrıca, sulama sistemine yerleştirilen su sayacı kullanılarak toplam uygulanan sulama suyu hacmi kontrol edilmiştir.

2.6. Sulama Programı

Sulama zamanlaması, etkili kök bölgesinde kullanılabilir toprak suyunun tükenme düzeyine göre belirlenmiştir. Sulamaya, kullanılabilir toprak suyunun yaklaşık %50'sinin tüketilmesiyle başlanmıştır. Denemenin plastik sera koşullarında yürütülmesi nedeniyle doğrudan yağış toprak su bütçesine katkıda bulunmamıştır. Bu nedenle sulama zamanı ve uygulanan su miktarı, deneysel sulama programı ve toprak suyu koşullarına göre belirlenmiştir. Sulama programı, bitkinin gelişme dönemi ve sera içerisindeki mevcut çevre koşullarına bağlı olarak düzenlenmiştir. Sulama suyu tuzluluğu da bitkinin gelişme dönemine göre yönetilmiş; başlangıç döneminde nispeten düşük ECw değerlerine sahip sular kullanılırken, bitki gelişimi ilerledikçe daha yüksek tuzluluğa sahip sulama suları uygulanmıştır. Birinci deneme yılında sulamalar 28 Nisan 2009 tarihinde, ikinci deneme yılında ise 9 Nisan 2010 tarihinde sona erdirilmiştir.

2.7. Yaprak Su Potansiyelinin Ölçülmesi

Yaprak su potansiyeli (YSP), buğday bitkisinin su durumunun temel fizyolojik göstergesi olarak değerlendirilmiş ve Scholander ve ark. (1965) tarafından tanımlanan basınç odası yöntemiyle ölçülmüştür. Ölçümlerde, bitkinin güneşe maruz kalan en üst tam gelişmiş yaprağı kullanılmış; yaprak kesildikten hemen sonra basınç odasına yerleştirilmiş ve yaprak sapının kesim ucu oda dışında bırakılmıştır. Su kaybını ve doku su durumundaki değişimleri en aza indirmek amacıyla örnekler ölçüm noktasına plastik poşetler içerisinde taşınmıştır. YSP ölçümleri, birikmiş su stresini ve sulamanın kısa süreli fizyolojik etkisini belirlemek amacıyla sulama öncesi ve sonrasında, özellikle öğle saatlerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, vejetasyon döneminin seçilmiş zamanlarında şafaktan gün batımına kadar 2 saatlik aralıklarla ölçüm yapılarak YSP'nin gün içindeki değişimi ve atmosferik koşullara tepkisi belirlenmiştir.

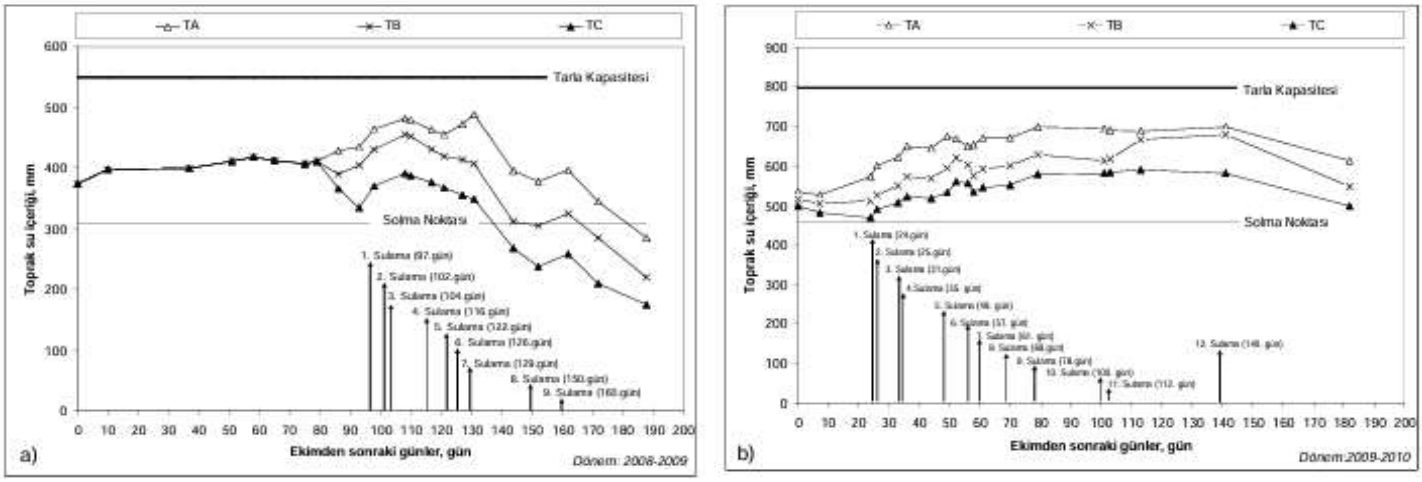
2.8. Verilerin Değerlendirilmesi

Buğdayın fizyolojik tepkisi, TA, TB ve TC uygulamalarındaki yaprak su potansiyeli (YSP) değerlerinin ve sulama öncesi ve sulama sonrası değişimlerin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. Çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi sulama miktarına bağlı farklılıkların yanı sıra, tuzlu sulama koşullarında tuz yükünün de eş zamanlı olarak değişmesine neden olduğundan, uygulama etkileri su-tuzluluk etkileşiminin bileşik sonucu olarak yorumlanmıştır. Daha negatif YSP değerleri daha yüksek fizyolojik su stresini, daha az negatif değerler ise bitkinin nispeten daha iyi su durumunu ifade edecek şekilde değerlendirilmiştir**.**

3. BULGULAR

3.1. Toprak Nem Dağılımı

Çalışmanın yürütüldüğü sera koşullarında toprak su kapsamının sulama miktarı ve lateral konumuna bağlı olarak belirgin biçimde farklılaştığı belirlenmiştir (Şekil 2). Özellikle ilk yılda sulamaların ekimden 86 gün sonra, çiçeklenme başlangıcı döneminde başlatılmasıyla birlikte TA, TB ve TC konuları arasındaki toprak su kapsamı farklılıkları belirginleşmiştir. Lateralden uzaklaştıkça toprak su kapsamının azalması, damla sulama sistemlerinde suyun lateral çevresinde oluşturduğu ıslak bölgenin mekânsal olarak homojen olmadığını ve emitörden uzaklaştıkça toprak neminin azalabildiğini bildiren çalışmalarla uyumludur (Wang ve ark., 2025; Zhou ve ark., 2017). Nitekim damla sulamada ıslatma deseninin büyüklüğü ve şekli; uygulanan su miktarı, sulama süresi, toprak özellikleri ve lateral - bitki arasındaki mesafe tarafından belirlenmekte ve bu faktörler kök bölgesindeki toprak su dağılımını doğrudan etkilemektedir (Al-Ogaidi ve ark., 2016).



Şekil 2. Deneme yıllarına ait konuların yetişme döneminde toprak nem dağılımları

İlk yılda lateralden en yakın TA konusunda toprak su kapsamının yaklaşık kullanılabilir suyun %50'si düzeyinde tutulmasına karşın, TB ve özellikle lateralden en uzak TC konusunda değerlerin bu seviyenin altında kalması, lateral boyunca oluşan su dağılımındaki farklılığın açık bir göstergesidir. Benzer şekilde, Wang et al. (2006), damla sulama sıklığının toprak su dağılımını etkilediğini ve bu etkinin gelişme dönemi, toprak derinliği ve emitörden uzaklığa bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Zhou et al. (2017) ise lateral konumu ve lateral aralığının toprak neminin dağılımı ve ıslatma deseninin oluşumunda önemli olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, mevcut çalışmada TB ve TC'de gözlenen daha düşük toprak su kapsamı, yalnızca uygulanan sulama miktarının azalmasıyla değil, aynı zamanda lateralden uzaklaştıkça sulama suyunun kök bölgesine ulaşma ve burada depolanma düzeyinin azalmasıyla ilişkilendirilebilir. Özellikle TB ve TC konularında toprak su kapsamının ekimden sonraki 144. günden itibaren solma noktası düzeyinin altına düşmesi, bitkilerin sezonun son döneminde belirgin bir su stresiyle karşı karşıya kaldığını göstermektedir. Toprak su kapsamının kritik düzeylerin altına düşmesiyle birlikte kök bölgesinde bitkinin su alım kapasitesinin sınırlanabileceği ve bunun transpirasyon ile bitki büyümesini olumsuz etkileyebileceği belirtilmektedir (FAO, 1999). Bu açıdan değerlendirildiğinde, Şekil 2a'da TB ve TC'de sezon sonuna doğru görülen belirgin su azalması, bitkinin özellikle geç gelişme döneminde maruz kaldığı su açığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, su stresinin verim üzerindeki etkisinin gelişme dönemine bağlı olarak değişebildiği ve stresin kritik fenolojik dönemlerde ortaya çıkmasının sonuçlarının farklı olabileceği de dikkate alınmalıdır (FAO, 1999).

İkinci yılda ise toprak su kapsamındaki farklılaşma çok daha belirgin olmuş ve uygulanan sulama suyu miktarının etkisi açık biçimde ortaya çıkmıştır (Şekil 2b). Yüksek miktarda sulama suyu uygulanan TA konusunda toprak su kapsamının büyüme dönemi boyunca kullanılabilir suyun %50'sinin üzerinde seyretmesi, uygulanan suyun kök bölgesinde daha yüksek miktarda depolandığını göstermektedir. Buna karşılık, daha düşük sulama suyu uygulanan TB ve TC konularında toprak su kapsamının çoğunlukla %50 eşiğinin altında kalması, sulama

miktarındaki azalmanın doğrudan toprak su durumuna yansıdığını göstermektedir. Bu sonuç, sulama miktarının ve sistem üniformitesinin toprak su dağılımı üzerinde birlikte etkili olduğunu ortaya koyan araştırmalarla paralellik göstermektedir (Guan ve ark.,2013).

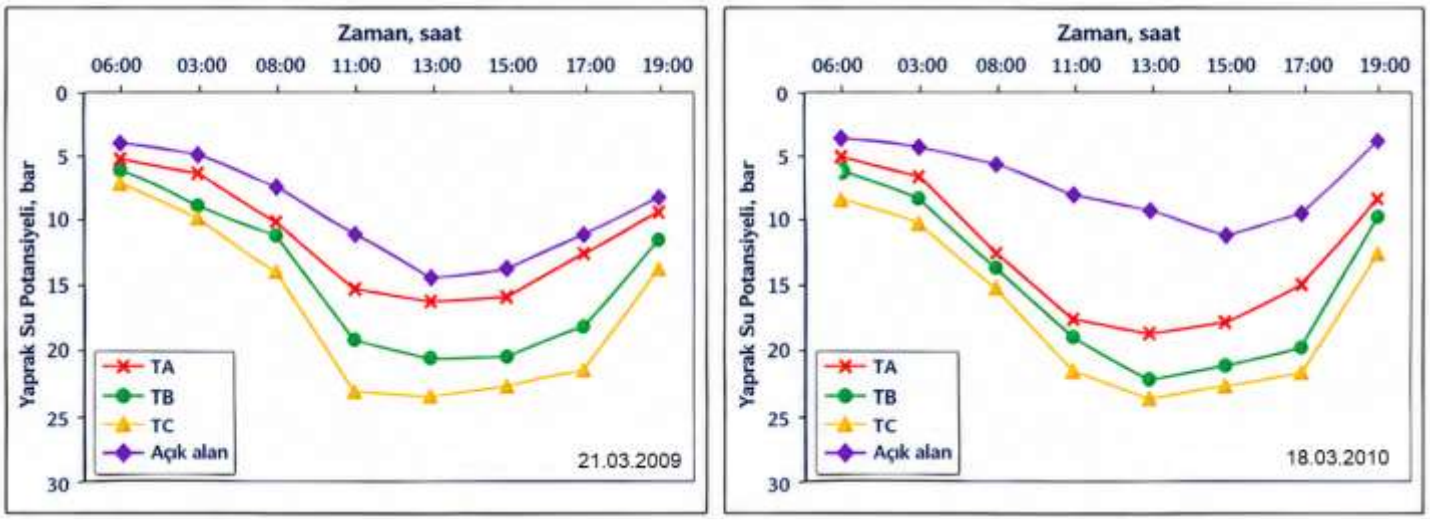
Guan ve ark (2013)'deki çalışmalarında damla sulama sisteminde sulama üniformitesindeki değişimin sezon boyunca toprak su kapsamının mekânsal dağılımını etkilediğini ve düşük üniformite koşullarında toprak su içeriğindeki mekânsal değişkenliğin daha belirgin hale geldiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, Zhou et al. (2018), lateral aralığının ve sulama sisteminin özelliklerinin kök bölgesindeki su dağılımını etkileyebildiğini ve sulama yönetiminin yalnızca toplam uygulanan su miktarı üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmalar, mevcut denemede TA, TB ve TC konuları arasında gözlenen toprak su kapsamı farklılıklarının fiziksel olarak açıklanmasını desteklemektedir. Bununla birlikte, ikinci yılda TA konusunda toprak su kapsamının kullanılabilir suyun %50'sinin belirgin biçimde üzerine çıkması, yüksek sulama miktarının her koşulda optimum sulama anlamına gelmediğini de göstermektedir. Kök bölgesinde aşırı yüksek toprak su kapsamının uzun süre devam etmesi, toprak hava–su dengesini değiştirebilir ve kök bölgesindeki oksijenlenmeyi sınırlandırabilir. Bu nedenle optimum sulama yönetiminde amaç, toprak su kapsamını mümkün olduğunca yüksek tutmak değil, bitkinin su gereksinimini karşılayacak ve aynı zamanda aşırı su uygulamasından kaçınacak uygun nem aralığını korumaktır. FAO yaklaşımında da sulama zamanlamasının temelini, kök bölgesindeki kullanılabilir suyun kritik düzeylere ulaşmadan yenilenmesi oluşturmaktadır (FAO, 1999).

İki deneme yılı birlikte değerlendirildiğinde, Şekil 2'de ortaya çıkan temel sonuç, uygulanan sulama suyu miktarı ile lateral boyunca su dağılımının birlikte toprak su durumunu belirlediğidir. İlk yılda sulamaların geç başlaması özellikle TB ve TC'de sezon sonuna doğru belirgin su açığı oluşmasına neden olurken, ikinci yılda yüksek sulama uygulaması TA konusunda toprak su kapsamının büyüme dönemi boyunca daha yüksek düzeylerde tutulmasını sağlamıştır. Damla sulamada lateral aralığı, sulama sıklığı ve uygulanan su miktarının ıslatma desenini ve toprak su dağılımını değiştirebildiği daha önce de ortaya konmuştur (Wang ve ark.,2006; Zhou ve ark.,2017, 2018). Dolayısıyla, mevcut sonuçlar sera koşullarında sulama programının yalnızca toplam sulama suyu miktarına göre değil, aynı zamanda lateral boyunca oluşan toprak su dağılımı dikkate alınarak yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.12. Yaprak Su Potansiyeli (YSP)

Yaprak su potansiyeli (YSP), bitkinin kök bölgesinden su alımı ile atmosferik evaporatif talep arasındaki dengeyi yansıtan önemli bir fizyolojik göstergedir. Bu nedenle YSP'de meydana gelen değişimler yalnızca toprak su içeriğindeki farklılıkların değil, aynı zamanda sulama dağılımı, atmosferik koşullar, transpirasyon ve köklerin su alma kapasitesindeki değişimlerin ortak sonucudur. Bu çalışmada YSP'nin hem lateral boyunca hem de gün içerisinde belirgin biçimde değişmesi, sera koşullarında sulama suyunun mekânsal dağılımının bitkinin su

durumunu doğrudan etkilediğini göstermiştir. Sulama öncesinde yapılan ölçümlerde YSP değerleri lateral boyunca belirgin bir farklılaşma göstermiştir (Şekil 3). Gün ortasında YSP, TA, TB ve TC konularında sırasıyla -16.5, -21.0 ve -24.1 bar olarak belirlenmiştir. Buna göre TA ile TC arasındaki fark 7.6 bar olmuş ve su kaynağından uzaklaşıldıkça YSP'nin giderek daha negatif değerlere yöneldiği görülmüştür (Şekil 3).



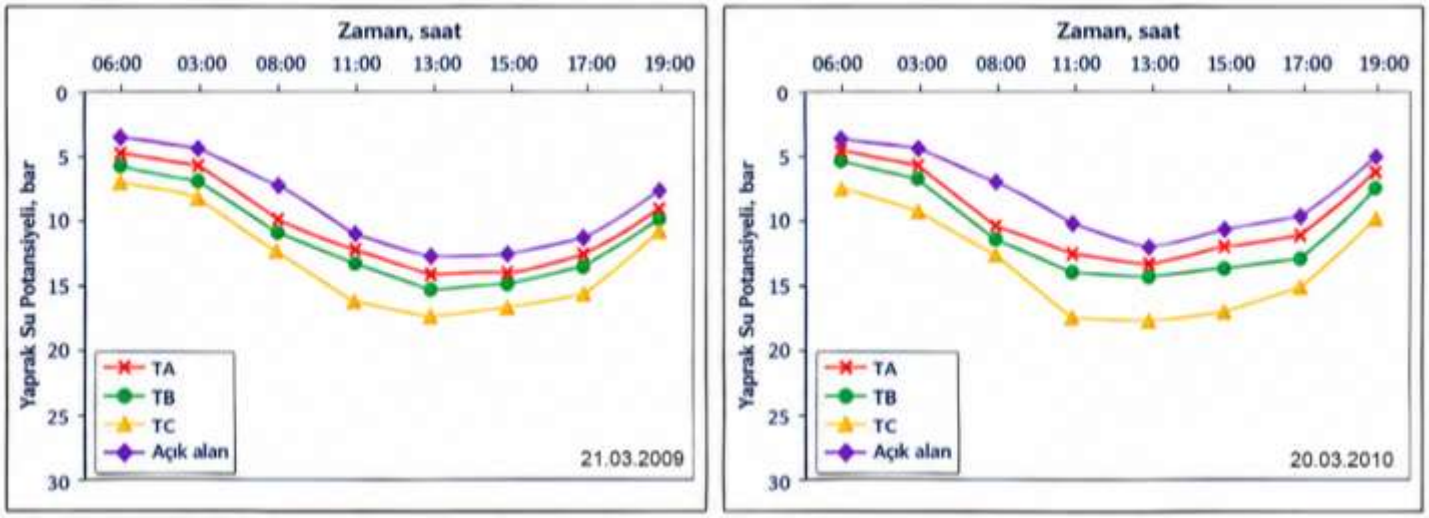
Şekil 3. Sulama öncesi tüm gün yaprak su potansiyeli ölçümleri

TA konusunun daha az negatif YSP değerine sahip olması, bu konunun daha yüksek sulama suyu alması ve buna bağlı olarak kök bölgesindeki suyun daha yüksek düzeyde korunmasıyla açıklanabilir. Buna karşılık, lateral boyunca su miktarının azalması TB ve özellikle TC'de bitkinin su alımını sınırlandırmış ve yaprak su potansiyelinin daha negatif değerlere ulaşmasına neden olmuştur. Bu sonuç, lateral boyunca oluşan sulama suyu dağılımındaki farklılığın yalnızca toprak su içeriğini değil, doğrudan bitkinin fizyolojik su durumunu da değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, sulama ile YSP arasındaki ilişkiyi ortaya koyan önceki çalışmalarla uyumludur. Singh ve Kumar (1979) ve Sing ve ark. (2009)'daki çalışmalarında, buğday ve arpada sulama sıklığındaki artışın yaprak su potansiyelinin daha az negatif değerlerde korunmasını sağladığını ve YSP'nin gün içerisinde belirgin dalgalanmalar gösterdiğini bildirmiştir. Dolayısıyla mevcut çalışmada TA'dan TC'ye doğru YSP'nin daha negatif hale gelmesi, sulama suyunun toplam miktarından ziyade bitkinin kök bölgesine ulaşan kullanılabilir su miktarının fizyolojik açıdan belirleyici olduğunu düşündürmektedir. Özellikle TC'de gözlenen -24.1 barlık değer, sulama öncesinde bitkinin su temininin önemli ölçüde sınırlandığını göstermektedir. Bununla birlikte, YSP'deki farklılıkların yalnızca toprak su içeriğine bağlanması uygun değildir. Gün içerisinde sıcaklık ve güneşlenmenin artması, buna karşılık bağıl nemin azalması atmosferik evaporatif talebi yükseltmiş ve transpirasyonun artmasına bağlı olarak yaprak su potansiyelinin daha negatif değerlere yönelmesine neden olmuştur.

Su kaynağının sınırlı olduğu koşullarda köklerden yapraklara taşınan su miktarı transpirasyonla oluşan talebi karşılayamadığında yaprak su potansiyeli daha hızlı düşebilmektedir. Bu nedenle Şekil 4,3'de sulama öncesinde özellikle TC'de belirlenen düşük YSP, düşük kök bölgesi su durumu ile yüksek atmosferik talebin birlikte etkisini yansıtmaktadır. YSP'nin belirlenmesinde toprak su durumunun yanı sıra atmosferik talep ve bitkinin hidrolik iletim özelliklerinin de etkili olduğu dikkate alınmalıdır. Çalışmada sulama miktarı ile birlikte lateral boyunca tuz yükünün de değişmesi, YSP farklılıklarının değerlendirilmesinde ayrıca önem taşımaktadır. Özellikle daha az sulama alan konumlarda toprak çözeltisindeki tuz konsantrasyonunun artması, kök bölgesindeki ozmotik potansiyeli düşürerek bitkinin suyu kökler aracılığıyla almasını güçleştirebilir. Salinitenin bitkiler üzerindeki ilk etkilerinden biri kök bölgesinde ozmotik stres oluşturması ve bunun bitkinin su durumunu olumsuz etkilemesidir (Munns ve Tester, 2008). Nitekim Nishida ve ark. (2009), buğdayda toprak suyu tuzluluğunun artmasıyla yaprak su potansiyeli ve transpirasyonun azaldığını ve YSP'deki düşüşün stomatal kapanma ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu nedenle mevcut çalışmada özellikle TB ve TC'de belirlenen daha negatif YSP değerleri, yalnızca su noksanlığının değil, su ve tuz stresinin birlikte oluşturduğu ozmotik-hidrolik etkinin bir sonucu olarak değerlendirilmelidir. Ancak sulama miktarı ile tuz yükünün aynı yönde değişmesi nedeniyle, mevcut denemede YSP üzerindeki su ve tuzluluk etkilerini tamamen birbirinden ayırmak mümkün değildir; bu nedenle gözlenen farklılıkların her iki stres faktörünün ortak etkisini yansıttığı düşünülmektedir.

Sulama sonrasında gerçekleştirilen ölçümler, YSP'nin gün içerisindeki değişiminin sulama öncesindeki mekânsal farklılıktan farklı bir dinamik gösterdiğini ortaya koymuştur (Şekil 4). Sabahın erken saatlerinde, özellikle 05:00 - 07:00 arasında, YSP'nin daha az negatif değerlerde bulunması gece boyunca transpirasyonun azalması ve bitkinin su durumunun yeniden dengelenmesiyle ilişkilidir. Güneşlenmenin başlamasıyla birlikte sıcaklık ve atmosferik evaporatif talebin artması, bitkinin su kaybını hızlandırmış ve YSP'nin giderek daha negatif değerlere yönelmesine neden olmuştur. Bu değişim, YSP'nin yalnızca kök bölgesindeki mevcut suyu değil, aynı zamanda ölçüm anındaki bitki-su-atmosfer ilişkisini yansıttığını göstermektedir.

Sulama sonrasında 11:00–13:00 döneminde YSP değerleri TA, TB ve TC için sırasıyla -13.8, -14.6 ve -12.4 bar olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Sulama öncesinde TC'nin en negatif YSP değerine sahip olmasına karşın, sulama sonrasında TC'de -12.4 bar ile daha az negatif bir değer elde edilmesi, YSP'nin yalnızca konuların genel sulama düzeyine göre sıralanamayacağını göstermektedir. Sulama sonrasında kök bölgesine ulaşan suyun bitkinin anlık su gereksinimini karşılaması, ölçüm zamanındaki atmosferik koşullar ve bitkinin su iletim kapasitesi YSP üzerinde birlikte etkili olmuştur. Bu nedenle farklı ölçüm tarihlerinde elde edilen YSP değerlerindeki değişimler, ilgili dönemdeki toprak su içeriği ile birlikte değerlendirilmelidir.



Şekil 4. Sulama sonrası tüm gün yaprak su potansiyeli ölçümleri

Şekil 3 ve 4 birlikte değerlendirildiğinde, sulama öncesinde lateral boyunca oluşan su dağılımındaki farklılıkların bitkinin yaprak su durumunda belirgin bir bölgesel farklılaşmaya neden olduğu, sulama sonrasında ise YSP'nin gün içerisindeki atmosferik talebe bağlı olarak dinamik biçimde değiştiği görülmektedir. Başka bir ifadeyle, sulama uygulaması yaprak su durumunu iyileştirmekle birlikte bu etkinin gün boyunca sabit kalmadığı; artan sıcaklık, radyasyon ve evaporatif talep altında bitkinin yeniden su açığı ile karşılaşabildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, sulama yönetiminin yalnızca uygulanan su miktarı üzerinden değil, suyun lateral boyunca dağılımı, kök bölgesindeki suyun sürekliliği ve eşlik eden tuzluluk koşulları dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sera koşullarında sulama suyu miktarı, lateral boyunca oluşan mekânsal su dağılımı ve tuzluluğun toprak su durumu ile bitkinin fizyolojik su durumunu birlikte belirlediğini ortaya koymuştur. Sulama miktarındaki ve lateral konumundaki farklılıklar toprak su dağılımına doğrudan yansımış; özellikle lateralden uzaklaştıkça ve sulama miktarı azaldıkça kök bölgesindeki toprak su kapsamı genel olarak azalmıştır. Özellikle yetiştirme döneminin sonlarına doğru düşük sulama uygulamalarında toprak suyunun kritik düzeylerin altına inmesi, belirgin su açığının oluştuğuna işaret etmiştir.

Yetiştirme dönemleri arasında toprak tuzluluğunda meydana gelen belirgin artış, tekrarlanan tuzlu sulama koşullarında kümülatif tuz bilançosunun önemini ortaya koymuştur. İkinci yılda toprak su tutma özelliklerinin artmasına karşın ECe değerlerinin de önemli ölçüde yükselmesi, toprakta depolanan su miktarındaki artışın bitki açısından fizyolojik olarak kullanılabilir suyun aynı oranda arttığı anlamına gelmediğini göstermiştir. Tuzluluk koşullarında toprak çözeltisinin ozmotik bileşeninin daha negatif hale gelmesi, köklerin su alımını sınırlandırarak toprak suyunun etkin kullanılabilirliğini azaltabilmektedir.

Yaprak su potansiyeli (YSP) sonuçları, bitkinin su durumunun yalnızca toprak su mevcudiyetiyle değil, atmosferik evaporatif talep ve kök bölgesi tuzluluğunun ortak etkisiyle şekillendiğini ortaya koymuştur. Sulama öncesinde YSP'nin TA'dan TC'ye doğru daha negatif değerlere yönelmesi, lateral boyunca azalan su mevcudiyetinin bitki su durumuna yansıdığını göstermiştir. Sulama sonrasında ise YSP'nin kısa süreli olarak daha az negatif değerlere yönelmesine rağmen uygulamalar arasındaki sıralamanın korunmaması, bitki su durumunun dinamik olduğunu ve sulama miktarıyla tek başına açıklanamayacağını ortaya koymuştur.

Genel olarak, elde edilen bulgular tuzlu sulama koşullarında sulama yönetiminin yalnızca uygulanan su miktarı veya toprak nemine dayandırılmasının yeterli olmayabileceğini göstermektedir. Sulama suyu miktarı ve kalitesi, kök bölgesi tuzluluğu, toprak su durumu ve bitkinin fizyolojik tepkisi birlikte değerlendirilmelidir. Özellikle yüksek toprak neminin korunması, tuzluluğun oluşturduğu ozmotik kısıt nedeniyle her zaman fizyolojik su stresinin önlenmesini garanti etmemektedir. Bu nedenle toprak tuzluluğunun toprak suyu ve YSP ölçümleriyle birlikte izlenmesi, tuzlu koşullarda bitkinin gerçek su durumunun daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Çalışma sonuçları ayrıca, sulama sisteminin oluşturduğu mekânsal değişkenliğin sulama yönetiminde dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur. TA, TB ve TC arasında gözlenen farklılıklar, yalnızca toplam uygulanan sulama suyu miktarına dayalı bir yönetimin kök bölgesindeki su ve tuz koşullarındaki mekânsal farklılıkları gözden kaçırabileceğini göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda sulama miktarı ve tuzluluk etkilerinin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesi; bunun yanında yıkama oranı, drenaj, toprak hidrolik özellikleri ve bitki tepkilerinin birlikte ele alınması, hidrolik ve ozmotik stres bileşenlerinin daha ayrıntılı biçimde ayrıştırılmasına olanak sağlayacaktır.

Öneriler

Elde edilen bulgular doğrultusunda, tuzlu sulama koşullarında sera üretiminde sulama yönetiminin yalnızca uygulanan su miktarına göre değil, sulama suyunun tuzluluğu, kök bölgesindeki toprak su durumu, tuz birikimi ve bitkinin fizyolojik su durumu birlikte dikkate alınarak planlanması önerilmektedir. Özellikle tekrarlanan tuzlu sulama uygulamalarında kök bölgesinde kümülatif tuz birikiminin izlenmesi ve sulama programının buna göre dinamik olarak güncellenmesi önem taşımaktadır.

Sulama sistemlerinde lateral boyunca oluşan su dağılımındaki mekânsal değişkenliğin dikkate alınması, homojen olmayan su ve tuz koşullarının azaltılması açısından önemlidir. Bu nedenle sulama programlarının yalnızca toplam uygulanan su miktarı üzerinden değerlendirilmesi yerine, farklı lateral konumlarında kök bölgesindeki toprak nemi ve elektriksel iletkenlik değişimlerinin birlikte izlenmesi önerilmektedir.

Tuzlu sulama koşullarında yeterli toprak neminin korunması tek başına bitkinin su stresini önlemeyebileceğinden, sulama kararlarında toprak su içeriğine ek olarak bitki su potansiyeli gibi fizyolojik göstergelerden yararlanılması

önerilmektedir. Böylece hidrolik su açığı ile tuzluluğun neden olduğu ozmotik kısıtlanmanın birlikte değerlendirilmesi ve sulama zamanlamasının bitkinin gerçek su durumuna daha duyarlı biçimde belirlenmesi mümkün olabilir.

Ayrıca, uzun süreli tuzlu sulama uygulamalarında toprak profilindeki tuz birikiminin kontrol altında tutulması amacıyla uygun yıkama ve drenaj koşullarının sulama programına entegre edilmesi gerekmektedir. Özellikle sera koşullarında yağışla doğal yıkanmanın sınırlı olması nedeniyle, kök bölgesinde oluşan net tuz bilançosunun periyodik olarak değerlendirilmesi ve gerektiğinde kontrollü yıkama uygulamalarının planlanması önerilmektedir.

Gelecekte yürütülecek araştırmalarda ise sulama suyu miktarı ile tuzluluk etkilerinin deneysel olarak ayrıştırılmasına, farklı yıkama oranlarının ve drenaj koşullarının değerlendirilmesine ve toprak suyu–tuzluluk–bitki su potansiyeli–verim ilişkilerinin aynı deneysel çerçevede incelenmesine öncelik verilmelidir. Bu yaklaşım, tuzlu sulama koşullarında bitkinin su kullanımını ve verim oluşumunu belirleyen hidrolik ve ozmotik süreçlerin daha güvenilir biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Al-Ogaidi, A.A., Wayayok, A., Rowshon, M. K., Abdullah, A. F. (2016). Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. Agricultural Water Management, 176, 203-213.

Chattha, M. U., Fatima, F., Khan, İ., Daji, L., Chattha, M.B., Rasheed, A., Elnour, R.O., Asseri, T.A.Y., Hashem, M., Alhaithloul, H.A.S., Hassan, M.U., Qari, S.H. (2024). Nutrient-coated urea mitigates deleterious impacts of salinity and supports wheat performance by enhancing antioxidant activities, photosynthetic performance and nitrogen use efficiency, Italian Journal of Agronomy,19(1): 100003.

Ehtaiwesh, A., Sunoj, V. S. J., Djanaguiraman, M., Prasad, P. V. V. (2024). Response of winter wheat genotypes to salinity stress under controlled environments. Frontiers in Plant Science, 15*, 1396498*.

FAO (1999). *Deficit irrigation practices*. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Guan, H., Li, J., Li, Y. (2013). Effects of drip system uniformity and irrigation amount on cotton yield and quality under arid conditions. Agricultural Water Management, 124, 37–51.

Ibrahimova, U., Talai, J., Hasan, M.M., Huseynova, I., Raja, V., Rastogi, A., Ghaffari, H., Zivcak, M., Yang, X., Brestic, M. (2025). Dissecting the osmotic and oxidative stress responses in salt-tolerant and salt-sensitive wheat genotypes under saline conditions. Plant, Soil and Environment, 71(1), 36–47.

Jiang X, Cao H, Wang R, Li X, Du T, Tong L, Kang J, Gao J and Ding R. (2026) Wheat water productivity under saline irrigation in Northern China: a meta-analysis of effects and management practices. Front. Plant Sci. 17: 1738026.

Juzoń-Sikora, K., Laskoś, K., Warchoł, M., Czyczyło-Mysza, I.M., Dziurka, K., Grzesiak, M., Skrzypek, E. (2024). Water relations and physiological traits associated with the yield components of winter wheat (*Triticum Aestivum* L.). Agriculture- MDPI, 14(11), 1-17.

Munns, R., Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651–681.

Nishida, K., Khan, N. M., Shiozawa, S. (2009). Effects of salt accumulation on the leaf water potential and transpiration rate of pot-grown wheat with a controlled saline groundwater table. Soil Science and Plant Nutrition, 55(3), 375–384.

Patwa, N., Pandey, V., Gupta, O.P., Yadav, A., Meena, M.R., Ram, S., Singh, G. (2024). Unravelling wheat genotypic responses: Insights into salinity stress tolerance in relation to oxidative stress, antioxidant mechanisms, osmolyte accumulation and grain quality parameters. BMC Plant Biology, 24, 875.

Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A., Hammel, H. T. (1965). Sap pressure in vascular plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. Science, 148, 339–346.

Sezen, S.M., Yazar, A. (2006). Wheat yield response to line-source sprinkler irrigation in the arid Southeast Anatolia region of Turkey. Agricultural Water Management, 81(1–2): 59-76.

Singh, K. P., Kumar, V. (1979). Influence of irrigation on the leaf water potentials and yield of wheat and barley at two dates of sowing. Field Crops Research, 2, 117–124.

Singh, R. B., Chauhan, C.P.S., Minhas, P.S. (2009). Water production functions of wheat (*Triticum Aestivum* L.) irrigated with saline and alkali waters using double-line source sprinkler system. agricultural water management, 96(5), 736–744.

Tekin, S., Sezen, S.M., Arslan, S., Boyacı, S., Yıldız, M. (2014). Water production functions of wheat irrigated with saline water using line source sprinkler system under the Mediterranean type climate. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 1(Special Issue 1): 1017-1024.

Turner, N.C. (1988). Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. Irrigation Science, 9: 289-308.

Wang, L., Zhang, Y., Li, H., Hu, X., Feng, P., Mo, Y., Zhang, B., Xu, D., Gong, S. (2025). Integrated responses of gas exchange and hydraulic traits of wheat leaves to different combination of VPD and soil moisture. Plant Stress, 17, 100981.

Yazar, A., Howell, T. A., Dusek, D. A., Solomon, K. H. (2006). Wheat yield response to line-source sprinkler irrigation in the arid Southeast Anatolia region of Turkey. Agricultural Water Management, 81, 59–76.

Zhou, L., Feng, H., Zhao, Y., Qi, Z., Zhang, T., He, J., Dyck, M. (2017). Drip irrigation lateral spacing and mulching affects the wetting pattern, shoot-root regulation, and yield of maize in a sand-layered soil. Agricultural Water Management, 184, 114–123.

Zhou, L., He, J., Qi, Z., Dyck, M., Zou, Y., Zhang, T., Feng, H. (2018). Effects of lateral spacing for drip irrigation and mulching on the distributions of soil water and nitrate, maize yield, and water use efficiency. Agricultural Water Management, 199, 190-200.

DENTİN BİYOKİMYASI

Dr. Öğr. Üyesi Caner FURAN[1], Prof. Dr., Fatih Mehmet KANDEMİR[2]

[1] Aksaray Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Aksaray, TÜRKİYE, caner.furan@aksaray.edu.tr, 0000-0003-1834-8921

[2]Aksaray Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Aksaray, TÜRKİYE, fmkandemir@aksaray.edu.tr, 0000-0002-8490-2479

Özet

Dentin, mine ve sementin altında yer alan, pulpa boşluğunu çevreleyen, avasküler, kollajen açısından zengin mineralize bir dokudur. Mine gibi hücre dışı bir salgı ürünü olmakla birlikte, mine kadar yüksek oranda mineralize değildir ve canlı hücre uzantılarını (odontoblast uzantıları) içeren tübüler bir yapıya sahiptir. Tip I kollajen temelli organik bir matriksin hidroksiapatit kristalleriyle mineralize olduğu bir bağ dokusudur. Özelliklerini kollajen, non-kollajenöz proteinler ve mineral faz arasındaki etkileşim belirler. Dentin, dişin gövdesini oluşturur, pulpayı korur ve mine ile sementi destekler. Dentinogenez ve osteogenezin moleküler mekanizmalarını anlamak amacıyla dentin ve kemik matriks proteinleri izole edilmiş ve karakterize edilmiştir. Dişin büyük bölümünü oluşturan bu dokunun biyokimyasal yapısının bilinmesi adezyon araştırmaları, dental tedavilerin anlaşılması ve çeşitlendirilmesi, diş dayanıklılığını sağlanma çabaları ve oral sağlık açısından yararlı olacaktır. Biyokimyasal açıdan dentin, mineral kristallerinin organik bir ekstrasellüler matriks içerisinde düzenlendiği hiyerarşik bir kompozit yapı olarak değerlendirilir. Dentin biyokimyasında güncel yaklaşım, mineral faz ile organik matriksi birbirinden bağımsız iki bileşen olarak görmekten ziyade, bunların karşılıklı etkileşimlerinin dentinin oluşumu, mineralizasyonu, mekanik özellikleri, yaşlanması, çürük progresyonu ve restoratif işlemlere verdiği yanıtı belirlediğini kabul etmektir.

Anahtar Kelimeler: Dentin, Tip I Kollajen, Dentin Sialofosfoprotein, Hidroksiapatit.

DENTIN BIOCHEMISTRY

Assist. Prof. Dr. Caner FURAN[1], Prof. Dr. Fatih Mehmet KANDEMİR[2]

[1] Aksaray University, Faculty of Dentistry, Department of Endodontics, Aksaray, TÜRKİYE, caner.furan@aksaray.edu.tr, 0000-0003-1834-8921

[2]Department of Medical Biochemistry, Faculty of Medicine, Aksaray University, Aksaray, TURKEY, fmkandemir@aksaray.edu.tr, 0000-0002-8490-2479

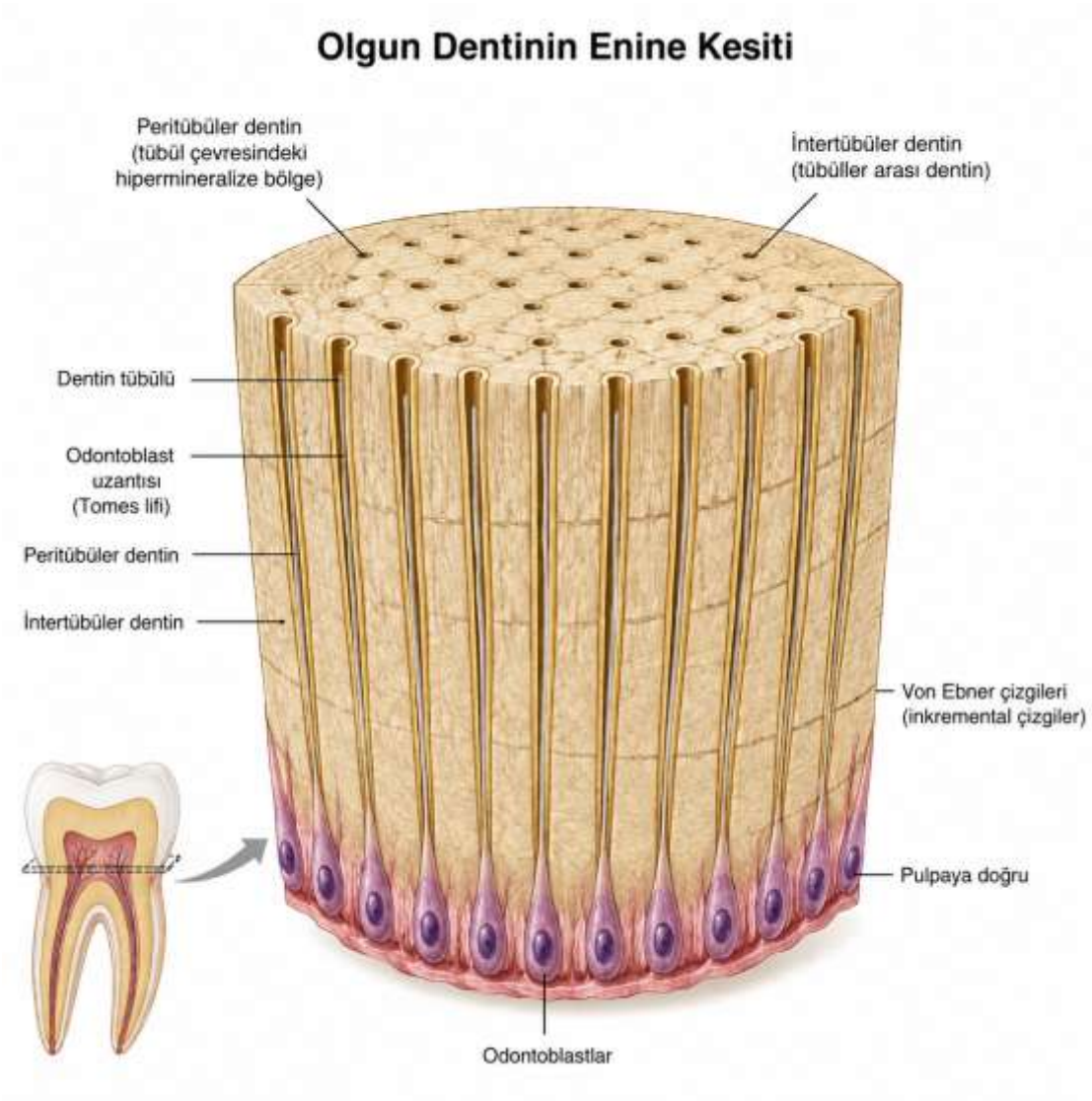
Abstract

Dentin is an avascular, collagen-rich mineralized tissue located beneath enamel and cementum and surrounding the pulp chamber. Although it is an extracellular secretory product like enamel, it is not as highly mineralized and has a tubular structure containing living cellular processes (odontoblastic processes). It is a connective tissue in which a Type I collagen-based organic matrix is mineralized with hydroxyapatite crystals. Its properties are determined by the interactions among collagen, non-collagenous proteins, and the mineral phase. Dentin forms the bulk of the tooth, protects the pulp, and supports the enamel and cementum. Dentin and bone matrix proteins have been isolated and characterized to better understand the molecular mechanisms of dentinogenesis and osteogenesis. Knowledge of the biochemical structure of this tissue, which constitutes the major portion of the tooth, may be beneficial for adhesion research, understanding and diversifying dental treatments, efforts to improve tooth durability, and oral health. From a biochemical perspective, dentin is regarded as a hierarchical composite structure in which mineral crystals are organized within an organic extracellular matrix. The current approach to dentin biochemistry considers the mineral phase and organic matrix not as two independent components, but rather recognizes that their reciprocal interactions determine dentin formation, mineralization, mechanical properties, aging, caries progression, and its response to restorative procedures.

Key Words: Dentin, Type I Collagen, Dentin Sialophosphoprotein, Hydroxyapatite.

1. GİRİŞ

Dentin, dişin ana kütlesini oluşturan, avasküler, sinir lifleriyle zengin bir şekilde innerve edilmiş kalsifiye bir bağ dokusudur ve mezoderm kökenli odontoblastlar tarafından sentezlenir. Odontoblastlar dentinin sentezlenmesinde veya onarımında rol oynar ve pulpadan beslenir. Odontoblastlar olgunlaştığında kalsifiye olmamış predentin adı verilen bir ekstraselüler matriks salgılar (Nanci, 2014). Bu ekstraselüler matriks büyük ölçüde kollajen fibrillerden oluşur ve kalsifikasyon yoluyla primer dentine dönüşür. Olgun dentinin enine kesiti; intertübüler dentin, peritübüler dentin ve odontoblastik uzantılar olmak üzere çeşitli yapılar içerir.

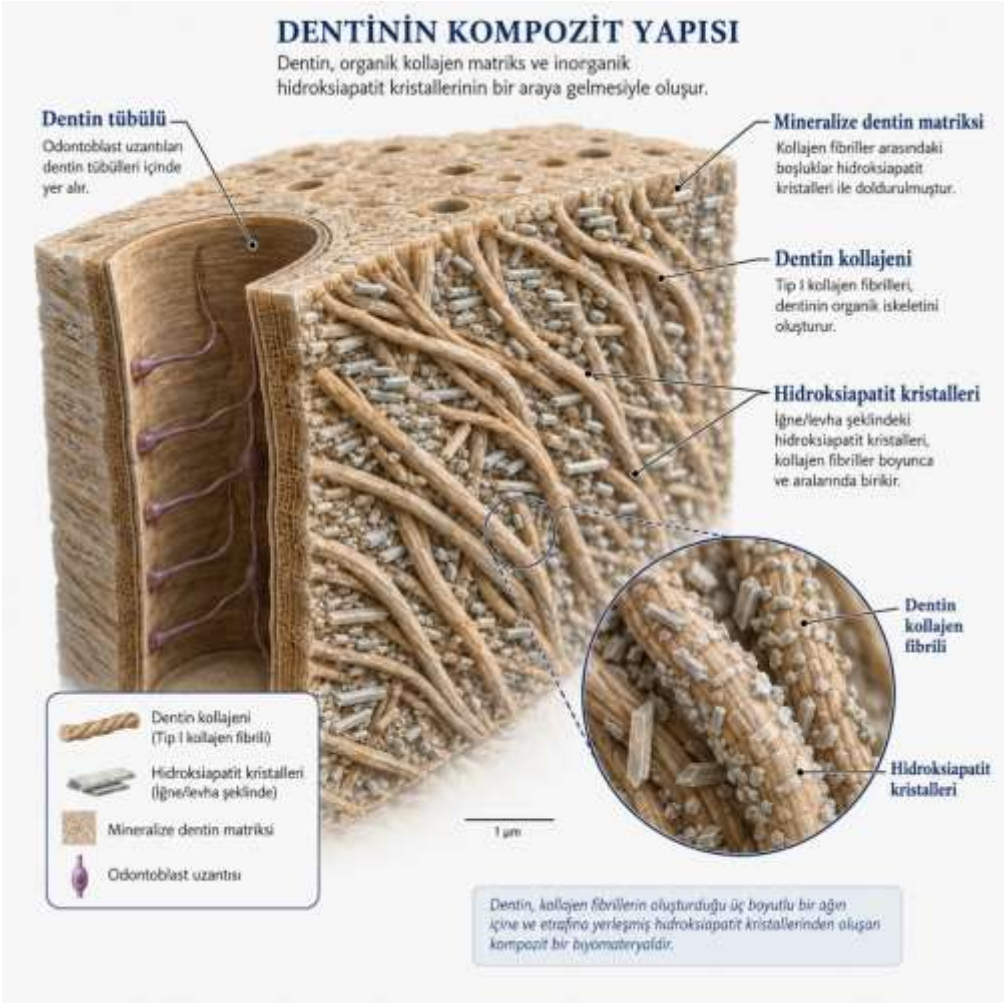


Şekil 1: Dentinin enine kesiti

(İllustrasyon AI kullanılarak çizilmiştir)

Peritübüler dentin, dentindeki en yoğun kalsifiye bölgedir. Peritübüler dentinin yoğunluğu yaklaşık 2,40 g/cm³ olup, dentinin genel ortalama yoğunluğu olan 2,14 g/cm³'ten oldukça yüksektir (Min, 2023; Xu & Wang, 2012).

Dentinin inorganik içeriği yaklaşık %70–75 (ağırlıkça) olup, bu oran mineden daha düşük ancak kemik veya sementten daha yüksektir (Abou Neel et al., 2016). Omurgalı kemiği ve dişlerindeki mineraller, hidroksiapatit kristalleri [$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$] formunda kalsiyum fosfattan oluşur. Dentindeki mineraller de hidroksiapatitle yakından ilişkilidir. Ayrıca dentin, saf hidroksiapatitte bulunmayan CO_3^{-2}, F^- ve Na^+ gibi inorganik iyonlar da içerebilir (Aoba, 2004). Dentinin Ca/P oranı 2,04–2,05 olup, mineninkinden daha düşüktür (Levine, 2009). Dentin apatit kristalleri iğnemsi ve plaka tarzı morfolojiye sahip olup mine kristallerine kıyasla çok daha küçük boyuttadırlar. Bu sayede mineye kıyasla daha büyük bir yüzey alanı ve artmış iyon değişim kapasitesi sunarlar (Cazalbou et al., 2005; Xue, Zavgorodniy, Kennedy, Swain, & Li, 2013)



Şekil 2. Dentinin yapısı

(İllustrasyon AI kullanılarak çizilmiştir)

Normal insan dentininde organik içerik yaklaşık %20 (ağırlıkça), inorganik içerik yaklaşık %70 (ağırlıkça) olup, kalan %10'luk kısmı sudan oluşur. Dentinde bulunan organik bileşenlerin yaklaşık %90'ını, kalsifikasyon sürecinde önemli roller oynayan kollajen lifler oluşturur (Bertassoni, Orgel, Antipova, & Swain, 2012). Dentindeki kollajen esas olarak tip I kollajenden oluşur. Daha düşük miktarlarda tip III ve tip V kollajen gibi

diğer kollajenler de bildirilmektedir (Tjäderhane, Carrilho, Breschi, Tay, & Pashley, 2009). Kollajen dışı proteinler arasında dentinde bulunan dentin fosfoproteini, dentin sialoproteini, dentine özgü ekstrasellüler matriks proteinleri ve glikoprotein, proteoglikan ile Gla proteini gibi diğer proteinler yer alır (Linde, 1989; Suzuki, Haruyama, Nishimura, & Kulkarni, 2012). Dentin fosfoproteini (fosfoforin) dentindeki kollajen dışı proteinlerin %50 den fazlasını oluşturur ve başlıca predentin–dentin sınırında lokalizedir (Goldberg, Kulkarni, Young, & Boskey, 2011; Rabie & Veis, 1995). Diğer organik bileşenler arasında sitrat, laktat ve diğer metabolitler yer alır. Sitrat, kalsifiye dokuların yaygın bir bileşenidir ve nitekim in vivo toplam sitratın yaklaşık %70'i kalsifiye dokularda bulunur (Irizarry et al., 2017). Dentin, diğer kalsifiye dokulara benzer düzeylerde sitrat içerir; bu oran yaklaşık %0,8–0,9'dur (Costello, Franklin, & Reynolds, 2018; Zipkin & Gold, 1963).

Kollajen lifler dışında, kalsifiye dokulardaki organik bileşenlerin çoğunun fonksiyonları tam olarak anlaşılamamıştır. Kemik ve dentin gibi sert dokuların organik bileşenlerinden kollajen dışındaki proteinler topluca non-kollajenöz proteinler olarak adlandırılır. Nicel olarak, kollajen dışı proteinler sert dokudaki toplam proteinin %10'undan daha azını oluşturur ve çok sayıda asidik protein içerir. Bunların %70'i etilendiamintetraasetik asit (EDTA) ile demineralizasyon sırasında çözünürken, kalan %30'u kollajene bağlıdır (Orsini et al., 2009). Dentinogenez ve osteogenez sırasında mineral birikimi hassas bir şekilde kontrol edilir ve düzenli olarak dizilmiş, plaka şeklindeki kristaller kollajen fibrillerdeki boşluklara depolanır. Dentinogenez ve osteogenezin moleküler mekanizmalarını anlamak amacıyla dentin ve kemik matriks proteinleri izole edilmiş ve karakterize edilmiştir. Osteonektin, osteokalsin, osteopontin, kemik sialoproteini, dekorin ve biglikan hem kemikte hem de dentinde yaygın olarak bulunur (Park et al., 2009).

SIBLING protein ailesi (Small Integrin-Binding Ligand N-linked Glycoprotein) mineralize dokularda regülasyon sağlayan, insan dördüncü kromozomundaki kümelenmiş genler tarafından kodlanan negatif yüklü glikoproteinlerdir (Qin, Baba, & Butler, 2004). Klasik olarak bu aile; osteopontin (OPN/SPP1), kemik sialoproteini (BSP/IBSP), dentin matrix protein-1 (DMP1), dentin sialofosfoprotein (DSPP) ve matrix extraselüler fosfoglikoprotein (MEPE**)** üyelerinden oluşur (Zurick, Qin, & Bernards, 2013). Dentin matriks protein-1 ilk olarak dentinde tanımlanmış, daha sonra kemikte de tespit edilmiştir. Dentin sialofosfoprotein (DSPP) odontoblastlarla güçlü şekilde ilişkili önemli bir dentin matriks proteinidir. DSPP sentezlendikten sonra proteolitik olarak işlenerek dentin sialoprotein (DSP) ve dentin fosfoprotein/fosfoforin (DPP) ürünlerine ayrılır. Dentin sialofosfoprotein genindeki mutasyonların dentinogenesis imperfecta ve dentin displazisi gibi kalıtsal dentin bozukluklarına yol açabileceği bildirilmiş olup, proteinin dentin biyomineralizasyonundaki önemini güçlü şekilde göstermektedir (Ritchie, 2018).

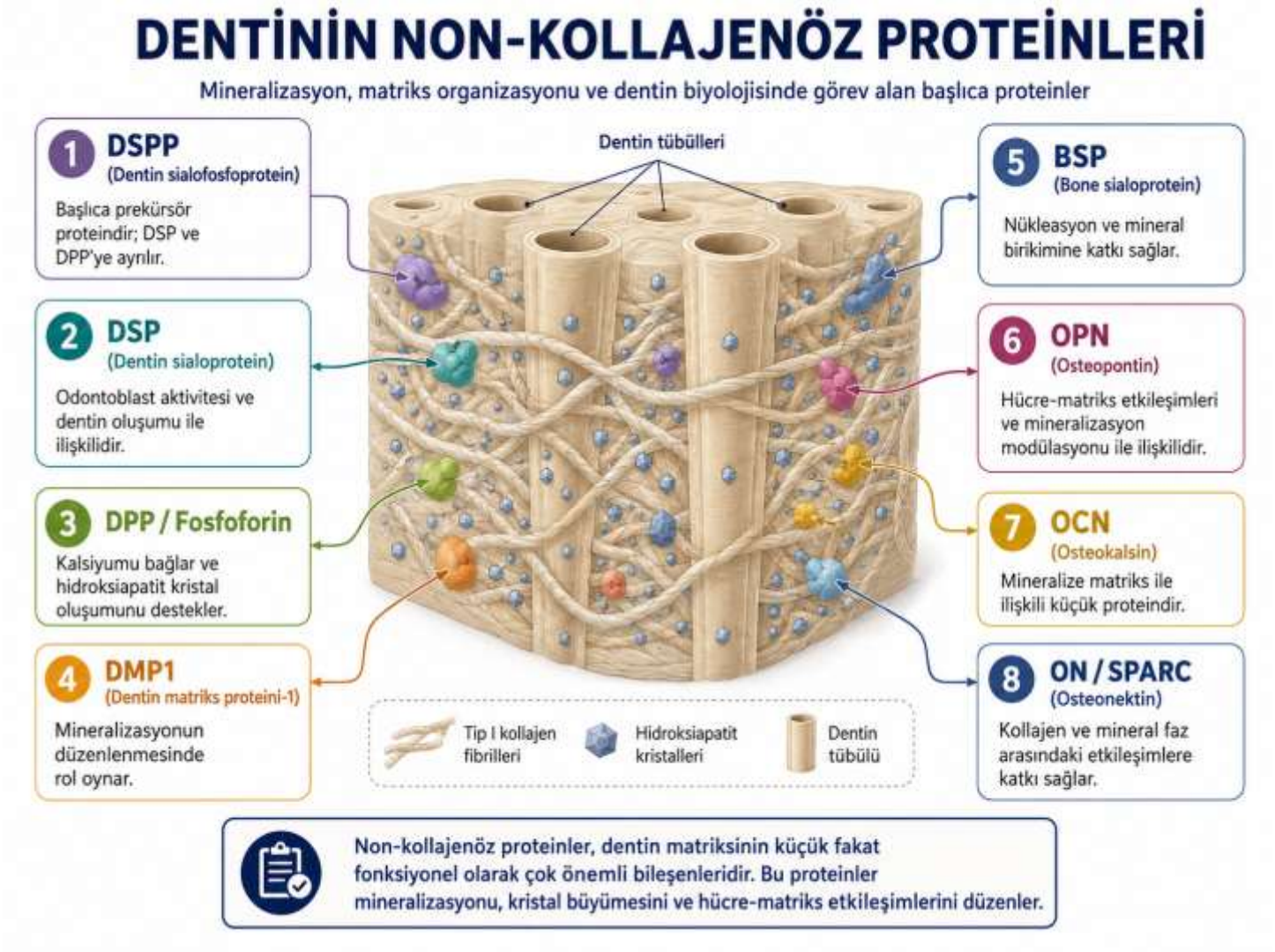
Dentin fosfoproteini, kollajenden sonra dentinde en fazla bulunan ikinci proteindir (Butler, Ritchie, & Bronckers, 1997; Yamakoshi & Simmer, 2018). İzoelektrik noktası 1,1'dir ve %35 aspartik asit ile %45–50 fosfoserinden

oluşur (Lu et al., 2026; Prasad, Butler, & Qin, 2010). Dentin fosfoproteini güçlü asidik bir protein olduğundan çoğu iki değerlikli katyona bağlanabilir ancak kalsifikasyon açısından özellikle kalsiyuma bağlanması önemlidir. İlk olarak dentin ekstraktlarından izole edilen dentin sialoproteini ise yüksek miktarda sialik asit içeren bir glikoproteindir. Moleküler ağırlığı 53 kDa'dır ve yüksek oranlarda aspartik asit, glutamik asit, serin ve glisin rezidüleri içerir. Dentin fosfoproteininin aksine dentin sialoprotein apatit kristallerinin kontrolsüz bir şekilde aşırı büyümesini önleyici işlev görür (Boskey, Spevak, Tan, Doty, & Butler, 2000).

Ayrıca dentin matriksinde küçük lösin-zengin proteoglikanlar (Small Leucine-Rich Proteoglycans; SLRP'ler) yer almaktadır ve ekstrasellüler matriksin düzenlenmesinde görev yapan proteoglikanlardır. Predentin ve dentin matriksinde yaygın olarak bulunan SLRP üyeleri dekorin, biglikan ve lumikandır. Bu moleküller özellikle predentin ve dentin matriksinde kollajen fibrillerinin organizasyonu ile mineralizasyonun kontrolünde rol oynarlar (Embery, Hall, Waddington, Septier, & Goldberg, 2001). Dekorin ve biglikan, kollajen fibrilleriyle ilişkileri nedeniyle predentin matriksinin organizasyonuna katkıda bulunurlar ve predentinin mineralize dentine dönüşümünde rol oynarlar (Goldberg et al., 2005).

İlave olarak dentin matriksi mineral ve yapısal proteinlerin yanı sıra biyolojik olarak aktif büyüme faktörlerini de depolayabilir. Bunlar arasında: transforme edici büyüme faktörü-β (TGF-β), kemik morfojenik proteinleri (BMP'ler), insulin benzeri büyüme faktörleri (IGF'ler), fibroblast büyüme faktörleri (FGF'ler) ve vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF) gibi moleküller bulunmaktadır (Galler et al., 2015; Virdee, Bashir, Camilleri, Cooper, & Tomson, 2022).

Dentinin biyokimyasal yapısının anlaşılması restoratif diş hekimliği, endodonti ve rejeneratif tedaviler açısından doğrudan önem taşımaktadır. Çünkü restoratif ve endodontik işlemler sırasındaki asitle pürüzlendirme uygulaması mineral fazı uzaklaştırarak kollajen ağı açığa çıkarır, aşırı demineralizasyon rezinin tam infiltre olamadığı kollajen bölgeleri bırakabilir, kalsiyum-fosfat ve biyomimetik remineralizasyon sistemleri kollajen içerisindeki mineralin yeniden oluşturulmasını hedefler veya dentin matriksinden serbestleşen büyüme faktörleri rejeneratif endodontide odontojenik yanıtın uyarılmasına katkıda bulunabilir. Bu nedenle çağdaş dentin araştırmaları yalnızca diş dokularından mineral kaybını önlemeye değil, organik matriksin korunmasına ve doğal biyomineralizasyon mekanizmalarının taklit edilmesine yönelmektedir.



Şekil 3. Dentin matriksinde yer alan kollajen dışı proteinler

(İllustrasyon AI kullanılarak çizilmiştir)

2. SONUÇ

Dentinin biyokimyasal özellikleri Tip I kollajenin sağladığı organik iskelet ile hidroksiapatitin sağladığı sertliğin; dentin sialofosfoprotein, dentin fosfoprotein ve DMP1 gibi non-kollajenöz proteinler tarafından kontrollü biçimde bir araya getirilmesine dayanır. Çağdaş dentin araştırmaları yalnızca mineral kaybını önlemeye değil, organik matriksin korunmasına ve doğal biyomineralizasyon mekanizmalarının taklit edilmesine yönelmektedir. Bu nedenle dentin biyokimyasının bilinmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Abou Neel, E. A., Aljabo, A., Strange, A., Ibrahim, S., Coathup, M., Young, A. M., . . . Mudera, V. (2016). Demineralization-remineralization dynamics in teeth and bone. *Int J Nanomedicine, 11*, 4743-4763. doi:10.2147/IJN.S107624

Aoba, T. (2004). Solubility properties of human tooth mineral and pathogenesis of dental caries. *Oral Dis, 10*(5), 249-257. doi:10.1111/j.1601-0825.2004.01030.x

Bertassoni, L. E., Orgel, J. P., Antipova, O., & Swain, M. V. (2012). The dentin organic matrix - limitations of restorative dentistry hidden on the nanometer scale. *Acta Biomater, 8*(7), 2419-2433. doi:10.1016/j.actbio.2012.02.022

Boskey, A., Spevak, L., Tan, M., Doty, S., & Butler, W. (2000). Dentin sialoprotein (DSP) has limited effects on in vitro apatite formation and growth. *Calcified tissue international, 67*(6), 472-478.

Butler, W. T., Ritchie, H. H., & Bronckers, A. L. (1997). Extracellular matrix proteins of dentine. *Ciba Found Symp, 205*, 107-115; discussion 115-107. doi:10.1002/9780470515303.ch8

Cazalbou, S., Eichert, D., Ranz, X., Drouet, C., Combes, C., Harmand, M. F., & Rey, C. (2005). Ion exchanges in apatites for biomedical application. *J Mater Sci Mater Med, 16*(5), 405-409. doi:10.1007/s10856-005-6979-2

Costello, L. C., Franklin, R. B., & Reynolds, M. A. (2018). The Important Role and Implications of Citrate in the Composition, Structure, and Function of Oral/Periodontal/Craniofacial Tissues. *Madridge J Dent Oral Surg, 3*(1), 85-90. doi:10.18689/mjdl-1000120

Embery, G., Hall, R., Waddington, R., Septier, D., & Goldberg, M. (2001). Proteoglycans in dentinogenesis. *Crit Rev Oral Biol Med, 12*(4), 331-349. doi:10.1177/10454411010120040401

Galler, K. M., Buchalla, W., Hiller, K. A., Federlin, M., Eidt, A., Schiefersteiner, M., & Schmalz, G. (2015). Influence of root canal disinfectants on growth factor release from dentin. *J Endod, 41*(3), 363-368. doi:10.1016/j.joen.2014.11.021

Goldberg, M., Kulkarni, A. B., Young, M., & Boskey, A. (2011). Dentin: structure, composition and mineralization. *Front Biosci (Elite Ed), 3*(2), 711-735. doi:10.2741/e281

Goldberg, M., Septier, D., Rapoport, O., Iozzo, R. V., Young, M. F., & Ameye, L. G. (2005). Targeted disruption of two small leucine-rich proteoglycans, biglycan and decorin, excerpts divergent effects on enamel and dentin formation. *Calcif Tissue Int, 77*(5), 297-310. doi:10.1007/s00223-005-0026-7

Irizarry, A. R., Yan, G., Zeng, Q., Lucchesi, J., Hamang, M. J., Ma, Y. L., & Rong, J. X. (2017). Defective enamel and bone development in sodium-dependent citrate transporter (NaCT) Slc13a5 deficient mice. *PLoS One, 12*(4), e0175465. doi:10.1371/journal.pone.0175465

Levine, R. S. (2009). The Differential Inorganic Composition of Dentine within Active and Arrested Carious Lesions. *Caries Research, 7*(3), 245-260. doi:10.1159/000259847

Linde, A. (1989). Dentin matrix proteins: composition and possible functions in calcification. *Anat Rec, 224*(2), 154-166. doi:10.1002/ar.1092240206

Lu, D., Zhang, Y., Zhang, C., Chen, Y., Zhang, C., Zhang, Q., . . . Wu, Z. (2026). Hierarchical Mineralization Buffer Zone for Dentin Interface Reconstruction via Protein-Guided Nonclassical Mineralization. *Advanced Functional Materials, 36*(39), e00018.

Min, B.-M. (2023). Enamel. In *Oral Biochemistry* (pp. 7-28). Singapore: Springer Nature Singapore.

Nanci, A. (2014). *Ten cate's oral histology development, structure, and function, 8/e*: Elsevier india.

Orsini, G., Ruggeri Jr, A., Mazzoni, A., Nato, F., Manzoli, L., Putignano, A., . . . Breschi, L. (2009). A review of the nature, role, and function of dentin non-collagenous proteins. Part 1: proteoglycans and glycoproteins. *Endodontic Topics, 21*(1), 1-18.

Park, E. S., Cho, H. S., Kwon, T. G., Jang, S. N., Lee, S. H., An, C. H., . . . Cho, J. Y. (2009). Proteomics analysis of human dentin reveals distinct protein expression profiles. *J Proteome Res, 8*(3), 1338-1346. doi:10.1021/pr801065s

Prasad, M., Butler, W. T., & Qin, C. (2010). Dentin sialophosphoprotein in biomineralization. *Connect Tissue Res, 51*(5), 404-417. doi:10.3109/03008200903329789

Qin, C., Baba, O., & Butler, W. T. (2004). Post-translational modifications of sibling proteins and their roles in osteogenesis and dentinogenesis. *Crit Rev Oral Biol Med, 15*(3), 126-136. doi:10.1177/154411130401500302

Rabie, A. M., & Veis, A. (1995). An immunocytochemical study of the routes of secretion of collagen and phosphophoryn from odontoblasts into dentin. *Connect Tissue Res, 31*(3), 197-209. doi:10.3109/03008209509010811

Ritchie, H. (2018). The functional significance of dentin sialoprotein-phosphophoryn and dentin sialoprotein. *Int J Oral Sci, 10*(4), 31. doi:10.1038/s41368-018-0035-9

Suzuki, S., Haruyama, N., Nishimura, F., & Kulkarni, A. B. (2012). Dentin sialophosphoprotein and dentin matrix protein-1: Two highly phosphorylated proteins in mineralized tissues. *Arch Oral Biol, 57*(9), 1165-1175. doi:10.1016/j.archoralbio.2012.03.005

Tjäderhane, L., Carrilho, M. R., Breschi, L., Tay, F. R., & Pashley, D. H. (2009). Dentin basic structure and composition—an overview. *Endodontic Topics, 20*(1), 3-29.

Virdee, S. S., Bashir, N., Camilleri, J., Cooper, P. R., & Tomson, P. L. (2022). Exploiting Dentine Matrix Proteins in Cell-Free Approaches for Periradicular Tissue Engineering. *Tissue Eng Part B Rev, 28*(4), 707-732. doi:10.1089/ten.TEB.2021.0074

Xu, C., & Wang, Y. (2012). Chemical composition and structure of peritubular and intertubular human dentine revisited. *Arch Oral Biol, 57*(4), 383-391. doi:10.1016/j.archoralbio.2011.09.008

Xue, J., Zavgorodniy, A. V., Kennedy, B. J., Swain, M. V., & Li, W. (2013). X-ray microdiffraction, TEM characterization and texture analysis of human dentin and enamel. *J Microsc, 251*(2), 144-153. doi:10.1111/jmi.12053

Yamakoshi, Y., & Simmer, J. P. (2018). Structural features, processing mechanism and gene splice variants of dentin sialophosphoprotein. *Jpn Dent Sci Rev, 54*(4), 183-196. doi:10.1016/j.jdsr.2018.03.006

Zipkin, I., & Gold, R. S. (1963). The citrate content of teeth. *Proc Soc Exp Biol Med, 113*, 580-584. doi:10.3181/00379727-113-28432

Zurick, K. M., Qin, C., & Bernards, M. T. (2013). Mineralization induction effects of osteopontin, bone sialoprotein, and dentin phosphoprotein on a biomimetic collagen substrate. *J Biomed Mater Res A, 101*(6), 1571-1581. doi:10.1002/jbm.a.34462

DENEYSEL OLUŞTURULAN SİKLOFOSFAMİD KAYNAKLI KALP HASARINDA KULLANILAN BAZI BİTKİSEL ANTİOKSİDANLAR

Prof. Dr., Fatih Mehmet KANDEMİR[1], Dr. Özge KANDEMİR[2]

[1]Aksaray Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Aksaray, TÜRKİYE, fmkandemir@aksaray.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8490-2479

[2]Aksaray Üniversitesi, Aksaray Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Aksaray, TÜRKİYE, ozgekandemir@aksaray.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8884-4168

Özet

Kemoterapi, kanseri tedavi etmenin en başarılı yollarından biridir, ancak kemoterapi tedavisi gören çoğu insan, DNA hasarı ve sağlıklı hücrelerde iltihaplanma olasılığını da içeren, değişen derecelerde yan etkilerle karşılaşmaktadır. Güçlü bir anti-tümör etkisine sahip olmasına rağmen siklofosfamidin (SP), kardiyotoksisite, nefrotoksisite ve hepatotoksisite gibi olumsuz yan etkileri bulunmaktadır. SP'nin nekroz, kanama ve fibrozis dahil olmak üzere akut kalp hasarının yanı sıra ciddi inflamasyona neden olduğu bilinmektedir. Ek olarak bağışıklık sisteminde B ve T lenfositleri de dahil olmak üzere çeşitli değişikliklere neden olur. SP, hepatik sitokrom P450 tarafından metabolize edilerek 4-hidroksi siklofosfamid oluşturulur ve bu metabolit fosforamid hardalı ile DNA ve proteini alkilleyen akrolein üretir, çapraz bağlantılar oluşturur, bu da kansere ve sağlıklı hücre hasarına neden olur. Ne yazık ki, SP'nin optimal klinik faydası, yüksek oranda çoklu organ toksisitesi nedeniyle ciddi şekilde sınırlıdır. Her geçen gün alternatif tıppa olan ilginin artması bitkisel antioksidanları ön plana çıkarmış ve farklı toksikasyon modellerinde bu antioksidanlar kullanılarak terapotik etkileri araştırılmıştır. SP kaynaklı kardiyotoksisiteyi azaltmak yada engellemek için başta silymarin, kurkumin, krisin, kuersetin, geraniol ve karvakrol gibi bitkisel antioksidanlar kullanılmış ve çoğu araştırmada pozitif sonuçlar elde edilmiştir. Sunulan derlemede SP kaynaklı kardiyotoksisite modellerinde yaygın olarak kullanılan silymarin, kurkumin, krisin, kuersetin, geraniol ve karvakrol gibi bazı bitkisel antioksidanların terapotik ve kimyasal yapıları kısa bir özet halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Siklofisfamid, kalp hasarı, geraniol, karvacrol, krisin, kuersetin, kurkumin, silymarin.

SOME PLANT ANTIOXIDANTS USED IN EXPERIMENTALLY INDUCED CYCLOPHOSPHAMIDE-INDUCED HEART DAMAGE

Prof. Dr., Fatih Mehmet KANDEMİR[1], Dr.,Özge KANDEMİR[2]

[1]Department of Medical Biochemistry, Faculty of Medicine, Aksaray University, Aksaray, TURKEY, fmkandemir@aksaray.edu.tr, ORCİD: 0000-0002-8490-2479

[2]Aksaray University, Vocational School of Technical Sciences, Food Processing Department, Aksaray, TURKEY, ozgekandemir@aksaray.edu.tr, ORCİD: 0000-0001-8884-4168

Abstract

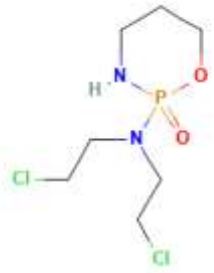
Chemotherapy is one of the most successful ways to treat cancer, but most people undergoing chemotherapy experience varying degrees of side effects, including the possibility of DNA damage and inflammation in healthy cells. Despite having a strong anti-tumor effect, cyclophosphamide (SP) has adverse side effects such as cardiotoxicity, nephrotoxicity, and hepatotoxicity. SP is known to cause acute heart damage, including necrosis, bleeding, and fibrosis, as well as severe inflammation. Additionally, it causes various changes in the immune system, including B and T lymphocytes. SP is metabolized by hepatic cytochrome P450 to form 4-hydroxycyclophosphamide, and this metabolite produces acrolein, which alkylates DNA and protein with phosphoramide mustard, creating cross-links that lead to cancer and damage to healthy cells. Unfortunately, the optimal clinical benefit of SP is severely limited due to its high degree of multi-organ toxicity. The increasing interest in alternative medicine has brought herbal antioxidants to the forefront, and their therapeutic effects have been investigated in various toxicity models. To reduce or prevent SP-induced cardiotoxicity, herbal antioxidants such as silymarin, curcumin, chrysin, quercetin, geraniol, and carvacrol have been used, and most studies have yielded positive results. This review presents a brief overview of the therapeutic and chemical structures of some herbal antioxidants commonly used in SP-induced cardiotoxicity models, including silymarin, curcumin, chrysin, quercetin, geraniol, and carvacrol.

Key Words: Cyclofisfamide, heart damage, geraniol, carvacrol, chrysin, quercetin, curcumin, silymarin.

GİRİŞ

Siklofosfamid (SP), çoğu kanser kemoterapisi ve immünosupresif protokolünde yaygın olarak kullanılan bir oksazafosforin alkilleyici ajandır (Baumann ve Preiss, 2001). Farklı insan tümör tiplerine karşı geniş spektrumlu antineoplastik aktiviteye sahiptir (Murphy, ve ark. 1986; Bhosle ve Hall, 2006). Ne yazık ki, SP'nin optimal klinik faydası, yüksek oranda çoklu organ toksisitesi nedeniyle ciddi şekilde sınırlıdır (Colvin, 1999). Yüksek terapötik dozlarda SP'nin ölümcül kardiyotoksisite ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Shanholtz, 2001). Kalp toksisitesi SP'nin en önemli yan etkilerinden biridir ve yüksek oranda morbidite ve mortaliteye katkıda bulunur (Sayed-Ahmed ve ark., 2014). SP'nin kardiyotoksik etkileri, morfolojik olarak nekroz, kanama ve daha sonra fibrozis gelişimi ile karakterize edilen akut, doza bağlı kalp hasarından oluşur (Goldberg ve ark., 1986; Senthilkumar ve ark., 2006). Sitotoksik etkileri, DNA ve proteini alkile ederek çapraz bağ oluşturan kimyasal olarak reaktif metabolitlerin sonucudur (Avcı ve ark., 2017; Sladek, 1988). CP'ye maruz kalma sonrasında dokuların redoks dengesinin oksidatif stres aracılığıyla bozulmasının biyokimyasal ve fizyolojik bozukluklara neden olduğu rapor edilmiştir (Saandeep ve ark., 2009).

1980'li yıllardan bu yana tıbbi bitkiler ve bunların etken maddeleri giderek artan bir ilgi görmeye başlamıştır. Tıbbi bitkiler terapötik alternatifler, daha güvenli seçenekler veya bazı durumlarda tek etkili tedavi olarak hizmet eder ve giderek artan sayıda bu bitkilerin ve bunların ekstraktlarının antioksidan, antiinflamatuar, antikanser, antimikrobiyal ve immünomodülatör etkiler dahil olmak üzere yararlı terapötik etkiler ürettiği gösterilmiştir (Avcı ve ark., 2017).

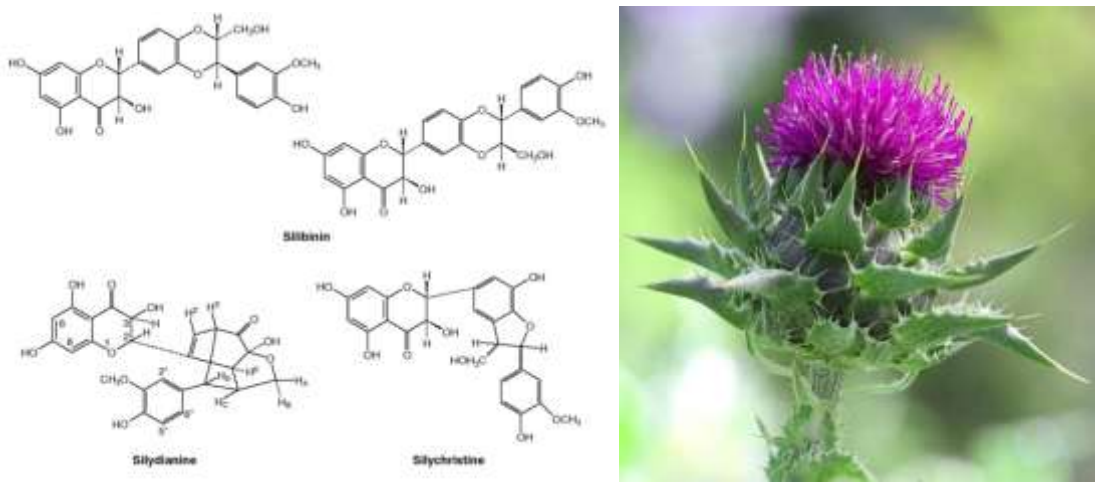


Şekil 1: Siklofosfamidin kimyasal yapısı (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cyclophosphamide).

Deneysel Siklofosfamid Kaynaklı Kalp Hasarına Karşı Kullanılan Bazı Bitkisel Antioksidanlar

Silymarin

Silybum marianum'un (Compositae) tohumlarından ve meyvesinden elde edilir ve gerçekte üç yapısal bileşenin bir karışımıdır: silibinin, silydianin ve silychristine. Silymarin bileşenlerinin yapısı 1960'larda açıklığa kavuşturulmuştur (Fraschini ve ark. 2002).



Şekil 2. Silibinin, Siliadin ve Silichristin' in kimyasal yapısı (Fraschini ve ark. 2002) ve Deve dikeni (Silybum marianum)' ın görünümü (Behmani ve ark. 2015).

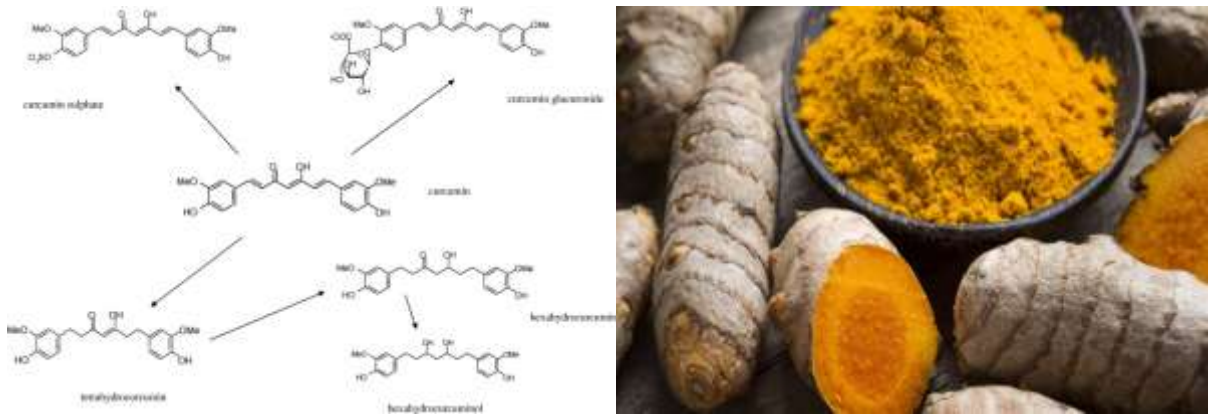
Şekil 3: Deve dikeninin görünümü ve Silymarin' in toz hali (https://tr.greenagribio.com/botanical-feed-additives/silymarin-powder.html).

Silymarin; Anti-lipid peroksidatif, antifibrotik, anti-apoptotik (doza bağlı), antioksidan, serbest radikal temizleyici, immünomodülatör, antiinflamatuar, antiviral ve karaciğer yenileyici özellikleri olduğu rapor edilmiştir ve genellikle 50, 100 ve 200 mg/ kg' lık dozları çalışılmıştır (Güzel ve ark. 2020).

Kurcumin

Curcuma spp. zerdeçal (suda çözünür bir peptit), esansiyel yağlar (turmeronlar, atlantonlar ve zingiberen gibi) ve kurkumin [1,7-bis-(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadien-3,5-dion dahil olmak üzere kurkuminoidler içerir. Kurkuminoidler, Curcuma türlerinin köklerinden elde edilen fenolik bileşikler olarak tanımlanabilir (Zingiberaceae). Kurkumin (diferüloilmetan), ilk olarak 1910'da kimyasal olarak tanımlanan, genellikle en aktif bileşen olarak kabul edilen ve çoğu zerdeçal preparatının %2-8'ini oluşturan düşük molekül ağırlıklı bir

polifenoldür. Kurkumin, antioksidan, antiinflamatuar, kanser kemopreventif ve potansiyel olarak kemoterapötik özelliklere sahip bir moleküldür (Sharma ve ark. 2005).



Şekil 4: Kurkuminin başlıca metabolitlerinin kimyasal yapıları (Sharma ve ark. 2005) ile bitki ve toz hali (https://www.arthritiswa.org.au/2020/02/27/curcumin-health-benefits-and-cautions-explained/)

Curcumin siklofosfamid kaynaklı kardiyotoksisite modellerinde 25, 50 ve 100 mg/kg dozlarda kullanılmıştır (Chakraborty ve aark. 2017; Huyut ve ark. 2024).

Krisin

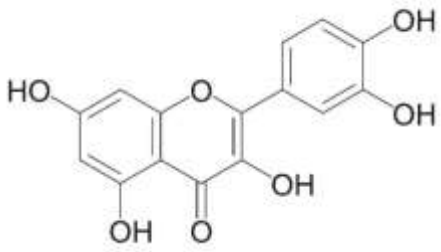
Krisin, çarkıfelek çiçeği (Passiflora caerulea), propolis, bal, Oroxylum indicum, Scutellaria baicalensis, havuç, papatya ve mantar (Pleurotus ostreatus) dahil olmak üzere birçok bitki türü, meyve ve mantarda bol miktarda bulunan doğal bir diyet flavonoididir. Çok sayıda çalışma, krisin'nin antioksidan, antidiyabetik, antiinflamatuar, hepatoprotektif, antikanser, lipid düşürücü, kardiyoprotektif ve nöroprotektif bir ajan olarak önemini vurgulamıştır (Mani ve Natesan, 2018; Naz ve ark. 2019).

Şekil 5. Krisin' in kimyasal yapısı (Ye ve ark. 2022) ve çarkıfelek çiçeği (https://global.xtendlife.com/blogs/supplement-ingredients/chrysin).

Krisin siklofosfamid kaynaklı kardiyotoksisite modellerinde 25, 50 ve 100 mg/kg dozlarda kullanılmıştır (Saleh ve ark. 2025).

Kuersetin

Rutin'in doğal bitki kaynaklı aglikonu olarak bilinen kuersetin, sıklıkla besin takviyesi olarak kullanılmaktadır ve son zamanlarda çeşitli hastalıkların tedavisinde etkili olduğu gösterilmiştir (Aras ve ark. 2025). Özellikle soğan, ısırgan otu, elma, üzüm kabuğu, brokoli ve kapari gibi gıdalarda bol miktarda bulunur (Kandemir ve ark. 2025). Kardiyovasküler koruyucu, renokardiyoprotektif, antikanser, antiülser, antialerji, antiinflamatuar, antiviral, antidiyabetik, antihipertansif, gastroprotektif, immünomodülatör ve anti-enfektif nitelikleri, quercetin'in faydalı etkilerinden sadece birkaçıdır (Ahmed ve ark. 2022). Kuersetin siklofosfamid kaynaklı kalp hasarında destekleyici tedavi olarak kullanılmış ve etkili sonuçlar alınmıştır (Aras ve ark. 2025).

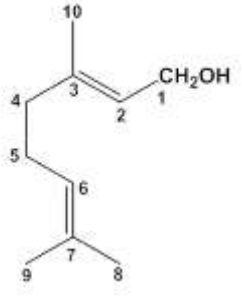


Şekil 6. Kuersetin' in kimyasal yapısı (Liu ve ark. 2025)

Kuersetin kardiyotoksisite çalışmalarında 50, 100 ve 200 mg/kg dozlarda kullanılmıştır (verma ve ark. 2025; Aras ve ark. 2025).

Geraniol

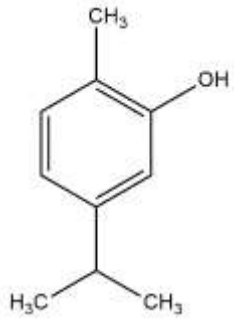
Geraniol, antik çağlardan beri çeşitli hastalık koşulları için kullanılan, kapsamlı olarak araştırılan bitki sekonder metabolitleri arasındadır. Daha spesifik olarak limon otu ve gül esansiyel yağlarından elde edilen asiklik bir monoterpendir. Aynı zamanda tatlandırıcı madde olarak ve insan tüketimi için kullanılması Gıda ve İlaç İdaresi tarafından da onaylanmıştır. Geraniolün farmakolojik özelliği göz önüne alındığında, bu doğal biyoaktif madde güçlü antioksidan, anti-inflamatuar, antiapoptotik, antiartritik, anti-hiperlipidemik, hepatoprotektif ve antikanser potansiyeline sahiptir. Geraniol 100 ve 200 mg/kg dozunda kullanılmaktadır (Karim ve Shaik, 2024).



Şekil 7. Geraniol' ün kimyasal yapısı (Pavan ve ark. 2018)

Karvakrol

Karvakrol (1,2-metil-5-izopropil fenol), kekik ve mercanköşk gibi birçok bitki türünde bulunan fenolik bir monoterpenoiddir. Karvakrol esas olarak kekik esansiyel yağı olarak bilinir. Karvakrol (5-izopropil-2-metilfenol) bir monoterpenoiddir ve sıvı formdadır, suda çözünmez ve etanolde çözünür, kaynama noktası 236–237°C ve 20°C'de yoğunluğu 0,976 g/mL'dir. Karvakrol, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi ve ABD Gıda ve İlaç İdaresi tarafından onaylanmış bir bileşik olarak iyi bilinen bir güvenlik profiline sahiptir (Gencer ve ark. 2024). Karvakrol, hepatoprotektif, antiinflamatuar, antioksidan, antimutajenik, antitümör, antimikrobial, antibakteriyel ve antiviral etkiye sahiptir. Karvakrol ayrıca lipozom fosfolipid peroksidasyonunu inhibe eder ve çeşitli sentetik antioksidanlardan daha yüksek bir antioksidan aktiviteye sahiptir (Çetik ve ark. 2015). Karvakrol kalp toksisitesi çalışmalarında 25 ve 50 mg/kg dozlarda kullanılmaktadır (El-Sayed ve ark. 2016; Jafarinezhad ve ark. 2019).



Şekil 8. Karvakrol' un kimyasal yapısı (Zhang ve ark. 2018).

SONUÇ

Bitkisel antioksidanların kullanımı hergün giderek artmakta ve ilaç kaynaklı toksikasyon medellerinde güvenilirliği ve terapotik etkilerine yönelik çalışmalat yapılmaktadır. SP kaynaklı kardiyotoksisite modellerinde sıklıkla kullanılan silymarin, kurkumin, krisin, kuersetin, geraniol ve karvakrol gibi bazı bitkisel antioksidanların kardiyotoksisiteyi azaltmada ya da engellemede etkili olduğu belirlenmiş ve kardiyoprotektif antioksidanlar olarak literatürlerde yerini almıştır.

KAYNAKLAR

Ahmed, O. M., Elkomy, M. H., Fahim, H. I., Ashour, M. B., Naguib, I. A., Alghamdi, B. S., ... & Ahmed, N. A. (2022). Rutin and quercetin counter doxorubicin-induced liver toxicity in wistar rats via their modulatory effects on inflammation, oxidative stress, apoptosis, and Nrf2. *Oxidative medicine and cellular longevity*, *2022*(1), 2710607.

Aras, Ş. Y., Makav, M., Sarı, E. K., Gezer, A., & Yıldız, S. E. (2025). The Effect of Quercetin Application on Desmin and Vimentin Levels in Ovariectomized Rats with Cyclophosphamide-Induced Cardiotoxicity. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, *31*(3).

Avci, H., Epikmen, E. T., İpek, E., Tunca, R., Birincioglu, S. S., Akşit, H., ... & Boyacioglu, M. (2017). Protective effects of silymarin and curcumin on cyclophosphamide-induced cardiotoxicity. *Experimental and Toxicologic Pathology*, *69*(5), 317-327.

Bahmani, M., Shirzad, H., Rafieian, S., & Rafieian-Kopaei, M. (2015). Silybum marianum: beyond hepatoprotection. *Journal of evidence-based complementary & alternative medicine*, *20*(4), 292-301.

Baumann, F., & Preiss, R. (2001). Cyclophosphamide and related anticancer drugs. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, *764*(1-2), 173-192.

Bhosle, J., & Hall, G. (2006). Principles of cancer treatment by chemotherapy. *Surgery (Oxford)*, *24*(2), 66-69.

Cetik, S., Ayhanci, A., & Sahinturk, V. (2015). Protective effect of carvacrol against oxidative stress and heart injury in cyclophosphamide-induced cardiotoxicity in rat. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *58*(4), 569-576.

Chakraborty, M., Bhattacharjee, A., & Kamath, J. V. (2017). Cardioprotective effect of curcumin and piperine combination against cyclophosphamide-induced cardiotoxicity. *Indian journal of pharmacology*, *49*(1), 65-70.

Colvin, O. M. (1999). An overview of cyclophosphamide development and clinical applications. *Current pharmaceutical design*, *5*, 555-560.

El-Sayed, E. S. M., Mansour, A. M., & Abdul-Hameed, M. S. (2016). Thymol and carvacrol prevent doxorubicin-induced cardiotoxicity by abrogation of oxidative stress, inflammation, and apoptosis in rats. *Journal of biochemical and molecular toxicology*, *30*(1), 37-44.

Fraschini, F., Demartini, G., & Esposti, D. (2002). Pharmacology of silymarin. *Clinical drug investigation*, *22*(1), 51-65.

Gencer, S., Gür, C., İleritürk, M., Küçükler, S., Akaras, N., Şimşek, H., & Kandemir, F. M. (2024). The ameliorative effect of carvacrol on sodium arsenite-induced hepatotoxicity in rats: Possible role of

Nrf2/HO-1, RAGE/NLRP3, Bax/Bcl-2/Caspase-3, and Beclin-1 pathways. *Journal of biochemical and molecular toxicology*, *38*(10), e23863.

Goldberg, M. A., Antin, J. H., Guinan, E. C., & Rappeport, J. M. (1986). Cyclophosphamide cardiotoxicity: an analysis of dosing as a risk factor.

Guzel, S., Sahinogullari, Z. U., Canacankatan, N., Antmen, S. E., Kibar, D., & Coskun Yilmaz, B. (2020). Potential renoprotective effects of silymarin against vancomycin-induced nephrotoxicity in rats. *Drug and chemical toxicology*, *43*(6), 630-636.

Huyut, Z., Yildizhan, K., & Altındağ, F. (2024). The effects of berberine and curcumin on cardiac, lipid profile and fibrosis markers in cyclophosphamide-induced cardiac damage: The role of the TRPM2 channel. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, *38*(8), e23783.

Jafarinezhad, Z., Rafati, A., Ketabchi, F., Noorafshan, A., & Karbalay-Doust, S. (2019). Cardioprotective effects of curcumin and carvacrol in doxorubicin-treated rats: Stereological study. *Food science & nutrition*, *7*(11), 3581-3588.

Kandemir, Ö., Küçükler, S., Özdemir, S., Dalkılıç, E., Sağ, S., Caglayan, C., & Kandemir, F. M. (2025). Protective Effects of Quercetin Against Vincristine-Induced Nephrotoxicity via Modulation of Oxidative Stress, Inflammation, and Apoptosis in Rats. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, *39*(9), e70516.

Karim, S., & Shaik, R. A. (2024). Geraniol alleviates cyclophosphamide-induced cardiotoxicity in mice. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *14*(10), 427-435.

Liu, L., Barber, E., Kellow, N. J., & Williamson, G. (2025). Improving quercetin bioavailability: A systematic review and meta-analysis of human intervention studies. *Food chemistry*, *477*, 143630.

Mani, R., & Natesan, V. (2018). Chrysin: Sources, beneficial pharmacological activities, and molecular mechanism of action. *Phytochemistry*, *145*, 187-196.

Murphy, S. B., Bowman, W. P., Abromowitch, M., Mirro, J., Ochs, J., Rivera, G., ... & Berard, C. W. (1986). Results of treatment of advanced-stage Burkitt's lymphoma and B cell (SIg+) acute lymphoblastic leukemia with high-dose fractionated cyclophosphamide and coordinated high-dose methotrexate and cytarabine. *Journal of Clinical Oncology*, *4*(12), 1732-1739.

Naz, S., Imran, M., Rauf, A., Orhan, I. E., Shariati, M. A., Shahbaz, M., ... & Heydari, M. (2019). Chrysin: Pharmacological and therapeutic properties. *Life sciences*, *235*, 116797.

Pavan, B., Dalpiaz, A., Marani, L., Beggiato, S., Ferraro, L., Canistro, D., ... & Spisni, E. (2018). Geraniol pharmacokinetics, bioavailability and its multiple effects on the liver antioxidant and xenobiotic-metabolizing enzymes. *Frontiers in pharmacology*, *9*, 18.

Saandeep, K., Vikram, A., Tripathi, D. N., Ramarao, P., & Jena, G. (2009). Influence of Hyperglycaemia on Chemical-Induced Toxicity: Study with Cyclophosphamide in Rat. *Basic & clinical pharmacology & toxicology*, *105*(4), 236-242.

Saleh, D. O., Elbaset, M. A., Ahmed, K. A., & Sedik, A. A. (2025). Chrysin mitigates cyclophosphamide-triggered cardiotoxicity in rats: insights into cardioprotection via treg expression modulation and iNOS downregulation. *Toxicology Reports*, *14*, 102007.

Sayed-Ahmed, M. M., Aldelemy, M. L., Al-Shabanah, O. A., Hafez, M. M., Al-Hosaini, K. A., Al-Harbi, N. O., ... & Al-Harbi, M. M. (2014). Inhibition of gene expression of carnitine palmitoyltransferase I and heart fatty acid binding protein in cyclophosphamide and ifosfamide-induced acute cardiotoxic rat models. *Cardiovascular Toxicology*, *14*(3), 232-242.

Senthilkumar, S., Devaki, T., Manohar, B. M., & Babu, M. S. (2006). Effect of squalene on cyclophosphamide-induced toxicity. *Clinica Chimica Acta*, *364*(1-2), 335-342.

Shanholtz, C. (2001). Acute life-threatening toxicity of cancer treatment. *Critical care clinics*, *17*(3), 483-502.

Sharma, R. A., Gescher, A. J., & Steward, W. P. (2005). Curcumin: the story so far. *European journal of cancer*, *41*(13), 1955-1968.

Sladek, N. E. (1988). Metabolism of oxazaphosphorines. *Pharmacology & therapeutics*, *37*(3), 301-355.

Verma, A., Anwer, T., Iqbal, M., Gahlot, V., Khan, R., Sharma, M., & Akhtar, M. S. (2025). Investigating the cardioprotective potential of quercetin against tacrolimus-induced cardiotoxicity in Wistar rats: A mechanistic insights. *Open Medicine*, *20*(1), 20241130.

Ye, B., Ling, W., Wang, Y., Jaisi, A., & Olatunji, O. J. (2022). Protective effects of Chrysin against cyclophosphamide-induced Cardiotoxicity in rats: A biochemical and histopathological approach. *Chemistry & Biodiversity*, *19*(3), e202100886.

Zhang, D., Gan, R. Y., Ge, Y. Y., Yang, Q. Q., Ge, J., Li, H. B., & Corke, H. (2018). Research progress on the antibacterial mechanisms of carvacrol: a mini review. Bioactive Compounds in Health and Disease 1 (6): 71-81. *Epidemiology of carvacrol resistant Pseudomonas aeruginosa isolates from raw milk*.

DİKKAT EKSİKLİĞİ VE HİPERAKTİVİTE BOZUKLUĞU TANILI ÇOCUKLARDA KONUŞMA SESİ BOZUKLUKLARININ İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Agit ŞİMŞEK[1]
[1]İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü,
agit.simsek@inonu.edu.tr, 0000-0003-1572-1188

ÖZET

Giriş ve Amaç: Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu (DEHB), çocukluk çağında sık görülen nörogelişimsel bozukluklardan biridir. DEHB tanılı çocuklarda dil ve konuşma alanındaki güçlüklerin daha sık görüldüğü ve konuşma sesi bozukluklarının önemli eşlik eden sorunlardan biri olabileceği bildirilmektedir. Bu çalışmanın amacı, DEHB tanılı 6–10 yaş arasındaki çocuklarda konuşma sesi bozukluklarının türünü ve sıklığını incelemek ve konuşma sesi bozuklukları ile DEHB belirti şiddeti arasındaki ilişkiyi değerlendirmektir.

Yöntem: Çalışmaya, DSM-5 tanı kriterlerine göre DEHB tanısı almış 20 çocuk (12 erkek, 8 kız) ile yaş ve cinsiyet açısından eşleştirilmiş 20 tipik gelişim gösteren çocuk dahil edilmiştir. Katılımcıların artikülasyon becerileri Ankara Artikülasyon Testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Belirlenen artikülasyon hataları hata türlerine göre bozulma, yer değiştirme, çıkarma ve ekleme olarak sınıflandırılmış; ayrıca hedef ses gruplarına göre incelenmiştir. DEHB belirti şiddeti, ebeveyn ve öğretmen derecelendirme ölçekleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler, ki-kare testi ve korelasyon analizi kullanılmıştır.

Bulgular: DEHB tanılı çocukların %75'inde (n=15) en az bir artikülasyon hatası belirlenirken, kontrol grubunda bu oran %20 (n=4) olarak bulunmuştur ($p<0,001$). En sık görülen artikülasyon hata türü bozulma (%44,0) olup bunu yer değiştirme (%28,0) izlemiştir. En fazla etkilenen ses gruplarının alveolar sesler (/s, z, t, d/; %35,0) ve akıcı sesler (/r, l/; %22,5) olduğu belirlenmiştir. DEHB belirti şiddeti ile artikülasyon hata sayısı arasında pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r=0,62$; $p<0,01$). Dikkat eksikliği belirtilerinin daha belirgin olduğu çocuklarda, hiperaktivite/dürtüsellik belirtilerinin daha baskın olduğu çocuklara kıyasla daha fazla artikülasyon hatası gözlenmiştir.

Sonuç: DEHB tanılı çocuklarda konuşma sesi bozukluklarının tipik gelişim gösteren akranlarına kıyasla daha sık görüldüğü ve DEHB belirti şiddetindeki artışın artikülasyon hatalarının sayısıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Özellikle dikkat eksikliği belirtilerinin artikülasyon performansı üzerinde önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bu bulgular, DEHB tanısı alan çocukların değerlendirme sürecinde konuşma ve dil becerilerinin de dikkate alınmasının ve gerekli durumlarda konuşma ve dil terapisi desteğinin planlanmasının önemini göstermektedir. Konuşma sesi bozukluklarının erken dönemde belirlenmesi, çocukların akademik, sosyal ve iletişimsel gelişimlerinin desteklenmesine katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: DEHB, konuşma sesi bozukluğu, artikülasyon, çocukluk çağı konuşma bozuklukları, nörogelişimsel bozukluk

INVESTIGATION OF SPEECH SOUND DISORDERS IN CHILDREN DIAGNOSED WITH ATTENTION-DEFICIT/HYPERACTIVITY DISORDER

ABSTRACT

Introduction and Aim: Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) is one of the most common neurodevelopmental disorders in childhood. Children with ADHD have been reported to experience language and speech difficulties more frequently, and speech sound disorders may represent an important co-occurring condition. This study aimed to investigate the type and frequency of speech sound disorders in children aged 6–10 years diagnosed with ADHD and to examine the relationship between speech sound disorders and ADHD symptom severity.

Methods: The study included 20 children diagnosed with ADHD according to the DSM-5 diagnostic criteria (12 boys and 8 girls) and 20 age- and sex-matched typically developing children. Participants' articulation skills were assessed using the Ankara Articulation Test. Identified articulation errors were classified according to error type as distortions, substitutions, omissions, and additions, and were further examined according to target sound groups. ADHD symptom severity was assessed using parent- and teacher-rated scales. Data were analyzed using descriptive statistics, the chi-square test, and correlation analysis.

Results: At least one articulation error was identified in 75% (n=15) of children with ADHD, compared with 20% (n=4) of children in the control group ($p<0.001$). The most frequent type of articulation error was distortion (44.0%), followed by substitution (28.0%). The most frequently affected sound groups were alveolar sounds (/s, z, t, d/; 35.0%) and liquids (/r, l/; 22.5%). A significant positive correlation was found between ADHD symptom severity and the number of articulation errors ($r=0.62$; $p<0.01$). Children with predominantly inattentive symptoms demonstrated more articulation errors than those with predominantly hyperactive/impulsive symptoms.

Conclusion: Speech sound disorders appear to be more common in children with ADHD than in their typically developing peers, and greater ADHD symptom severity is associated with a higher number of articulation errors. In particular, inattentive symptoms may play an important role in articulation performance. These findings highlight the importance of considering speech and language abilities during the assessment of children diagnosed with ADHD and planning speech and language therapy when indicated. Early identification of speech sound disorders may contribute to supporting children's academic, social, and communicative development.

Keywords: ADHD, speech sound disorder, articulation, childhood speech disorders, neurodevelopmental disorder

ZERO WASTE FROM PREGNANCY TO BIRTH: A NEW APPROACH FOR SUSTAINABLE MATERNAL AND INFANT HEALTH

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

Pregnancy and childbirth services are among the healthcare services that involve the use of substantial amounts of medical supplies, energy, water, and single-use products to ensure the safety of mothers and newborns. Healthcare waste, packaging waste, food and textile waste, as well as energy and water consumption generated throughout this process contribute to the environmental footprint of healthcare systems. This review aims to highlight the importance of a zero-waste and sustainable healthcare approach from pregnancy to childbirth in terms of maternal and infant health and to present applicable environmental sustainability recommendations. Based on the literature and international guidelines, key areas of intervention include reducing unnecessary consumption, prioritizing reusable products when safe and appropriate, segregating waste at the source, sustainable procurement, water and energy efficiency, digital health applications, and strengthening healthcare professionals' capacity regarding environmental sustainability. The zero-waste approach should be implemented without compromising infection control and patient safety. Particularly in delivery rooms, appropriate segregation of non-medical waste, reduction of unnecessary single-use products, and integration of environmental criteria into procurement processes offer important opportunities for sustainability. In conclusion, the zero-waste approach from pregnancy to childbirth should be considered not merely as a strategy for reducing waste, but as the development of a sustainable care model that uses resources efficiently, is safe and low-carbon, and places maternal and newborn health at its center.

Keywords: zero waste, sustainable healthcare, pregnancy, childbirth, maternal health, newborn health, healthcare waste, climate change

GEBELİKTEN DOĞUMA SIFIR ATIK: SÜRDÜRÜLEBİLİR ANNE VE BEBEK SAĞLIĞI İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

Özet

Gebelik ve doğum hizmetleri, anne ve yenidoğan güvenliğinin sağlanması amacıyla önemli miktarda tıbbi malzeme, enerji, su ve tek kullanımlık ürün kullanımını gerektiren sağlık hizmetleri arasında yer almaktadır. Bu süreç boyunca ortaya çıkan sağlık hizmeti atıkları, ambalaj atıkları, gıda ve tekstil atıkları ile enerji ve su tüketimi, sağlık sistemlerinin çevresel ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu derlemenin amacı, gebelikten doğuma kadar geçen süreçte sıfır atık ve sürdürülebilir sağlık hizmetleri yaklaşımının anne ve bebek sağlığı açısından önemini vurgulamak ve uygulanabilir çevresel sürdürülebilirlik önerileri sunmaktır. Literatür ve uluslararası rehberler doğrultusunda değerlendirildiğinde; gereksiz tüketimin azaltılması, güvenli ve uygun olduğu durumlarda yeniden kullanılabilir ürünlerin önceliklendirilmesi, atıkların kaynağında ayrıştırılması, sürdürülebilir satın alma politikalarının benimsenmesi, su ve enerji verimliliğinin artırılması, dijital sağlık uygulamalarından yararlanılması ve sağlık profesyonellerinin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bilgi ve yetkinliklerinin güçlendirilmesi temel müdahale alanlarını oluşturmaktadır. Sıfır atık yaklaşımının uygulanması sırasında enfeksiyon kontrolü ve hasta güvenliğinden ödün verilmemelidir. Özellikle doğumhanelerde tıbbi olmayan atıkların uygun şekilde kaynağında ayrıştırılması, gereksiz tek kullanımlık ürün kullanımının azaltılması ve satın alma süreçlerine çevresel sürdürülebilirlik ölçütlerinin entegre edilmesi, sağlık hizmetlerinin çevresel etkilerinin azaltılması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Sonuç olarak, gebelikten doğuma kadar sıfır atık yaklaşımı yalnızca atık miktarının azaltılmasına yönelik bir strateji olarak değil; kaynakların verimli kullanıldığı, güvenli, düşük karbonlu ve anne ile yenidoğan sağlığını merkeze alan sürdürülebilir bir bakım modelinin geliştirilmesi olarak ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Sıfır atık, sürdürülebilir sağlık hizmetleri, gebelik, doğum, anne sağlığı, yenidoğan sağlığı, sağlık hizmeti atıkları, iklim değişikliği

INTRODUCTION

The increasingly evident effects of climate change on environmental and human health have made reducing the environmental impact of healthcare services an important public health priority. Healthcare systems aim to protect and improve population health; however, they also consume substantial amounts of energy, water, medical supplies, and other resources, resulting in considerable waste generation and greenhouse gas emissions. Therefore, healthcare services need to be reconsidered within the framework of environmental sustainability.

Pregnancy and childbirth services are among the areas of healthcare that require considerable amounts of medical supplies, energy, water, and single-use products to ensure the safety of mothers and newborns. The medical and supportive materials used throughout antenatal care, childbirth, and the postpartum period, together with packaging, food, and textile waste, contribute to the environmental footprint of maternal and newborn healthcare. Delivery rooms and neonatal care units, in particular, require high levels of sterilization, hygiene, and material use because of infection prevention and patient safety requirements. Nevertheless, reducing unnecessary consumption without compromising safe care, separating appropriate waste at the point of generation, using reusable products where their safety is established, and improving energy and water efficiency are important components of sustainable healthcare.

The aim of this review is to highlight the importance of zero-waste and sustainable healthcare approaches from pregnancy through childbirth in terms of maternal and infant health and to evaluate practical strategies for improving environmental sustainability.

RESULTS

Environmental Footprint of Pregnancy and Childbirth Services

Antenatal care involves the use of laboratory tests, imaging procedures, medications, personal protective equipment, and various consumable supplies. During childbirth, sterile drapes, gloves, gowns, syringes, plastic materials, absorbent products, and different types of packaging can generate substantial amounts of waste.

Classifying all waste generated in delivery rooms as medical waste may result in materials without an infectious risk being directed into specialized and relatively costly waste-management processes. In contrast, separating non-infectious packaging materials, paper, cardboard, and appropriate plastic materials at the point of generation can help reduce both the volume of waste and the environmental and economic burden associated with waste management.

The environmental impact of healthcare facilities is not limited to waste generation. Electricity consumption, heating and cooling systems, hot-water use, sterilization processes, laundry services, and the production and transportation of medical products also contribute to the carbon footprint of healthcare delivery.

Preventing Unnecessary Consumption

The first and most important strategy in a zero-waste approach is to prevent waste before it is generated. Therefore, identifying unnecessary material use in pregnancy and childbirth services is essential.

When there is no clinical indication, unnecessary laboratory tests, excessive printed materials, and routinely used consumables that do not provide a clear clinical benefit can be reduced. Effective inventory management can also help prevent products from expiring before use and thereby minimize resource waste.

The contents of delivery-room procedure sets should also be reviewed regularly. Standardized delivery sets may contain materials that are not routinely required during clinical practice, increasing the amount of unused material that is discarded. Revising set contents according to actual clinical needs may reduce both unnecessary consumption and costs.

Reducing Single-Use Products and Promoting Reusable Alternatives

Single-use medical products are indispensable in many clinical situations because they contribute to infection prevention and patient safety. Therefore, uncontrolled reuse of such products in the name of sustainability is not considered a safe approach.

Instead, healthcare institutions should identify areas in which reusable products can be safely and appropriately used on the basis of evidence. Where adequate sterilization and disinfection standards can be maintained, reusable textiles, selected surgical materials, and certain care-related equipment may be considered. Such practices may reduce unnecessary consumption of single-use products while maintaining patient safety.

Waste Separation at the Point of Generation

One of the fundamental requirements for implementing a zero-waste approach in maternity services is establishing an appropriate balance between waste-reduction goals and infection prevention and patient safety.

In delivery rooms and neonatal care units, separating waste into the appropriate containers at the point where it is generated requires training not only for healthcare professionals but also for cleaning personnel. The use of color-coded containers, visual symbols, and simple waste-separation guides can facilitate correct waste segregation and support the sustainability of these practices.

Reducing Plastic and Packaging Waste

The use of plastics in healthcare can reach substantial levels, particularly because of single-use products and packaging. In pregnancy and childbirth services, sterile product packaging, intravenous fluid sets, gloves, syringes, and various plastic consumables can generate considerable amounts of plastic waste.

For this reason, procurement decisions should consider not only product price and clinical characteristics but also the amount of packaging, recyclability, product life cycle, and environmental impacts associated with

manufacturing processes. Developing sustainable procurement policies may provide an effective institutional strategy for reducing the environmental footprint of healthcare facilities.

Energy and Water Efficiency

Delivery rooms and neonatal care areas are energy-intensive units because they operate continuously and require specific temperature, humidity, and hygiene conditions.

The use of energy-efficient lighting systems, reduction of unnecessary lighting, selection of energy-efficient equipment, and improvement of building automation systems may contribute to lowering energy consumption.

Reducing water consumption is another important component of sustainable maternity services. However, water use should not be reduced at the expense of essential infection-control practices such as hand hygiene. Water conservation can instead be achieved through appropriate technical infrastructure, prevention of leaks, and the use of water-efficient equipment.

Sustainable Nutrition and Food Waste Management

Food services provided to patients, accompanying individuals, and healthcare workers during pregnancy and childbirth care can also be considered from an environmental sustainability perspective. Preparing more food than necessary, uneaten portions, and the use of single-use serving materials may increase food and packaging waste.

Choosing seasonal and locally sourced foods, adjusting portion sizes according to actual requirements, monitoring food waste, and appropriately processing organic waste where feasible may contribute to more sustainable food services.

Digital Health Applications

The appropriate use of digital health technologies in selected components of antenatal and postpartum care may help reduce unnecessary travel and paper consumption. Electronic health records, digital educational materials, remote counseling, and telehealth services for suitable patients can support access to healthcare while potentially reducing the environmental costs associated with certain healthcare processes.

However, digital health applications should not be considered substitutes for face-to-face clinical assessment. Rather, they should complement in-person healthcare services when clinically appropriate.

CONCLUSION

A zero-waste approach from pregnancy through childbirth should not be regarded merely as a technical strategy for reducing healthcare waste. Instead, it should be considered a comprehensive healthcare model that integrates maternal and newborn health with environmental sustainability.

Within this framework, preventing unnecessary consumption, separating appropriate waste at the point of generation, and using reusable products when their safety has been established are key priorities. In addition, healthcare institutions should develop sustainable procurement policies, reduce plastic and packaging use,

improve energy and water efficiency, promote sustainable food practices, and make appropriate use of digital health technologies.

Successful integration of zero-waste principles into pregnancy and childbirth services requires healthcare professionals to be empowered with knowledge and skills related to environmental sustainability. Institutional sustainability policies should also be integrated into routine clinical practice. In this way, protecting maternal and newborn health and protecting the environment can be addressed as interconnected components of a sustainable healthcare system.

REFERENCES

1. American College of Obstetricians and Gynecologists. *Climate change and women's health: relevant guidance and recommendations*. Washington, DC: ACOG; 2026.
2. Chersich MF, Pham MD, Areal A, et al. Associations between high temperatures in pregnancy and risk of preterm birth, low birth weight, and stillbirths: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2020;371.
3. Çatar D, Dural N, Serin R, Olcay Eminsoy İ. Sağlık kurumlarında gıda atıkları ve sürdürülebilirliğin boyutları [Food waste and dimensions of sustainability in healthcare institutions]. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*. 2023;8(2):585–592.
4. Dörtkardeş E, Görener A. Sağlık kuruluşlarında sürdürülebilir atık yönetimine ilişkin değerlendirme kriterlerinin analizi [Analysis of evaluation criteria for sustainable waste management in healthcare institutions]. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 2025;24(53).
5. Eckelman MJ, Sherman J. Environmental impacts of the U.S. health care system and effects on public health. *PLoS One*. 2016;11(6).
6. Health Care Without Harm. *Health Care's Climate Footprint: How the Health Sector Contributes to the Global Climate Crisis and Opportunities for Action*. 2019.
7. Karliner J, Slotterback S, Boyd R, Ashby B, Steele K. *Health Care's Climate Footprint: How the Health Sector Contributes to the Global Climate Crisis and Opportunities for Action*. Health Care Without Harm; 2019.
8. MacNeill AJ, Hopf H, Khanna SK, et al. Transforming the medical device industry: road map to a circular economy. *Health Affairs*. 2020;39(12):2088–2097.
9. Sherman JD, Thiel C, MacNeill A, et al. The Green Print: advancement of environmental sustainability in healthcare. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020;161:104882.
10. Tut Bilim ZŞ. Sağlık sektöründe sürdürülebilirlik: Yeşil hastaneler ve sürdürülebilir menü yaklaşımları [Sustainability in the healthcare sector: green hospitals and sustainable menu approaches]. *Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*. 2026;8(1):216–236.

11. United Nations. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations; 2015.
12. United Nations Environment Programme. *Global Waste Management Outlook 2024*. Nairobi: UNEP; 2024.
13. World Health Organization. *Climate change and health*. Geneva: WHO; 2023.
14. World Health Organization. *Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment*. Geneva: WHO; 2022.
15. World Health Organization. *Global analysis of health care waste in the context of COVID-19: status, impacts and recommendations*. Geneva: WHO; 2022.
16. World Health Organization. *Operational framework for building climate resilient and low carbon health systems*. Geneva: WHO; 2023.
17. World Health Organization. *Safe management of wastes from health-care activities*. 2nd ed. Geneva: WHO; 2014.
18. World Health Organization. *WHO guidance for climate resilient and environmentally sustainable health care facilities*. Geneva: WHO; 2020.

AIR POLLUTION DURING PREGNANCY AND MATERNAL-FETAL HEALTH: AN ASSESSMENT FROM THE PERSPECTIVE OF CLIMATE CHANGE

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

Pregnancy is a unique period of life during which susceptibility to environmental factors may increase, and both the mother and fetus may be affected by the same environmental conditions. Physiological changes involving the respiratory, circulatory, and metabolic systems during pregnancy may influence the maternal response to air pollutants. Exposure to atmospheric pollutants, particularly fine and coarse particulate matter nitrogen dioxide, and ozone, has been reported to have adverse effects on pregnancy and birth outcomes. Fossil fuel use, one of the major sources of air pollution, not only increases the atmospheric pollutant burden but also contributes to climate change through greenhouse gas emissions. Therefore, the effects of air pollution and climate change on maternal and fetal health should be considered together. Exposure to air pollutants during pregnancy has been associated with various maternal and fetal health outcomes. Maternal effects include hypertensive disorders of pregnancy, gestational diabetes, and respiratory problems, while adverse fetal outcomes include impaired fetal growth, low birth weight, and preterm birth. Oxidative stress and inflammatory responses induced by fine particulate matter may affect placental function and, consequently, alter the intrauterine environment in which the fetus develops. In addition, the increasing frequency and duration of heat waves associated with climate change may influence atmospheric chemical processes, potentially increasing ozone formation and further complicating the health risks associated with air pollution. Therefore, air pollution and environmental stressors such as extreme heat should be considered together during pregnancy. This review aimed to evaluate the potential effects of exposure to air pollution during pregnancy on maternal and fetal health based on the current literature and from the perspective of climate change.

Keywords: Pregnancy, air pollution, climate change, maternal health, fetal health, particulate matter, environmental exposure

GEBELİKTE HAVA KİRLİLİĞİ VE ANNE-FETÜS SAĞLIĞI: İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN BİR DEĞERLENDİRME

Özet

Gebelik, çevresel etkenlere duyarlılığın artabildiği ve anne ile fetüsün aynı çevresel koşullara maruz kaldığı, yaşamın fizyolojik açıdan özel dönemlerinden biridir. Gebelik sürecinde solunum, dolaşım ve metabolik sistemlerde meydana gelen fizyolojik değişiklikler, maternal organizmanın hava kirleticilerine verdiği yanıtı etkileyebilmektedir. Özellikle ince ve kaba partikül madde (PM), azot dioksit (NO_2) ve ozon (O_3) gibi atmosferik kirleticilere maruziyetin gebelik süreci ve doğum sonuçları üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir. Hava kirliliğinin temel kaynaklarından biri olan fosil yakıtların kullanımı, atmosfere salınan kirletici maddelerin miktarını artırmasının yanı sıra sera gazı emisyonları yoluyla iklim değişikliğine de katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, hava kirliliği ile iklim değişikliğinin anne ve fetüs sağlığı üzerindeki etkilerinin birbirinden bağımsız değil, birbiriyle ilişkili çevresel riskler olarak değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Gebelik döneminde hava kirleticilerine maruziyetin hem maternal hem de fetal sağlık açısından çeşitli olumsuz sonuçlarla ilişkili olduğu bildirilmektedir. Maternal sağlık üzerindeki etkiler arasında gebeliğe bağlı hipertansif hastalıklar, gestasyonel diyabet ve solunum sistemi sorunları yer alırken; fetal sonuçlar arasında fetal büyümenin kısıtlanması, düşük doğum ağırlığı ve preterm doğum öne çıkmaktadır. Özellikle ince partikül maddelere maruziyet sonucunda ortaya çıkan oksidatif stres ve inflamatuvar süreçlerin plasental fonksiyonları etkileyebileceği ve bunun sonucunda fetüsün geliştiği intrauterin ortamın olumsuz yönde değişebileceği düşünülmektedir. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak sıcak hava dalgalarının sıklığı ve süresindeki artış da gebelik dönemindeki çevresel riskleri daha karmaşık hale getirmektedir. Yüksek sıcaklıkların atmosferik kimyasal süreçleri etkileyerek özellikle ozon oluşumunu artırabilmesi, hava kirliliğine bağlı sağlık risklerinin şiddetlenmesine katkıda bulunabilir. Bu durum, gebelik döneminde hava kirliliği ile aşırı sıcaklık gibi iklim kaynaklı çevresel stresörlerin birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda, gebelik döneminde hava kirliliğine maruziyet yalnızca bireysel bir çevresel risk olarak değil, iklim değişikliği ile etkileşim içinde olan önemli bir halk sağlığı sorunu olarak ele alınmalıdır. Maternal ve fetal sağlığın korunması açısından hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik çevresel politikaların geliştirilmesi, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve gebelerin hava kirliliği ile aşırı sıcaklık gibi çevresel riskler konusunda bilgilendirilmesi önem taşımaktadır. Bu derlemenin amacı, gebelik döneminde hava kirliliğine maruziyetin anne ve fetüs sağlığı üzerindeki olası etkilerini güncel literatür doğrultusunda incelemek ve bu etkileri iklim değişikliği perspektifinden değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Gebelik, hava kirliliği, iklim değişikliği, anne sağlığı, fetal sağlık, partikül madde, çevresel maruziyet

INTRODUCTION

Air pollution is recognized as an important environmental threat to human health. Pregnancy represents a particularly sensitive period because substantial physiological adaptations occur in the mother while fetal growth and development continue. Consequently, exposure to ambient air pollutants during pregnancy has been associated with a range of adverse maternal and fetal outcomes. Air pollution and climate change are closely interconnected through complex and bidirectional pathways. The combustion of fossil fuels contributes simultaneously to the release of air pollutants and the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere. Energy production and transportation systems that depend heavily on fossil fuels therefore have implications for both deteriorating air quality and accelerating climate change.

Changes in temperature patterns associated with climate change are also relevant to pregnancy. Increasing frequency, duration, and intensity of heatwaves may place additional physiological stress on pregnant women. Excessive heat can increase cardiovascular demands, contribute to dehydration and impaired thermoregulation, and has been associated with several unfavorable pregnancy outcomes. The World Health Organization identifies pregnant women among the groups that may be particularly vulnerable to the health consequences of climate-related heat exposure.

The environmental risks associated with pregnancy are not limited to direct exposure to conventional air pollutants. Climate-related phenomena, including rising temperatures, prolonged heatwaves, and wildfires, may alter the concentration and distribution of air pollutants and consequently increase population exposure. The American College of Obstetricians and Gynecologists has highlighted potential associations between climate-related exposures, including air pollution and extreme heat, and adverse outcomes such as pregnancy loss, preterm birth, preeclampsia, hypertensive disorders of pregnancy, and stillbirth.

The aim of this review is to examine the potential maternal and fetal consequences of air pollution exposure during pregnancy in light of recent evidence and to consider the interaction between air pollution and climate change from a maternal-fetal health perspective.

RESULTS

Air pollution and hypertensive disorders of pregnancy

A systematic review and meta-analysis published by Gao et al. in 2025 investigated the relationship between prenatal exposure to fine particulate matter ($PM_{2.5}$) and hypertensive disorders of pregnancy. The findings indicated an association between prenatal $PM_{2.5}$ exposure and hypertensive pregnancy conditions, with particular attention to its relationship with preeclampsia. The authors suggested that $PM_{2.5}$ exposure may represent an environmental risk factor relevant to hypertensive disorders during pregnancy.

These findings emphasize the importance of considering particulate matter exposure as part of the broader environmental risk profile of pregnant women, particularly in relation to hypertensive pregnancy complications.

Air pollution and gestational diabetes mellitus

Liang et al. conducted an updated systematic review and meta-analysis in 2023 to investigate associations between ambient air pollution exposure before and during pregnancy and gestational diabetes mellitus (GDM). The analysis included 31 cohort studies and reported associations between exposure to several pollutants, including $PM_{2.5}$, PM_{10}, sulfur dioxide (SO_2), and nitrogen dioxide (NO_2), and an increased risk of GDM. The preconception period and the first trimester were identified as potentially more sensitive exposure windows.

These findings suggest that environmental exposure assessment should not be restricted to the later stages of pregnancy. Air quality may also be relevant during the preconception period and early pregnancy, when important metabolic and developmental processes are taking place.

Air pollution, preterm birth, and low birth weight

A systematic review and meta-analysis by Desye et al., published in 2024, examined the relationship between exposure to ambient air pollution during pregnancy and adverse birth outcomes. Outcomes including preterm birth, low birth weight, and stillbirth were evaluated, and the evidence indicated associations between exposure to ambient air pollution and unfavorable birth outcomes.

From a maternal-fetal health perspective, these findings indicate that air pollution may have consequences extending beyond maternal morbidity. The timing of delivery and fetal growth, reflected partly by birth weight, may also be influenced by environmental exposure during pregnancy.

Potential maternal mechanisms linking air pollution to adverse pregnancy outcomes

Syama et al. published a systematic review in 2025 focusing on maternal mechanisms that may contribute to adverse pregnancy outcomes associated with air pollution exposure. The review examined studies published from 1996 through November 2024 and evaluated evidence concerning biological pathways through which air pollutants may affect pregnancy. Inflammatory responses, oxidative stress, and other biological processes were among the mechanisms considered.

Several interconnected pathways may contribute to the maternal-fetal effects of air pollution. Oxidative stress, systemic and placental inflammation, endothelial dysfunction, alterations in placental vascular function, and epigenetic changes have all been proposed as possible mechanisms. These processes may help explain how inhaled environmental pollutants can influence maternal physiology and placental function and, consequently, fetal development.

Combined effects of climate change, heat, and air pollution

Air pollution and climate change should not be considered as entirely separate environmental challenges. Raghavan et al. conducted a systematic review and meta-analysis in 2025 examining the relationship between exposure to heat and air pollution, particularly $PM_{2.5}$ and black carbon, during pregnancy and preterm birth in low- and middle-income countries. The review considered studies published between 2010 and 2024, with 32 studies included in the systematic assessment.

The findings highlight the importance of considering heat exposure and air pollution simultaneously when evaluating environmental risks during pregnancy, particularly in relation to preterm birth. Climate-related increases in temperature and the occurrence of heatwaves may add to the overall environmental burden experienced by pregnant women. When combined with air pollution, these exposures may create a more complex environmental risk profile.

Wildfires are another important example of the interaction between climate-related events and air quality. Wildfire smoke can substantially increase concentrations of particulate matter and other pollutants, potentially increasing exposure among pregnant women.

Prenatal $PM_{2.5}$ exposure and low birth weight

Parasin et al. conducted a systematic review and meta-analysis in 2024 examining the association between prenatal $PM_{2.5}$ exposure and low birth weight. The analysis considered exposure during different stages of pregnancy and found significant associations between $PM_{2.5}$ exposure during the first and second trimesters and low birth weight.

These findings indicate that the timing of environmental exposure may be relevant when considering fetal growth. The susceptibility of pregnancy to environmental pollutants may vary across gestational periods, emphasizing the importance of considering exposure windows rather than evaluating pregnancy as a single homogeneous period.

CONCLUSION

Air pollution during pregnancy represents an increasingly important environmental concern for maternal and fetal health. Current evidence indicates that exposure to pollutants such as $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, and O_3 may be associated with hypertensive disorders of pregnancy, gestational diabetes mellitus, preterm birth, low birth weight, and other adverse pregnancy outcomes.

The biological consequences of air pollution may involve multiple interacting pathways, including oxidative stress, inflammation, endothelial dysfunction, alterations in placental vascular function, and epigenetic processes. At the same time, the interaction between climate change and air pollution adds further complexity to environmental exposures during pregnancy. Rising temperatures, heatwaves, and wildfire events may increase exposure to air pollutants and thereby contribute to a greater environmental burden during gestation.

For this reason, maternal and fetal health should be considered within the interconnected framework of **air pollution, climate change, and pregnancy**. Prenatal care should extend beyond conventional biomedical risk assessment and, where appropriate, include consideration of environmental exposures and strategies for reducing avoidable exposure.

Education of midwives, nurses, physicians, and other health professionals should increasingly incorporate climate change and environmental health. Further longitudinal research is needed to investigate combined exposure to multiple pollutants and to clarify whether particular stages of pregnancy represent periods of increased vulnerability.

From a public health perspective, reducing air pollution should be addressed not only as an environmental objective but also as a strategy for protecting maternal and child health. Policies aimed at reducing fossil fuel dependence, expanding clean energy, promoting sustainable transportation, and increasing access to green spaces may have potential implications for maternal and fetal health and should therefore be considered within broader climate and health policies.

REFERENCES

1. American College of Obstetricians and Gynecologists' Committee on Advancing Equity in Obstetric and Gynecologic Health Care. The effects of climate change on obstetric and gynecologic health. *Obstet Gynecol*. 2026;148(1):e74-e83. doi:10.1097/AOG.0000000000006290.
2. Desye B, Berihun G, Geto AKA, Berhanu L, Daba C. Exposure to ambient air pollutions and its association with adverse birth outcomes: a systematic review and meta-analysis of epidemiological studies. *Front Public Health*. 2024;12:1488028. doi:10.3389/fpubh.2024.1488028.
3. Gao S, Zhang H, Kang X, Cui X. Prenatal PM2.5 exposure and hypertensive disorders of pregnancy: a systematic review and meta-analysis. *Front Public Health*. 2025;13:1650913. doi:10.3389/fpubh.2025.1650913.
4. Liang W, Zhu H, Xu J, Zhao Z, Zhou L, Zhu Q, Cai J, Ji L. Ambient air pollution and gestational diabetes mellitus: an updated systematic review and meta-analysis. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2023;255:114802. doi:10.1016/j.ecoenv.2023.114802.
5. Parasin N, Amnuaylojaroen T, Saokaew S. Prenatal PM2.5 exposure and its association with low birth weight: a systematic review and meta-analysis. *Toxics*. 2024;12(7):446. doi:10.3390/toxics12070446.
6. Raghavan S, Isaac TS, Arya D, Cipriano Flores G, Shanmugam R, Na A, et al.; Heat in Pregnancy India (HiP-India) Group. Association between heat and air pollution (PM2.5 and black carbon) exposure in pregnancy and preterm birth in low- and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Paediatr Open*. 2025;9(1):e003428. doi:10.1136/bmjpo-2025-003428.
7. Syama KP, Blais E, Kumarathasan P. Maternal mechanisms in air pollution exposure-related adverse pregnancy outcomes: a systematic review. *Sci Total Environ*. 2025;970:178999. doi:10.1016/j.scitotenv.2025.178999.
8. World Health Organization. *Climate change and health*. Geneva: World Health Organization; 2023.
9. World Health Organization. *Protecting maternal, newborn and child health from the impacts of climate change: a call for action*. Geneva: World Health Organization; 2023.

AZƏRBAYCAN UŞAQ ƏDƏBİYYATINDA BƏDİİ TƏRCÜMƏ ƏDƏBİYYATININ YARANMASI DÖVRÜ XIX ƏSR

Doçent Doktor, AYGUN AHMADOVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi, Edebiyat öğretim teknolojisi bölümü

(ahmadovaa708@gmail.com) **ORCID: 0000-0002-2464-2513**

Özet

19. yüzyılın ikinci yarısı ve 20. yüzyılın başı, Azerbaycan halkının tarihsel gelişiminde geniş bir dönem olarak nitelendirilir. Bu dönemde gerçekleşen yeniliklerden biri de ulusal dilde çocuk edebiyatının oluşmasıdır. Bahsettiğimiz bu dönem, Azerbaycan çocuk edebiyatının oluşum ve ilk gelişim aşaması olarak nitelendirilebilir. 19. yüzyılın sonlarına doğru, edebi ve kültürel çevrede Rus ve Avrupa edebiyatına olan artan ilgi, Azerbaycanlı yazarları bu kaynaklardan yeni eserler çevirmeye teşvik etti. 1885 yılında (24. sayı), "Kashkul" gazetesinin yayıncısı S. Unsizadeh, V. Hugo'nun ölümünü anmak için gazetede bir makale yayınladı. Aynı zamanda, büyük Fransız yazarın bir şiirini Azerbaycan diline çevirerek makaleye ekledi. 1888 yılında S. Valibayov, Rus yazar N.P. Grot tarafından Almancadan Rusçaya çevrilen “Бог в природе” (Doğada Tanrı) adlı eseri “basit yerel dile” çevirerek “Qudrati-khuda” başlığı altında ayrı bir kitap olarak yayımladı (Valibayov S. 1888, s. 44). Yirmi bilimsel-didaktik vaazdan oluşan bu kitapçık, “Azerbaycan dilinde ilkokul öğrencileri ve iyi ahlak üzerine bir risale-okuma” notuyla yayımlandı.

19. yüzyılın son on yıllarında ve Birinci Rus Devrimi'nden önce Hasanali Han Garadaghi, Celal Unsizadeh, Raşid Bey Afendizadeh, Mirza Balagardash Hajiyev, Eynali Bey Sultanov, Mirza Alasgar Novras ve diğerleri, büyük Rus yazarlar L.N. Grot'un eserlerinden birçok çeviri yapmışlardır. Tolstoy ve I.A. Krilov. Azerbaycanlı çevirmenler genellikle I.A. Krilov'un fabllarına ve L. Tolstoy'un "Alfabe" ("Azbuka") ve dört bölümden oluşan "Okuma Kitabı" ("Kniga dlya chteniya") adlı eserlerine yönelmişlerdir. O yıllarda F. Koçarli, A.S. Puşkin'in "Balıkçı ve Altın Balık Masalı"nı "Meşale Taşıyıcı ve Balık" başlığıyla Azerbaycan diline çevirmiştir (Puşkin A.S. 1892, s. 12). Firidun Bey de M.Y. Lermontov'un "Üç Palmiye Ağacı" ve A. Koltsov'un "İnsan, Neden Uyuyorsun?" adlı eserlerini sade bir şiirle Azerbaycan diline çevirmiştir (Lermontov M.Y. 1895, s. 13). Her üç yazarın eserlerini de kitapçık şeklinde yayımlamıştır. F. Koçarli'nin Rusçadan çevrilmiş "Talımati-Sokrat" adlı eseri de gençler ve ergenler için harika bir okuma materyaliydi (Talımati-Sokrat (çevirmen: Koçarli F.). 1890, s.91). Genel olarak, 19. ve 20. yüzyıllarda Rus ve Avrupalı yazar ve şairler arasından Azerbaycan diline en sık çevrilen yazarlar I.A. Krilov ve L. Tolstoy'du.

Anahtar kelimeler: birçok çeviri, bilimsel-didaktik, okuma materyali, yeni eserler

THE PERIOD OF THE EMERGENCE OF LITERATURE TRANSLATED IN AZERBAIJAN CHILDREN'S LITERATURE: 19TH CENTURY

Abstract

The second half of the 19th century and the beginning of the 20th century are characterized as a broad period in the historical development of the Azerbaijani people. One of the innovations that took place was the formation of children's literature in the national language. This period we are talking about can be characterized as the formation and initial development stage of Azerbaijani children's literature. Towards the end of the 19th century, the growing interest in Russian and European literature in the literary and cultural environment inspired Azerbaijani writers to translate new works from that source. In 1885 (№24), the publisher of "Kashkul" S. Unsizadeh published an article in the newspaper on the occasion of the death of V. Hugo. At the same time, he translated a poem by the great French writer into Azerbaijani and added it to the article. In 1888, S.Valibayov translated the work “Бог в природе” (God in Nature), translated from German into Russian by the Russian writer N.P.Grot, into the “simple native language” and published it as a separate book under the title “Qudrati-khuda” (Valibayov S. 1888, p. 44). This booklet, consisting of twenty scientific-didactic sermons, was published with the note “a treatise-recitation in the Azerbaijani language for elementary (primary – S.R.) school students and on good morals.”

In the last decades of the 19th century and before the First Russian Revolution, Hasanali Khan Garadaghi, Jalal Unsizadeh, Rashid bey Afendizadeh, Mirza Balagardash Hajiyev, Eynali bey Sultanov, Mirza Alasgar Novras and others. We see that they made many translations from the great Russian writers L.N. Tolstoy and I.A. Krylov. As a rule, Azerbaijani translators turned to I.A. Krylov's fables and L. Tolstoy's "Alphabet" ("Azbuka") and the four-part "Book for Reading" ("Kniga dlya chteniya") for translation. In those years, F. Kocharli translated A.S. Pushkin's "The Tale of the Fisherman and the Goldfish" into the national language under the title "The Torchbearer and the Fish" (Pushkin A.S. 1892, p. 12). Firidun bey also translated M.Y. Lermontov's "Three Palm Trees" and A. Koltsov's "Man, Why Are You Sleeping?" into Azerbaijani in simple verse (Lermontov M.Y. 1895, p. 13). He published the works of all three writers in booklet form. F. Kocharli's work "Talımati-Sokrat" translated from Russian was also a great reading material for teenagers and young people (Talımati-Sokrat (translator: Kocharli F.). 1890, p.91). In general, in the 19th-20th centuries, the authors whose works were translated most often into Azerbaijani from among Russian and European writers and poets were I.A. Krylov and L. Tolstoy.

Keywords: many translations, scientific-didactic reading materials, new works

GİRİŞ

XIX əsrin II yarısı və XX əsrin əvvəlləri Azərbaycan xalqının tarixi inkişafında geniş dövr kimi səciyyələnir. Baş verən yeniliklərdən biri də milli dildə uşaq ədəbiyyatının təşəkkülü idi. Bu danışdığımız dövr Azərbaycan uşaq ədəbiyyatının təşəkkül və ilkin inkişaf mərhələsi kimi xarakterizə oluna bilər. XIX əsrin sonlarına doğru ədəbi-mədəni mühitdə rus və Avropa ədəbiyyatına artan maraq azərbaycanlı yazıçıları həmin mənbədən yeni-yeni əsərlər tərcümə etməyə ruhlandırırdı. 1885-ci ildə (№24) «Kəşkül»ün naşiri S.Ünsizadə V.Hüqonun ölümü münasibəti ilə qəzetdə məqalə dərc edir. Eyni zamanda qüdrətli fransız yazıçısının bir şeirini də Azərbaycan dilinə çevirərək məqaləyə əlavə edir. 1888-ci ildə S.Vəlibəyov rus ədibi N.P.Qrotun alman dilindən ruscaya çevirdiyi «Бог в природе» əsərini «sadə vətən dilinə» tərcümə edərək «Qüdrəti-xuda» adı ilə ayrıca kitab halında çap etdirir (Vəlibəyov S. 1888, s. 44). İyirimi elmi-didaktik xütbədən ibarət bu kitabça «mübtədi (ibtidai – S.R.) məktəb şagirdlərinə məxsus və hüsni əxlaqə dair Azərbaycan dilində risaleyi-qiraətdir» qeydi ilə nəşr olunmuşdur.

XIX əsrin son onilliklərində və Birinci rus inqilabının astanasına qədərki dövrdə Həsənəli xan Qaradağı, Cəlal Ünsizadə, Rəşid bəy Əfəndizadə, Mirzə Balaqardaş Hacıyev, Eynəli bəy Sultanov, Mirzə Ələsgər Növrəs və b. böyük rus ədibləri L.N.Tolstoydan və İ.A.Krılovdan xeyli tərcümələr etdiklərini görürük. Bir qayda olaraq azərbaycanlı mütərcimlər tərcümə üçün İ.A.Krılovun təmsillərinə və L.Tolstoyun «Əlifba» («Азбука») və dörd hissədən ibarət «Oxu» («Книга для чтения») kitablarına müraciət edirdilər. Həmin illərdə F.Köçərli A.S.Puşkinin «Balıqçı və qızıl balıq haqqında nağıl» əsərini «Torçu və balıq» adı ilə milli dilə çevirmişdir (Puşkin A.S. 1892, s.12). Firidun bəy M.Y.Lermontovun «Üç xurma ağacı», A.Koltsovun «A kişi, niyə yatıbsan?» əsərlərini də mənzum şəkildə sadə bir dildə azərbaycancaya çevirmişdi (Lermontov M.Y. 1895, s.13). Hər üç ədibin əsərlərini kitabça halında nəşr etdirmişdi. F.Köçərlinin rus dilindən çevirdiyi «Təlimati-Sokrat» əsəri də yeniyetmələr və gənclər üçün gözəl oxu materialı idi (Təlimati-Sokrat (mütərcimi: Köçərli F.). 1890, s.91). Ümumiyyətlə, XIX-XX yüzilliklər də rus və Avropa ədib və şairlərindən Azərbaycan dilinə ən çox əsərləri tərcümə edilən müəlliflər İ.A.Krılov və L.Tolstoy idi.

Azərbaycan maarifçiləri uşaqlar üçün mənəvi qida kimi daha çox Krılovun təmsillərinə, Tolstoyun isə «Əlifba» və oxu kitablarına müraciət edirdilər. Əlbəttə, bu səbəbsiz deyildi. Belə ki, həmin əsərlər həcmcə yığcam, ideya-məzmun cəhətdən münasib, tədris-metodiki baxımdan əlverişli idi. Kiçik oxucuların zövq və maraqlarına uyğun gəlirdi, əxlaqi-tərbiyəvi nöqteyi-nəzərdən də kifayət qədər məqsədə müvafiq idi. Doğrudur, yazıçılarımız bu əsərləri, adətən, eynilə milli dilə çevirməyə meyil etmir, müstəqilliyə yol verir, hətta bəzən onlarda müəyyən dəyişiklik aparırdılar. Belə dəyişikliklər İ.A.Krılovun təmsillərində daha çox hiss olunurdu. Tərcümə zamanı çox vaxt təmsillərdəki kəskin satira ruhu, ictimai ifşa pafosu və ideyası azaldılır, təmsillərə əxlaqi-didaktik məzmun və ideya aşılanırdı. Belə bir əməliyyat çox zaman işin xeyrinə olmasa da, yəni orijinal mətni oxucuya çatdırmaq

missiyasına xidmət etməsə də, əksər tərcümələrdə özünü büruzə verirdi. Xeyrulla Məmmədov haqlı olaraq qeyd edir ki, «Orijinal üzərində ədiblərin əməliyyatı, bir qayda olaraq, Krılovun vermək istədiyi ideyanın xeyrinə olmamışdır. Bunlar əksər hallarda Krılov təmsillərinin tərcüməsindən daha artıq onun Azərbaycan dilində variantlarını xatırladır» (Məmmədov X. 1992, s. 126). Görünür, deyilən əməliyyat tərcüməçilərin kiçik oxuculara ciddi satirik ideya və mətləbləri yox, daha çox öyüdnəsihət aşılamaq istəyi ilə əlaqədar olmuşdur.

Haqqında danışdığımız dövrdə elə bir ana dili dərsliyi yox idi ki, orada İ.A.Krılovdan və L.Tolstoydan tərcümə nümunəsi olmasın. Qiraət kitablarında və uşaq mətbuatında da bu iki rus yazıçısının əsərlərinə bol-bol yer verilirdi. İ.A.Krılov əsəri Azərbaycan dilinə tərcümə edilən ilk rus ədəbi simalarından biridir. XIX yüzilliyin 40-cı illərində görkəmli maarifçi A.Bakıxanov onun «Eşşək və bülbül» («Осел и соловей») adlı təmsilini milli dilə çevirmişdi. Daha sonra biz şairin «Tülkü və üzüm» sərlövhəli təmsilini A.O.Çernyayevskinin «Vətən dili» (I hissə, 1882) dərsliyinin səhifələrində görürük. Şeiri Azərbaycan dilinə Rəşid Əfəndizadə çevirmişdi. 1887-ci ildə (№72) «Kəşkül» qəzetində də rus təmsilçisinin «Xoruz və inci» («Петух и жемчужное зерно») şeirinin tərcüməsi verilmişdir. A.O.Çernyayevski və S.Vəlibəyovun «Vətən dili» (II hissə, 1888) dərsliyində isə şairin 20 təmsili yer almışdır. Şeirləri Azərbaycan dilinə H.Qaradağı çevirmişdir. Əlbəttə, bir dərslikdə eyni müəllifin bu qədər şeirinin verilməsi maraqlı faktdır. Bu, həm də o zaman yeni məzmun və tipdə hazırlanan dərslik üçün müəlliflərin milli dildə münasib əsərlər tapa bilməməsi ilə əlaqədar idi.

O zamankı Azərbaycan ictimai-siyasi və pedaqoji mühitində Krılov yaradıcılığına məhsuldar şəkildə müraciət edənlərdən biri R.Əfəndizadə idi. O rus şairindən 19-a qədər poetik nümunə tərcümə etmişdi. Həmin poeziya örnəklərindən bir qismi «Uşaq bağçası» dərsliyində (1898), bir qismi «Bəsirətülətfal»da (1901), üçü isə «Dəbistan» jurnalında (1906, №4; 1907, №2, 3) yer almışdır. Mirzə Ələsgər Növrəs Qarabağinin «Pəndi-ətfal» («Uşaqlara nəsihət», 1900) adlı qiraət kitabına haqqında danışdığımız maarifçinin 4 poetik tərcümə nümunəsi daxil edilmişdi. Səməd bəy Hacıbəyovun «evlərdə qiraəti-türkiyə məxsus kitabça» kimi nəşr etdirdiyi «Hədiyyeyi-sibyan» («Uşaqlara hədiyyə», 1901) kitabında Krılovdan 10, Mirzə Balaqardaş Hacıyevin «öz şagirdlərinə hədiyyeyi-acizanə kimi töhfə etdiyi «Qafqaz istilahı» (1902) kitabında 3 təmsil var idi. Təmsillər mənzum şəkildə tərcümə edilmişdi. Yenə cocuqlara aid oxu kitablarından Hacı Mirağa Mirmöhsünzadə Naseh «Hədiyyətülətfal»ında («Uşaqlara hədiyyə», 1911) rus təmsilnəvisindən 3, Firidun bəy Köçərli «Balalara hədiyyə»də (1912) 1 təmsilini vermişdi. M.Nasehin kitabındakı tərcümələr onun öz qələminə, «Balalara hədiyyə»dəki «Tülkü və üzüm» təmsilinin tərcüməsi isə Eynəli bəy Sultanova məxsus idi. Onu da əlavə edək ki, İ.A.Krılovun eyni şeiri bəzən bir neçə mütərcim tərəfindən milli dilə çevrilirdi. Məsələn, «Hədiyyətül-ətfal»dakı «Ördək, balıq və xərçəng», «Şir və tülkü» təmsilləri dördüncü, «Tülkü və qarğa» təmsili beşinci, «Balalara hədiyyə»dəki «Tülkü və üzüm» şeiri isə altıncı dəfə idi ki, Azərbaycan dilinə (müəllifləri fərqli olmaqla) çevrilirdi. Krılov təmsillərinin peşəkarlıq baxımından ən səviyyəli tərcümələri R.Əfəndizadəyə, A.Səhhətə və

A.Şaiqə məxsusdur. A.Səhhət rus şairinin 9 təmsilini ana dilimizə tərcümə etmişdi. Bu tərcümələr ilk dəfə «Yeni məktəb» (1909) dərsliyində və «Məğrib günəşləri» (1912) adlı poetik tərcümələr toplusunda çap olunmuşdur. O zamankı Azərbaycan uşaq mətbuatı da Krılovsuz ötüşə bilməmişdir. «Dəbistan» jurnalı onun «Ağcaqanad və kəbutər» (1906, №3, mütərcimi R.Əfəndizadə), «Rəhbər» məcmuəsi «Kisə» (1906, №1, mütərcimi A.Əfəndizadə), «Məktəb» jurnalı isə «Eşşək və bülbül» (1913, №7, mütərcimi A.Şaiq), «Kəndli və ilan» (1914, №4, mütərcimi Mirzə Balaqardaş) təmsillərini oxuculara təqdim etmişdi. Şairin «Qarğa və tülkü» təmsili altıncı dəfə M.Ə.Sabir Azərbaycan dilinə çevrilmiş və «Yeni məktəb» dərsliyinə salınmışdı. Dərsliklərdə, qiraət kitablarında və uşaq mətbuatında İ.A.Krılovdan nəsrlə edilmiş tərcümələrə də rast gəlirik.

Haqqında danışdığımız zaman kəsimində yaradıcılığı diqqət mərkəzində olan digər rus yazıçısı L.Tolstoy idi. Ümumiyyətlə, bu dövrdə yaradıcılıq məhsulları Azərbaycan dilinə çevrilən ədəbi şəxsiyyətlər cərgəsində kəmiyyət göstəricisi baxımından bu böyük dahi birinci yer tuturdu. Onun istər «böyüklər», istərsə də «kiçiklər üçün» qələmə aldığı, həm dini, həm də dünyəvi mövzuda yazdığı əsərləri maraq dairəsində idi. Azərbaycanda da onu həm dindarlar, mühafizəkarlar, həm də dünyəvi, müasir baxışlı oxucu və ziyalı kütləsi sevirdi. Onun «kiçik» oxucular üçün tərtib etdiyi «Yeni əlifba» («Новая азбука») və 4 hissədən ibarət oxu kitabları («Книга для чтения») da geniş şöhrət tapmışdı. Bu kitablarda uşaq ədəbiyyatının dəyərli nümunələri toplanmışdı.

L.Tolstoyun əsərləri XIX əsrin 80-ci illərindən etibarən Azərbaycan dilinə çevrilməyə başlamışdır. XIX-XX əsrlərin kəsişdiyi yerdə ana dili dərsliklərində, qiraət kitablarında və uşaq mətbuatında rus ədibinin uşaq əsərlərindən kifayət qədər bol nümunəyə rast gəlmək mümkündür. Milli dildə mütaliə materiallarına ciddi ehtiyacın olduğu bir tarixi şəraitdə rus yazıçısının uşaqlar üçün qələmə aldığı bədii nümunələr milli ziyalılarımızdan ötrü kifayət qədər cazibədar və əhəmiyyətli görünürdü. Doğrudan da, bu nümunələr istər həcm, istər bədiilik, istər mövzu və ideya, istərsə də pedaqoji baxımdan son dərəcə əlverişli idi. Şagirdlərin, kiçik oxucuların yaş, bilik, dərketmə səviyyəsinə, zövq və maraqlarına tam şəkildə uyğun gəlirdi. Birinci rus inqilabına qədər L.Tolstoyun «böyüklər üçün» yazdığı əsərlərdən də bəzi nümunələrin milli dilimizə çevrildiyini görürük. Məsələn, A.Minasazov onun «Buğda dənəsi», S.M.Qənizadə «Əvvəlinci şərabçı», C.Məmmədquluzadə «Zəhmət, ölüm, naxoşluq» əsərlərini azərbaycancaya tərcümə etmişdilər. Bununla belə onun uşaq əsərləri yazıçılarımızın diqqətini daha çox məşğul etmişdir. «Vətən dili» (A.O.Çernyayevski) dərsliyinin I hissəsində (1882) rus ədibindən 4 hekayə verilmişdi. Bu azərbaycanlı oxucuların öz dillərində yazıçının yaradıcılığı ilə ilk tanışlığı idi. Ümumiyyətlə, Birinci rus inqilabına qədər «Vətən dili» (I, II hissə), «Uşaq bağçası», «Bəsirətül-ətfal» və «Kitabi-xəzanül-ətfal» dərsliklərinə Tolstoyun «Əlifba» və oxu kitablarından 30-a qədər hekayənin tərcüməsi daxil edilmişdi. «Birinci il»də (1910) sənətkarın 3, «İkinci il»də (1908) 13 hekayəsi yer almışdı.

Qiraət kitablarında da rus yazıçısından sıx-sıx nümunələrə rast gəlmək mümkündür. Ə.Müznibin «Qiraət» (1914) kitabındakı 26, həmçinin A.İsrafilbəyovun «Pişik balası» (1913) kitabındakı 13 hekayənin hamısı Tolstoyun oxu

kitablarından seçilmiş nümunələr idi. Q.R.Mirzəzadənin «Barmaq boylu uşaq» (1911), «Baha oturur» (1910), «Bir-birinizə məhəbbət ediniz» kitabçalarındakı eyni adlı əsərlər, «Qırmızıpapaq və bir qurdun diriliyi» (1910) kitabındakı «Qırmızıpapaq» hekayəsi də haqqında danışdığımız müəllifin yaradıcılığından sərbəst tərcümələr idi. «Dörd hekayə» (1912), «Birinci qədəm» (1913) kitablarında, N.Axundovun «Nağıllar məcmuəsi»ndə də Tolstoyun uşaq əsərlərindən nümunələrə rast gəlmək mümkün idi Təkcə «Məktəb» jurnalında 1911-1920-ci illər arasında L.Tolstoydan həm nəsrlə, həm də nəzmlə edilmiş 40-a qədər uşaq əsərinə rast gəlmək mümkündür. Maraqlıdır ki, rus ədibinin balacalar üçün nəsrlə qələmə aldığı hekayələr bəzən bizimı yazıçılar tərəfindən şeirlə milli dilə çevrilirdi. Ə.Müznibin «Qiraət» (1914) kitabındakı 26 hekayənin bir neçəsi nəzmlə azərbaycanlı oxuculara təqdim edilmişdi. Qəzənfər Sultanzadə «Oğurluğun üstü açıldı» (9, 1906, №16), Məsum «İki yoldaş» (9, 1914, №3), Əlisəttar İbrahimov «Qurd və qoca nənə» (9, 1912, №21) hekəyələrinin tərcüməsində eyni yolla hərəkət etmişdilər. L.Tolstoyun uşaq əsərlərini milli dilə çevirən tərcüməçilərin sayı da çox idi. Bunlardan Q.R.Mirzəzadəni, B.Talıbzadəni, Ə.Fəhmini, M.Hənifəni, Ə.İbrahimovu, M.Əfəndiyevi, A.İsrafilbəyovu, Ə.Rzazadəni, Ə.S.Qasımovu, Ə.Müznibi, A.Mətləbzadəni, Ə.Əliyevi, R.Tahirbəyovu, A.Vəlixanovu və başqalarını göstərmək olar. Əlbəttə, edilən tərcümələrin hamısının yaradıcılıq səviyyəsi eyni deyildi. Bunların içərisində zəifləri də var idi.

XIX əsrin II yarısı və XX əsrin əvvəllərində mütərəqqi baxışlı, yeni təlim-tərbiyə üsulu ilə dərs keçən Azərbaycan pedaqoqları görkəmli rus pedaqoqu K.D.Uşinskinin təcrübəsindən kifayət qədər bəhrələnmişlər. Onlar öz dərsliklərini yazarkən rus pedaqoqunun «Uşaq dünyası» («Детский мир») və «Ana dili» («Родное слово») dərsliklərinin nəinki forma-struktur, məzmun və pedaqoji sistemindən, hətta oradakı bədii mətnlərdən də faydalanmışlar. A.O.Çernyayevski və S.Vəlibəyov «Vətən dili»nə (II hissə, 1888) əlavə etdikləri müqəddimədə dərsliyi tərtib edərkən Uşinskinin dərsliklərinin təcrübəsinə istinad etdiklərini, onun forma və məzmunu əsas götürdüklərini xüsusi olaraq qeyd edirlər (Çernyayevski A.O., Vəlibəyov S. 1888, s. 4). Eyni zamanda rus pedaqoqunun dərsliyindəki «Siçanlar», «İki kəsəyən» təmsillərini, «Uşaqları məktəbə şövqləndirmək», «Tutulmuş quş» şeirlərini öz kitablarına daxil edirlər. Şeirlərin dördünü də A.O.Çernyayevskinin xahişi ilə H.Qaradağı Azərbaycan dilinə çevirmişdi. R.Əfəndizadənin «Uşaq bağçası» (1898), H.M.Mirmöhsünzadənin «Hədiyyətül-ətfal» (1911), M.Qəmərlinski və b. «Ana dili» (II cild, II nəşr, 1908), M.Mahmudbəyovun «Birinci il» (1907) dərsliklərində də Uşinskidən tərcümələr verilmişdi. Bunlar maarifçi pedaqoqun «Tülkü və keçi», «Uşaq gözlüyü», «Sünbül», «Heyvanların mübahisəsi», «İki kotan», «Küpə qazana yoldaş deyil», «Güllərin bəhsi» və s. şeirlərinin tərcümələri idi. «Güllərin bəhsi» şeiri A.Səhhətin tərcüməsi ilə «Birinci il»dərsliyinə də salınmışdı. Əsərləri gənc nəslin tərbiyəsi üçün milli dilmizə çevrilən rus ədib və şairləri İ.A.Krılov, L.Tolstoy və K.D.Uşinski ilə məhdudlaşmır. Biz uşaqlara aid o zamankı mənbələrdə V.A.Jukovski, N.M.Karamzin, A.S.Puşkin, M.Y.Lermontov, İ.S.Turgenev, xanım Bulqatova, A.Y.İzmaylov, A.P.Çexov, İ.Tutçev, A.İ.Kuprin,

A.N.Pleşşeyev, A.V.Koltsov, A.Qurnov və başqa müəlliflərdən də ana dilimizdə xeyli bədii nümunələrə rast gəlirik. Ana dili dərslikləri içərisində kəmiyyət və keyfiyyət etibarı ilə ən çox və ən yaxşı tərcümə nümunələri «Yeni məktəb» dərsliyindədir. M.Mahmudbəyovun və A.Səhhətin həmmüəllif olduğu dərslikdəki bədii əsərləri, əsasən, A.Səhhət tərcümə etmişdi. Maarifçilik peşəkarlığı, professionallığı, yüksək mütərcimlik istedadı burada da özünü aydın şəkildə büruzə vermişdi. «Yeni məktəb»in 1918-ci il nəşrinə 25-ə qədər tərcümə nümunəsi daxil edilmişdi. Dərslikdə fransız yazıçısı Volterdən də «Himmətli sükançı» adlı hekayə salınmışdı. Yeri gəlmişkən onu da əlavə edək ki, A.Səhhət o dövrün və bütövlükdə Azərbaycan tərcümə ədəbiyyatının ən istedadlı, professional tərcüməçilərindən biri idi. Onun «Məğrib günəşləri» (1912) adlı toplusu bütövlükdə rus və Avropa şairlərinin nəzm əsərlərinin mənzum tərcüməsindən ibarətdir. Buraya Jan Ramo, İ.A.Krılov, M.Y.Lermontov, V.Hüqo, Ə.X.Dəhləvi, (bu şərq şairidir), A.S.Puşkin, İ.S.Nikitin, L.M.Medvedyev, Q.R.Derjavin, İ.İ.Kozlov, Y.V.Jadovski, A.N.Pleşşeyev, V.V.Qofman, Smirnov, A.V.Koltsov və başqa şairlərin yüksək səviyyədə ana dilimizə tərcümə edilmiş poetik əsərləri salınmışdı.

Böyüməkdə olan nəslin mənəvi ehtiyaclarını ödəməkdə, tərcümə mədəniyyətimizi zənginləşdirməkdə həmin əsərlərin xüsusi dəyəri vardır. Bu poetik nümunələr həm də milli maarifçilərimizdən ötrü gözəl bir örnək rolunu oynayırdı. F.Köçərli «Balıqçı və qızıl balıq nağılı» adlı mənzum nağılı Azərbaycan dilinə tərcümə etdikdən sonra A.S.Puşkinin yaradıcılığına diqqət artdı. R.Əfəndizadə şairin eyni nağılını, habelə «Hal anası» və «Kaftar» adlı mənzum hekayələrini milli dilə çevirərək «Bəsirətülətfal» dərsliyinə salmışdı. A.Şaiqin «Gülzar» dərsliyində isə Puşkinə həsr olunmuş ayrıca oçerk vardır. Daha sonra isə onun A.Səhhətin tərcüməsi ilə «Uçqun, yaxud uçurum», «Peyğəmbər» və «Qafqaz» şeirləri oxuculara təqdim edilir. «Uçqun, yaxud uçurum» şeiri A.Şaiqin «Milli qiraət kitabı» (1919) dərsliyində də yer almışdır. Rus şairinin «Qış» şeiri A.Səhhətin çevirməsində «Məktəb» (1911, №2) jurnalında çap olunmuşdur. «Yeni məktəb» də sənətkarın «Yanğında dada çatma» hekəyəsi nəsrlə azərbaycanlı oxuculara çatdırılmışdır. Biz «Dəbistan» jurnalının səhifələrində (1906, №11-14, 17-18) Puşkinin «Barışnaya krestyanka» hekayəsinin nəsrlə tərcüməsini də görürük. «Çöl xanımı» adı ilə edilmiş bu tərcümə sənətkarın «Belkinin hekayələri» povestinə daxildir. Hekayə sadə və səlis bir dillə Azərbaycan oxucularına çatdırılmışdı. F.Köçərlidən sonra M.Y.Lermontov yaradıcılığına maraq göstərən ədiblərimizdən A.Səhhət və A.Şaiq olmuşdur. Əvvəlcə dediyimiz kimi F.Köçərli rus şairinin «Üç xurma» şeirini ana dilimizə çevirərək Koltsovun «A kişi, niyə yatıbsan?» mənzum hekayəsi ilə birlikdə 1895-ci ildə kitabça halında nəşr etdirmişdi. A.Səhhət onun «Mtsıri» poemasından bir parça, həmçinin «Çərkəslər», «Peyğəmbər», «Terekin sovqatı», «Mübahisə», A.Şaiq isə «Qaçaq» şeirini Azərbaycan türkcəsinə çevirmişlər. Bu poetik nümunələr mütərcimlərin müəllifi olduqları «Yeni məktəb» və «Gülzar» dərsliyinə də daxil edilmişdi. «Gülzar»da Lermontovun həyat və yaradıcılığı barədə məlumat verən yığcam oçerk də yer almışdı.

KAYNAKLAR

1. Alməmmədov A. (1982) Azərbaycan-rus ədəbi əlaqələri. Bakı, Yazıçı. 214 s.

2. Bağırov Ə. (1974) Lev Tolstoy və Azərbaycan (1880-1920). Bakı, Elm. 182 s.

3. «Dəbistan» jurnalı. Bakı (1906-1908).

4. Vəlibəyov S. (1888) Qüdrəti-xuda. Tiflis: «Kəşkül» mətbəəsi. 44 s.

5. Qəzet. «Ziyayi-Qafqaziyyə», Tiflis, 1883, №11

6. Qəzet. «Кавказ». Tiflis, 1882, №148.

7. Qəzet. «Кавказ». Tiflis, 1883, №15.

8. Lermontov M.Y. (1895) Üç xurma ağacı; Koltsov A. A kişi, niyə yatıbsan? (mütərcimi: Köçərli F). Şuşa: Məsihi ruhaniyyə mətbəəsi. 13 s.

9. «Məktəb» jurnalı.Bakı (1911-1920). 10. Məmmədov Ə. (1977) Azərbaycan uşaq ədəbiyyatı.Bakı, Elm. 161 s.

Gİ DE MOPASSAN YARADICILIĞI FRANSIZ ƏDƏBİYYATI KONTEKSTİNDƏ

Aynur Zahir qızı Bədəlova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin müəllimi

https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-9288-6218

badalovaaynurrr@gmail.com

Xülasə

XIX əsr fransız ədəbiyyatının görkəmli nümayəndələrindən biri olan Gi de Mopassan qısa ömür sürməsinə baxmayaraq, yaradıcılığının özünəməxsusluğu ilə dünya ədəbiyyatında xüsusi mövqe qazanmışdır. Onun yaradıcılığı XIX əsrin sonlarında fransız nəsrinin inkişafında mühüm rol oynayır. Yazıçının əsərlərində gündəlik həyatın müxtəlif tərəfləri, insanlar arasında münasibət, məhəbbət və ailə problemləri, sosial ziddiyyətlər, müharibənin doğurduğu faciələr, tənhalıq və mənəvi böhran kimi məsələlər geniş şəkildə əks etdirilmişdir. Mopassan, xüsusilə, kiçik həcmli nəsr əsərlərinin mahir ustası kimi tanınmışdır. Onun "Gombul", "İki dost", "Boyunbağı", "Madmuazel Fifi", "Həsirçi qadın", "Horla" kimi əsərlərində insan xarakterinin müxtəlif cəhətləri fərqli bədii üsullarla təqdim edilir. Yazıçının yaradıcılığında realizm əsas istiqamət təşkil etsə də, bəzi əsərlərində psixoloji vəziyyətlərin və fantastikliyin güclənməsi onun sənət dünyasının rəngarəngliyini nümayiş etdirir. Məqalədə Gi de Mopassanın həyat yolu, yaradıcılıq xüsusiyyətləri, hekayə və romanları, əsas mövzuları, insan və cəmiyyət probleminə münasibəti araşdırılır və onun fransız ədəbiyyatındakı mövqeyi nəzərdən keçirilir.

Açar sözlər: realizm, hekayə, roman, insan, cəmiyyət.

Abstract

Guy de Maupassant, one of the outstanding representatives of nineteenth-century French literature, occupies a distinctive position in world literature despite his relatively short life. His literary activity represents an important stage in the development of French prose at the end of the nineteenth century. His work played an important role in the development of French prose in the late 19th century. In such works as "Boule de Suif", "Two Friends", "The Necklace", "Mademoiselle Fifi", "The Wreath" and "The Horla", the writer presents different aspects of human character through diverse artistic methods. Although realism is the main direction in the writer's work, the intensification of psychological situations and fantasy in some of his works demonstrates the diversity of his artistic world. The article examines Guy de Maupassant's life and literary activity, his stories and novels, the main themes of his works, his approach to the individual and society, and his place in French literature.

Keywords: realism, short story, novel, individual, society.

Giriş

XIX əsr fransız ədəbiyyatı dünya ədəbi düşüncəsinin inkişafında xüsusi əhəmiyyət daşıyan dövrlərdən biridir. Bu mərhələdə realizmin aparıcı ədəbi istiqamət kimi möhkəmlənməsi ilə insan həyatının adi görünən, lakin dərin məna ifadə edən tərəfləri, gündəlik həyatın reallıqları və insanın mənəvi-psixoloji aləmi ədəbiyyatda daha geniş şəkildə əks olunmağa başlamışdır. Fransız nəsrinin bu istiqamətdə inkişafında Gi de Mopassanın yaradıcılığının xüsusi yeri vardır. Yazıçı həm mövzu dairəsinin genişliyi, həm də insan xarakterini müşahidə etmək bacarığı ilə seçilmişdir.

Gi de Mopassan 1850-ci ildə Normandiyada anadan olmuşdur. Onun uşaqlıq və yeniyetməlik illərinin keçdiyi mühit gələcək yazıçının dünyagörüşünün formalaşmasına təsirsiz ötüşməmişdir. Normandiya təbiəti, kənd həyatı, sadə insanların gündəlik yaşamı sonralar onun əsərlərində müxtəlif formalarda öz əksini tapmışdır. Yazıçının yaradıcılığında məhz real həyatdan götürülmüş müşahidələrin üstünlük təşkil etməsi onun nəsrinin əsas xüsusiyyətlərindən biri olmuşdur.

Mopassanın ədəbi yaradıcılığının formalaşmasında Qüstav Floberin mühüm rolu olmuşdur. Flober gənc yazıçının yaradıcılıq imkanlarını istiqamətləndirən, onun sənətə münasibətinin formalaşmasına təsir göstərən mühüm şəxsiyyətlərdən biri idi. Mopassan 1880-ci ildə “Gombul” novellasının çapından sonra geniş oxucu auditoriyasının diqqətini cəlb etmişdir. Bu əsər onun yaradıcılıq imkanlarını nümayiş etdirməklə yanaşı, Fransa-Prussiya müharibəsinin insan talelərinə təsirini də əks etdirirdi. Mopassanın əsərlərinin mühüm hissəsi 1880–1890-cı illər arasında yaranmışdır. Fransa Milli Kitabxanasının məlumatlarında da yazıçının bu dövrdə çoxsaylı hekayə və novellaları dövri mətbuatda müntəzəm şəkildə dərc etdirdiyi göstərilir.

Mopassan yaradıcılığında insan və cəmiyyət münasibətləri xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Yazıçı hadisələri idealizə etmir, insanın həm güclü, həm də zəif tərəflərini olduğu kimi göstərməyə çalışır. Onun qəhrəmanları çox vaxt sosial vəziyyətin, maddi maraqların, ehtirasların və təsadüflərin təsiri altında qərarlar qəbul edirlər. Bu baxımdan Mopassan yaradıcılığında insan xarakterinin açılması ilə sosial mühitin təsviri bir-birini tamamlayır.

Yazıçının “Gombul” əsəri bu baxımdan diqqəti xüsusilə cəlb edir. Əsərdə müharibə şəraitində insanların davranışı, vətənpərvərlik anlayışı ön plana çəkilir. Müxtəlif sosial təbəqələrdən olan insanların eyni vaqonda bir araya gəlməsi onların xarakterlərini müqayisəli şəkildə göstərməyə imkan verir. Mopassan burada insanların sosial mövqelərinə göstərir, həm də çətin vəziyyətdə nümayiş etdirdikləri mənəvi keyfiyyətlər əsasında qiymətləndirir.

Müharibə mövzusu Mopassanın yaradıcılığında təsadüfi xarakter daşımır. 1870–1871-ci illər Fransa-Prussiya müharibəsi onun dünyagörüşünə və yaradıcılığına ciddi təsir göstərmişdir. “İki dost”, “Madmuazel Fifi”, “Gombul” kimi əsərlərində müharibənin insan həyatında yaratdığı faciələr müxtəlif aspektlərdən göstərilir. Xüsusilə “İki dost” hekayəsində müharibə şəraitində adi insanların həyatı və onların seçim qarşısında qalması

diqqət mərkəzinə gətirilir. Yazıçı müharibəni təsvir edir, həmçinin onun arxasında dayanan insan iztirablarını göstərməyə üstünlük verir.

Mopassanın yaradıcılığında məhəbbət və qadın mövzusu da geniş yer tutur. Lakin yazıçı sevgi münasibətlərini romantik hisslər çərçivəsində təqdim etmir. Onun əsərlərində məhəbbət çox vaxt sosial vəziyyət, ailə münasibətləri, maddi maraqlar ilə qarşılıqlı əlaqədə təsvir olunur. Bu baxımdan "Boyunbağı" hekayəsi xüsusilə maraqlıdır. Əsərin əsas qəhrəmanı Matilda Loazel daha yüksək sosial mövqeyə sahib olmaq arzusu ilə yaşayır. Xarici görünüş və cəmiyyətdəki mövqe haqqında təsəvvürlər onun həyatında ciddi dəyişikliklərə səbəb olur. Sadə bir hadisənin insan taleyini necə dəyişdirə bilməsi Mopassanın realist müşahidə qabiliyyətini aydın şəkildə göstərir.

Yazıçının roman yaradıcılığı da onun sənətkarlığının mühüm istiqamətlərindən biridir. "Bir həyat", "Əziz dost", "Pyer və Jan", "Mont-Oriol", "Gözəl dost" kimi əsərlərində XIX əsr Fransa cəmiyyətinin müxtəlif tərəfləri əks etdirilir.

"Əziz dost" romanında yazıçı sosial yüksəliş arzusunda olan Jorj Düruanın obrazı vasitəsilə cəmiyyətin mənəvi dəyərlərini, mətbuat aləmini və şəxsi maraqların insan davranışına təsirini göstərir. Dürua məqsədinə çatmaq üçün müxtəlif insanlarla münasibətlərindən istifadə edir. Bu obraz vasitəsilə Mopassan cəmiyyətdə uğurun hər zaman mənəvi üstünlüklə bağlı olmadığını nümayiş etdirir. Əksinə, bəzən xarici görünüş və maddi maraqlar insanın cəmiyyətdə mövqeyini müəyyənləşdirən əsas vasitələrə çevrilir.

Mopassanın "Pyer və Jan" romanında isə ailə münasibətləri və insanın öz həqiqəti ilə üz-üzə qalması məsələsi ön plana keçir. Əsərdə qardaşlar arasındakı münasibətlər vasitəsilə ailə daxilində gizli qalan həqiqətlərin insan psixologiyasına təsiri araşdırılır. Bu baxımdan yazıçının nəsrində psixoloji müşahidə realist təsvirlə birləşir.

Mopassan yalnız sosial reallığı təsvir edən yazıçı deyildir. Onun yaradıcılığında insanın daxili aləmi, qorxu, tənhalıq və psixoloji gərginlik də mühüm yer tutur. "Horla" əsəri bu baxımdan xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Əsərdə insanın öz şüuru üzərində nəzarəti itirməsi, naməlum qüvvə qarşısında keçirdiyi qorxu və reallıqla xəyal arasındakı sərhədin pozulması təsvir edilir. Fransa Milli Kitabxanasının məlumatlarında "Horla" nın 1887-ci ilə aid əsər kimi qeyd olunması da əsərin Mopassanın yaradıcılığının son mərhələsində meydana gəldiyini göstərir.

Bu əsər Mopassan yaradıcılığında psixoloji və fantastik istiqamətin güclənməsini göstərir. Burada hadisələrin obyektiv reallıq, yoxsa qəhrəmanın psixoloji vəziyyətinin məhsulu olması məsələsi açıq saxlanılır. Beləliklə, yazıçı oxucunu hadisənin mahiyyəti haqqında düşünməyə də sövq edir.

Mopassanın sənətkarlığının əsas xüsusiyyətlərindən biri onun yığcamlıq prinsipinə üstünlük verməsidir. Hekayələrində artıq təsvirlərə geniş yer vermədən, bir neçə xarakterik detal vasitəsilə obrazın sosial və psixoloji portretini yarada bilir. Onun hekayələrinin böyük bir hissəsində hadisə gözlənilməz sonluqla tamamlanır. Bununla belə, əsərin təsiri finaldakı dönüşdən irəli gəlmir. Yazıçı hadisələrin inkişafı boyunca qəhrəmanın xarakterini,

onun davranış motivlərini və sosial mühitlə əlaqəsini mərhələli şəkildə açır. Müəllifin əsərləri ölümündən sonra da müxtəlif nəşrlərdə çap edilmiş, müxtəlif dillərə tərcümə olunmuşdur. Fransa Milli Kitabxanasının kataloqu Mopassanın əsərlərinin çoxsaylı toplu və nəşrlər şəklində hazırlandığını göstərir. Onun yaradıcılığına həsr olunmuş ayrıca bioqrafik və ədəbi-tənqidi araşdırmalar da mövcuddur.

Gi de Mopassan 1893-cü ildə vəfat etmişdir. Qısa ömrünə baxmayaraq, onun yaratdığı zəngin bədii irs fransız və dünya ədəbiyyatının mühüm sərvətlərindən birinə çevrilmişdir. Yazıçının hekayə, novella və romanlarında həyatın müxtəlif tərəflərinin realist müşahidəsi, insan xarakterinə diqqət və sosial mühitin təsviri onun sənətinin əsas xüsusiyyətlərini təşkil edir. Mopassan fransız ədəbiyyatında hekayə janrının inkişafına mühüm töhfə vermiş, insan və cəmiyyət problemini özünəməxsus bədii yanaşma ilə təqdim etmiş sənətkar kimi ədəbiyyat tarixində özünə layiqli yer tutmuşdur.

Ədəbiyyat

1. Maupassant, G. de. Contes et nouvelles. Texte établi et annoté par Louis Forestier. Paris: Gallimard, 1974–1979.
2. Maupassant, G. de. Œuvres complètes de Guy de Maupassant. Paris: L. Conard, 1908–1910.
3. Maupassant, G. de. Romans, contes et nouvelles. Paris: Robert Laffont, 2020.
4. Pasquet, M. Maupassant: biographie, étude de l'œuvre. Paris: Albin Michel, 1993.
5. Artinian, A.; Maynial, E. Correspondance inédite de Guy de Maupassant. Paris: D. Wapler, 1951.
6. Delaisement, G. Maupassant: journaliste et chroniqueur. Paris: Albin Michel, 1956.
7. Leclerc, Yvan. Le Horla. Paris: CNRS; Bibliothèque nationale; Zulma, 1993.

ARİSTOFANES'İN "BULUTLAR" KOMEDİSİNDE SOFİZM, AİLEVİ YOZLAŞMA VE TİYATRO TEKNİĞİ

Dr. Öğr. Türkan HÜSEYNOVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Üniversitesi, Shamakhi bölümü, Dil, edebiyat ve onların öğretim teknolojisi bölümü, Dünya edebiyatı öğretmeni

Bakü Devlet Üniversitesi, Dünya edebiyatı bölümü doktora öğrencisi

turkan.huseynova.8989@mail.ru

https://orcid.org/0009-0008-0507-0880

Özet

"Bulutlar" ("The Clouds") (Nefelai), M.Ö. 423 yılında antik Yunan oyun yazarı Aristofanes tarafından yazılmış ünlü bir komedidir. Bu eseri felsefe profesörü Michael Sugrue'nin dersleri temelinde yorumlamaya çalışacağız. Profesör belirtmektedir ki, eserin ana özelliklerinden biri, toplumun küçük bir parçası olan aile değerlerinin yavaş yavaş yok olmasının hicivsel (satirik) bir üslupla sunulmasıdır. Yazar bu eserde Sokrates'i olumsuz bir şekilde tasvir ederek fikirlerini baba Strepsiades ile Sokrates arasındaki diyaloglar üzerinden vermeye çalışır.

Strepsiades, Sokrates ile olan konuşmalarında Zeus üzerine yemin eder; çünkü o Yunan geleneğinin takipçisidir ve Zeus onların temel tanrısıdır. Fakat Sokrates ona karşı çıkarak Zeus'un kim olduğunu, onun çok eskide kaldığını, artık Zeus'a inanmadığımızı ve bu düşüncenin eskidiğini ifade eder. Bizim için doğal olaylar, örneğin bulutlar, girdap (vortex) önemlidir. Burada Aristofanes mecazi anlamda girdabı toplumda yeni oluşan kaos ile sembolize eder. Artık gelenek ve istikrar önemini ve biçimini kaybetmiş, her şey dağılmış ve bir girdap içinde spiral gibi dönmektedir.

Profesör belirtmektedir ki, bu eserin en ilgi çekici yönlerinden biri parabasislerin kullanılmasıdır. Parabasis (Antik Yunanca παράβασις — "kenara çekilme" veya "öne doğru adım atma"), Antik Yunan tiyatrosunda, özellikle Attika komedisinde (Eski Komedya / Old Comedy), koronun sahnenin ortasına doğru öne gelerek doğrudan seyircilere (veya jüriye) hitap ettiği özel bir dramatik bölümdür. Profesör bunu Bertolt Brecht'in Epik Tiyatro anlayışı ile karşılaştırır. Gerçekten de Brecht'in Epik Tiyatrosunda da oyuncu aniden oyundan uzaklaşarak sahnenin önüne gelir ve seyircilerle doğrudan iletişime geçer. Bu özellikler tam olarak antik komedyada Aristofanes'in eserlerinde mevcuttur.

Bulutlar burada sembolik anlamda metafizik olanı simgeler, yani bir bakıma Platon'un idealar alemi ile örtüşür. Sokrates'e göre kral girdaptır; metafizik ve yüksekte olan ise bulutlardır ve bu bir nevi idealar alemi olarak sunulur.

Strepsiades, Sokrates ile konuştuktan sonra, Sokrates ona ne yapacağını gidip Bulutlar'a sormasını tavsiye eder. Artık Sokrates'in fikirleriyle değişmeye başlayan Strepsiades, Pheidippides tarafından şaşkınlıkla karşılanır ve

oğlu babasının aklını kaybettiğini düşünür. Aristofanes, Sokrates'i hicivsel bir üslupla eleştirir ve Yunan toplumunda sadece gençlerin değil, artık yaşlıların da sofistlerin düşünceleriyle zehirlendiğini gösterir.

Eserde Pheidippides; Aishylos ve Sophokles'i okumak istemediğini, onların ahlaki görüşlerinin ve geleneksel didaktik anlayışlarının kendisini tiksindirdiğini, Euripides'i okumak istediğini ve onun yazdıklarının daha gerçekçi olduğunu belirtir. Burada yine metafizik olanın seküler, dünyevi bir hal aldığını ve geleneksel ailenin ensestle yer değiştirdiğini görüyoruz.

Oğulun babayı, yani Pheidippides'in Strepsiades'i dövdüğü sahnede, artık Sokrates'in sofist düşünceleriyle zehirlenmiş bir gençlik ve geleneğin mahvoluşunu görüyoruz. Aristofanes bütün olanların sorumlusu olarak Sokrates'i hicivsel bir üslupla eleştirmektedir.

Anahtar kelimeler: Parabasis, Sofizm, Aristofanes

SOPHİSM, FAMİLİAL DECAY, AND THEATRİCAL TECHNİQUE İN ARİSTOPHANES' "THE CLOUDS"

Turkan HUSEYNOVA

Lecturer of World Literature, Department of Language, Literature, and Teaching Technologies,

Shamakhi Branch of Azerbaijan State Pedagogical University

PhD Student in World Literature, Baku State University

turkan.huseynova.8989@mail.ru

https://orcid.org/0009-0008-0507-0880

Abstract

"The Clouds" (*Nefelai*) is a famous comedy written in 423 BC by the ancient Greek playwright Aristophanes. We will attempt to interpret this work based on the lectures of philosophy professor Michael Sugrue.

The professor notes that one of the main features of the work is the presentation of the gradual disappearance of family values—a small component of society—in a satirical style. The author portrays Socrates negatively in this work, attempting to convey his ideas through the dialogues between the father Strepsiades and Socrates.

In his conversations with Socrates, Strepsiades swears by Zeus because he is a follower of Greek tradition and Zeus is their principal deity. However, Socrates opposes him, asking who Zeus is, stating that he was from a long time ago, that we no longer believe in Zeus, and that this way of thinking is obsolete. For us, natural phenomena—such as clouds and the vortex—are what matter. Here, Aristophanes metaphorically symbolizes the vortex as the emerging chaos in society. Tradition and stability have now lost their significance and form; everything has collapsed and is spinning like a spiral inside a vortex.

The professor notes that one of the most interesting aspects of this work is the use of parabases. Parabasis (from the Ancient Greek παράβασις — "stepping aside" or "stepping forward") is a special dramatic section in ancient Greek theater, especially in Attic comedy (Old Comedy), where the chorus steps forward to the center of the stage to directly address the audience (or the judges). He compares this to Bertolt Brecht's concept of Epic Theater. Indeed, in Brecht's Epic Theater as well, the actor suddenly steps away from the play, comes to the front of the stage, and engages in direct communication with the audience. These features exist precisely in ancient comedy in the works of Aristophanes.

The clouds here symbolically represent the metaphysical, echoing, in a way, Plato's realm of ideas. According to Socrates, the king is the vortex; what is metaphysical and high above are the clouds, and this is presented as a kind of realm of ideas.

After Strepsiades speaks with Socrates, Socrates advises him to go and ask the Clouds what to do. Strepsiades, who has begun to change under Socrates's ideas, is met with astonishment by Pheidippides, and the son believes

his father has lost his mind. Aristophanes satirically criticizes Socrates, showing that in Greek society, not only the youth but now even the elderly are poisoned by the ideas of the Sophists.

In the work, Pheidippides states that he does not want to read Aeschylus and Sophocles, that their moral views and traditional didactics disgust him, and that he wants to read Euripides because what he writes is more realistic. Here again, we see the metaphysical becoming secular and worldly, and the traditional family being replaced by incest.

In the scene where the son beats the father—that is, Pheidippides beating Strepsiades—we see a youth poisoned by Socratic sophistical ideas and the destruction of tradition. Aristophanes satirically criticizes Socrates as the cause of everything that has occurred.

Keywords: Parabasis, Sophism, Aristophanes

ŞAGİRDLƏRDƏ MÜSTƏQİL DÜŞÜNCƏNİN İNKİŞAF ETDİRİLMƏSİ ONLARIN ŞƏXSİYYƏT KİMİ FORMALAŞMASININ ƏSAS AMİLİ KİMİ

Azərbaycan-Bakı, Könül Məmmədova

Orcid id: 0000-0001-8664-4912

könül.1970@mail.ru

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Filologiya fakültəsi, Azərbaycan dili və onun tədrisi texnologiyası kafedrası

AÇAR SÖZLƏR: təlim, şəxsiyyət, mənəvi-psixoloji mühit

Məktəb yalnız şagirdlərə müəyyən bilik və bacarıqların öyrədildiyi təhsil müəssisəsi deyil. Məktəb, eyni zamanda, gələcək şəxsiyyətin formalaşdığı, onun dünyagörüşünün, mənəvi keyfiyyətlərinin, sosial münasibətlərinin və həyata baxışlarının inkişaf etdiyi mühüm tərbiyə məkanıdır. Uşaq məktəbə daxil olduğu ilk gündən yalnız oxumağı, yazmağı, hesablamağı və müxtəlif fənlər üzrə bilikləri mənimsəmir. O, həm də insanlarla ünsiyyət qurmağı, başqalarının fikrinə hörmət etməyi, məsuliyyət daşımağı, öz davranışlarını qiymətləndirməyi və cəmiyyətin üzvü kimi yaşamağı öyrənir. Şəxsiyyətin formalaşması uzunmüddətli və mürəkkəb prosesdir. Bu prosesə ailə, məktəb, sosial mühit, dost çevrəsi, kütləvi informasiya vasitələri, rəqəmsal mühit və fərdin öz fəaliyyəti təsir göstərir. Lakin məktəb bu amillər içərisində xüsusi yer tutur. Çünki məktəb uşağın həyatının mühüm bir mərhələsini əhatə edir və onun məqsədyönlü inkişafına sistemli şəkildə təsir göstərmək imkanına malikdir.

Müasir məktəbin əsas məqsədi yalnız yüksək akademik nəticə göstərən şagird yetişdirmək deyil. Əsl məqsəd düşünən, müstəqil qərar qəbul edə bilən, məsuliyyətli, vətənpərvər, humanist, əməksevər, yaradıcı və cəmiyyət qarşısında öz məsuliyyətini dərk edən şəxsiyyət formalaşdırmaqdır. Şəxsiyyət dedikdə insanın yalnız fərdi xüsusiyyətləri deyil, onun sosial münasibətlər sistemi, mənəvi dəyərləri, dünyagörüşü, davranışı, məsuliyyət hissi, iradəsi və özünüreallaşdırma imkanları nəzərdə tutulur. Uşaq müəyyən bioloji xüsusiyyətlərlə doğulur, lakin şəxsiyyət kimi formalaşması sosial mühitdə baş verir.

Şəxsiyyətin formalaşması bir gündə və ya bir neçə dərsin nəticəsində mümkün deyil. Bu, ardıcıl, məqsədyönlü və davamlı pedaqoji təsirlər nəticəsində həyata keçir. Müəllimin şagirdə münasibəti, ailədə yaradılan mənəvi-psixoloji mühit, sinif yoldaşları ilə münasibətlər, məktəbin ümumi atmosferi və şagirdin öz fəaliyyətində əldə etdiyi təcrübələr onun şəxsiyyət kimi inkişafına təsir edir. Bu baxımdan məktəbdə təlim və tərbiyəni bir-birindən ayırmaq mümkün deyil. Şagirdin aldığı hər bir bilik müəyyən dərəcədə onun düşüncə tərzinə, dünyagörüşünə və həyata münasibətinə təsir göstərir.

Şəxsiyyətin formalaşmasının ilk və ən mühüm mərhələsi ailədə başlayır. Uşaq ilk davranış qaydalarını, ünsiyyət formasını, böyüklərə və yaşıdlarına münasibəti, məsuliyyət və qayğı anlayışlarını ailədə mənimsəyir. Buna görə də məktəbin şagirdin şəxsiyyət kimi inkişafına təsiri ailədən ayrı düşünülməməlidir. Ailə ilə məktəb

arasında sağlam əməkdaşlıq olduqda tərbiyə prosesinin səmərəliliyi artır. Müəllim valideynlə yalnız şagirdin qiymətləri və dərsə davamiyyəti barədə danışmamalıdır. Şagirdin maraqları, qabiliyyətləri, davranış xüsusiyyətləri, emosional vəziyyəti və sosial münasibətləri də əməkdaşlığın mövzusu olmalıdır. Valideyn və müəllim eyni məqsəd ətrafında birləşdikdə uşaq özünü daha təhlükəsiz hiss edir. Əksinə, məktəbin tələbləri ilə ailənin yanaşması arasında ciddi ziddiyyət olduqda şagird çaşqınlıq yaşaya bilər.

Şagird şəxsiyyətinin formalaşmasında müəllimin rolu əvəzsizdir. Müəllim yalnız bilik verən şəxs deyil, həm də şagird üçün davranış nümunəsidir. Uşaqlar müəllimin dediklərindən daha çox onun davranışına diqqət yetirirlər. Ədalətli, səbirli, nəzakətli və humanist müəllim şagirdlərdə həmin keyfiyyətlərin formalaşmasına müsbət təsir göstərir. Müəllim hər bir şagirdə hörmətlə yanaşırsa, fərqli fikirləri dinləyirsə və səhv edən uşağı alçaltmadan ona düzgün istiqamət verirsə, şagird də zamanla başqalarına qarşı belə münasibət göstərməyi öyrənir. Müəllimin şagirdə "sən bacarmırsan" deməsi onun özünəinamını zəiflədə bilər. Bunun əvəzinə "bu dəfə alınmadı, amma üzərində işləsən, bacara bilərsən" yanaşması şagirddə inkişaf düşüncəsi yaradır. Deməli, müəllimin istifadə etdiyi sözlər belə şəxsiyyətin formalaşmasına təsir göstərən mühüm pedaqoji vasitədir. Şəxsiyyətin inkişafı üçün şagird özünü məktəbdə təhlükəsiz və dəyərli hiss etməlidir. Qorxu, təzyiq, təhqir və ayrı-seçkilik olan mühitdə uşağın yaradıcı və müstəqil düşünməsi çətinləşir. Sağlam məktəb mühiti şagirdin fikrini sərbəst ifadə etməsinə, səhv etməkdən qorxmamasına, sual verməsinə və yeni ideyalar irəli sürməsinə imkan yaradır.

Məktəbdə psixoloji təhlükəsizliyin təmin olunması həmçinin bullinqin qarşısının alınmasını tələb edir. Şagirdin görünüşünə, sosial vəziyyətinə, akademik nəticələrinə və ya digər xüsusiyyətlərinə görə lağa qoyulması onun şəxsiyyətinə ciddi təsir göstərə bilər. Buna görə məktəbdə qarşılıqlı hörmət və empatiya mədəniyyəti formalaşdırılmalıdır. Təlim və şəxsiyyət tərbiyəsi bir-birindən ayrılmazdır. Dərs zamanı şagird yalnız fənn üzrə bilik əldə etmir, eyni zamanda düşünmə, müqayisə etmə, nəticə çıxarma, qərar vermə və əməkdaşlıq bacarıqlarını inkişaf etdirir. Məsələn, Azərbaycan dili dərslərində mətnlərin müzakirəsi zamanı şagirdlərdə milli-mənəvi dəyərlər, humanizm, vətənpərvərlik, böyüklərə hörmət, dostluq və mərhəmət kimi keyfiyyətlər formalaşdırıla bilər.

Ədəbiyyat dərsləri isə insan xarakterini, mənəvi seçimləri və müxtəlif həyat situasiyalarını müzakirə etmək üçün geniş imkan yaradır. Tarix dərslərində vətəndaşlıq mövqeyi və milli yaddaş, biologiya və ekologiya mövzularında təbiətə münasibət, əmək və texnologiya dərslərində zəhmətə hörmət və məsuliyyət kimi keyfiyyətlər inkişaf etdirilə bilər. Beləliklə, şəxsiyyət tərbiyəsi yalnız ayrıca "tərbiyə saatı" ilə məhdudlaşdırılmamalı, bütün fənlərin məzmununa və təlim prosesinə inteqrasiya edilməlidir.

Müasir dövrdə şəxsiyyətin əsas göstəricilərindən biri müstəqil düşünə bilməkdir. Şagird yalnız müəllimin söylədiklərini əzbərləməklə kifayətlənməməli, öyrəndiyi məlumatı təhlil etməyi, müxtəlif fikirləri müqayisə etməyi və öz mövqeyini əsaslandırmağı bacarmalıdır. Müəllim dərsdə "Doğru cavab hansıdır?" sualı ilə yanaşı,

“Sən necə düşünürsən?”, “Nə üçün belə hesab edirsən?”, “Başqa cür düşünmək mümkündürmü?” kimi suallardan istifadə etməlidir.

Bu yanaşma şagirdin tənqidi və yaradıcı düşünmə qabiliyyətini inkişaf etdirir. Öz fikrini ifadə edə bilən və həmin fikri əsaslandırmağı bacaran şagird gələcəkdə daha müstəqil qərarlar qəbul edə bilir.

BİOLOGİYA DƏRSLƏRİNDƏ TƏDQİQAT SUALLARININ QURULMASI BACARIĞININ İNKİŞAFI

İradə Məmmədova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti

Kimya və biologiya fakültəsi

Biologiya və onun tədrisi texnologiyası kafedrası

baş müəllim

Azərbaycan, Bakı

Xülasə

Elmi tədqiqat biologiya dərslərində şagirdlərin tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişaf etdirilməsinin nəzəri və metodik əsaslarının müəyyənləşdirilməsinə həsr edilmişdir. Tədqiqatın əsas məqsədi şagirdlərin bioloji hadisə və problemləri müşahidə etməsi, onları elmi problem kimi formalaşdırması və yoxlanıla bilən tədqiqat suallarına çevirməsi prosesində səmərəli pedaqoji yanaşmaları müəyyən etmək olmuşdur. Araşdırmada tədqiqatəsaslı, probleməsaslı və əməkdaşlığa əsaslanan təlim strategiyalarından, müşahidə və eksperiment tapşırıqlarından, qrup müzakirələrindən, reflektiv fəaliyyətlərdən və meyarəsaslı qiymətləndirmədən istifadə edilmişdir. Nəticələr göstərmişdir ki, məqsədyönlü və mərhələli təlim şagirdlərin geniş və təsviri suallardan daha konkret, aydın, elmi əsaslandırılmış və empirik yolla yoxlanıla bilən tədqiqat suallarına keçidini dəstəkləyir. Tədqiqat suallarının formalaşdırılması şagirdlərin yalnız biologiya üzrə biliklərini deyil, həm də analitik, tənqidi və yaradıcı düşünmə, problemhəll etmə, məlumatların təhlili, elmi kommunikasiya və sübutlara əsaslanan nəticə çıxarma bacarıqlarını inkişaf etdirir. Araşdırma nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, müəllimin fasilitator rolu, real həyatla əlaqələndirilmiş problem situasiyaları və sistemli refleksiya tədqiqat sualı qurmaq bacarığının formalaşdırılmasında mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu baxımdan biologiya təlimində tədqiqat suallarının qurulmasının ardıcıl şəkildə öyrədilməsi elmi savadlılığın və tədqiqat kompetensiyalarının inkişaf etdirilməsi üçün səmərəli metodik istiqamət kimi qiymətləndirilə bilər.

Açar sözlər: biologiya təhsili, tədqiqat sualı, tədqiqatəsaslı təlim, elmi təfəkkür, problemhəll etmə, tənqidi düşünmə, tədqiqat bacarıqları, biologiyanın tədrisi

DEVELOPING THE ABILITY TO FORMULATE RESEARCH QUESTIONS IN BIOLOGY LESSONS

Irada Mammadova

Azerbaijan State Pedagogical University

Faculty of Chemistry and Biology

Department of Biology and Its Teaching Technologies

Senior Lecturer

Baku, Azerbaijan

Abstract

This scientific study is devoted to identifying the theoretical and methodological foundations for developing students' ability to formulate research questions in biology lessons. The main objective of the study was to determine effective pedagogical approaches for supporting students in observing biological phenomena and problems, conceptualizing them as scientific problems, and transforming them into testable research questions. The study employed inquiry-based, problem-based, and collaborative learning strategies, together with observation and experimental tasks, group discussions, reflective activities, and criterion-referenced assessment. The results demonstrated that purposeful and systematic instruction facilitates students' transition from broad and descriptive questions to more specific, clear, scientifically grounded, and empirically testable research questions. The formulation of research questions contributes not only to the development of students' biological knowledge but also to the enhancement of analytical, critical, and creative thinking, problem-solving, data analysis, scientific communication, and evidence-based reasoning skills. The study established that the teacher's role as a facilitator, problem situations connected with real-life contexts, and systematic reflection are of particular importance in developing students' ability to formulate research questions. Therefore, systematic instruction in research-question formulation in biology education can be regarded as an effective methodological approach for promoting scientific literacy and research competencies among students.

Keywords: biology education, research question, inquiry-based learning, scientific thinking, problem-solving, critical thinking, research skills, biology teaching

Giriş

Müasir təhsil sistemində əsas məqsəd yalnız şagirdlərə müəyyən həcmdə biliklərin ötürülməsi deyil, onların əldə etdikləri bilikləri yeni situasiyalarda tətbiq etmək, müstəqil düşünmək, problemləri müəyyənləşdirmək, səbəb-nəticə əlaqələrini aşkar etmək və elmi əsaslandırılmış qərarlar qəbul etmək bacarıqlarının formalaşdırılmasıdır. Bu baxımdan təbiət elmlərinin, xüsusilə biologiyanın tədrisi şagirdlərin elmi dünyagörüşünün inkişafında mühüm əhəmiyyət daşıyır. Biologiya canlı sistemlərin quruluşunu, fəaliyyətini, inkişafını, müxtəlifliyini və ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqələrini öyrəndiyi üçün şagirdlərin müşahidə, müqayisə, fərziyyə irəli sürmə, eksperiment aparma, məlumat toplama və nəticə çıxarma kimi tədqiqat yönümlü fəaliyyətlərə cəlb olunmasına geniş imkanlar yaradır. Bu prosesdə tədqiqat suallarının düzgün qurulması xüsusi metodik əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqat sualı elmi araşdırmanın istiqamətini müəyyənləşdirən, problemin konkretləşdirilməsinə və onun sistemli şəkildə öyrənilməsinə imkan verən əsas komponentlərdən biridir. Biologiya dərslərində tədqiqat sualının formalaşdırılması sadəcə sual vermək bacarığı ilə məhdudlaşmır. Şagird müəyyən bir bioloji hadisəni müşahidə etməli, həmin hadisədə araşdırılmağa ehtiyacı olan problemi müəyyənləşdirməli, dəyişənlər arasında mümkün əlaqələri nəzərdən keçirməli və yoxlanıla bilən sual formalaşdırmalıdır. Bu baxımdan tədqiqat sualı şagirdin müşahidədən elmi problemə, problemdən fərziyyəyə, fərziyyədən isə araşdırmaya keçidini təmin edən mühüm intellektual vasitə kimi çıxış edir.

Ənənəvi biologiya tədrisində sualların böyük hissəsi hazır biliklərin xatırlanmasına və reproduktiv fəaliyyətə yönəlir. Məsələn, “Fotosintez nədir?”, “Hüceyrənin əsas orqanoidləri hansılardır?”, “Ekosistem nədir?” kimi suallar müəyyən anlayışların mənimsənilməsini yoxlamaq baxımından əhəmiyyətli olsa da, şagirdin müstəqil tədqiqat aparmaq və elmi problem qoymaq bacarığının inkişafını tam təmin etmir. Tədqiqat yönümlü yanaşmada isə sualın cavabı əvvəlcədən məlum olmamalı, müşahidə və ya eksperiment vasitəsilə araşdırılmalı, əldə olunan sübutlarla əsaslandırılmalıdır. Məsələn, “İşığın intensivliyinin bitkinin fotosintez sürətinə təsiri necə dəyişir?”, “Torpağın rütubət səviyyəsi toxumların cücərməsinə necə təsir göstərir?” və ya “Müxtəlif ekoloji amillərin müəyyən bir orqanizmin yayılmasına təsiri hansı istiqamətdədir?” kimi suallar şagirdi fəal tədqiqat prosesinə cəlb edir.

Tədqiqat sualının qurulması bacarığının inkişafı şagirdlərin elmi savadlılığının formalaşdırılması ilə birbaşa əlaqəlidir. Elmi savadlılıq yalnız elmi faktları bilmək deyil, elmi biliklərin necə əldə edildiyini anlamaq, sübutları qiymətləndirmək, məlumatları təhlil etmək və elmi arqumentlər əsasında mövqe formalaşdırmaq qabiliyyətini də əhatə edir. Bu baxımdan şagirdin “Nə baş verir?” sualından “Nə üçün baş verir?”, “Hansı amil buna təsir edir?”, “Bu təsiri necə yoxlamaq olar?” və “Alınmış nəticəni hansı sübutlar dəstəkləyir?” suallarına keçməsi onun elmi təfəkküründün inkişafını göstərən mühüm göstəricidir.

Biologiyanın məzmun xüsusiyyətləri tədqiqat suallarının formalaşdırılması üçün olduqca geniş imkanlar yaradır. Hüceyrə biologiyası, genetika, botanika, zoologiya, insan anatomiyası və fiziologiyası, mikrobiologiya, ekologiya və biotexnologiya kimi sahələrdə real müşahidələrə əsaslanan tədqiqat sualları qurmaq mümkündür. Xüsusilə ekologiya mövzularında şagirdlərin yaşadıqları mühitdə rast gəldikləri problemlərdən çıxış etməsi onların tədqiqat fəaliyyətinə motivasiyasını artırır. Su və hava çirklənməsi, biomüxtəlifliyin azalması, yaşayış mühitlərinin parçalanması, invaziv növlərin yayılması, torpağın deqradasiyası, iqlim dəyişmələri və antropogen təsirlər kimi problemlər biologiya dərslərində tədqiqat suallarının yaradılması üçün real kontekst formalaşdırır[1].

Tədqiqat suallarının keyfiyyəti aparılan araşdırmanın elmi və metodik səviyyəsinə birbaşa təsir göstərir. Yaxşı formalaşdırılmış tədqiqat sualı aydın, konkret, məqsədyönlü, müşahidə və ya eksperiment yolu ilə yoxlanıla bilən və müəyyən dəyişənlər arasında əlaqənin araşdırılmasına imkan verən xüsusiyyətlərə malik olmalıdır. Həddindən artıq geniş suallar araşdırmanın sərhədlərinin müəyyənləşdirilməsini çətinləşdirir, çox dar suallar isə şagirdin problemin müxtəlif aspektlərini təhlil etməsinə kifayət qədər imkan verməyə bilər. Buna görə biologiya müəlliminin əsas metodik vəzifələrindən biri şagirdlərə tədqiqat sualının keyfiyyət meyarlarını izah etmək və onları bu meyarlardan istifadə edərək müstəqil suallar formalaşdırmağa istiqamətləndirməkdir.

Bu prosesdə müəllimin rolu hazır tədqiqat suallarını təqdim etməklə məhdudlaşmamalıdır. Müəllim şagirdlərə müşahidə olunan hadisəni problem kimi müəyyənləşdirməyi, əsas və ikinci dərəcəli amilləri ayırmağı, müstəqil və asılı dəyişənləri müəyyən etməyi, sualın yoxlanıla bilmə imkanını qiymətləndirməyi və ehtimal olunan nəticələri əvvəlcədən düşünməyi öyrətməlidir. Belə pedaqoji yanaşma şagirdin tədqiqat prosesində passiv icraçı deyil, aktiv tədqiqatçı kimi çıxış etməsinə şərait yaradır.

Tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişafında probleməsaslı, tədqiqatəsaslı və layihəəsaslı təlim metodlarının tətbiqi mühüm rol oynayır. Probleməsaslı təlimdə şagird real və ya modelləşdirilmiş bioloji problem qarşısında qoyulur və problemin həlli üçün araşdırılmalı məsələləri müəyyən edir. Tədqiqatəsaslı təlimdə isə şagird müşahidə, sualvermə, fərziyyə, məlumat toplama, analiz və nəticə mərhələlərindən keçərək elmi araşdırmanın məntiqini mənimsəyir. Layihəəsaslı fəaliyyətlər zamanı isə tədqiqat sualı daha uzunmüddətli fəaliyyətin əsasını təşkil edə və müxtəlif mənbələrdən məlumatların toplanmasını, təhlilini və nəticələrin təqdim edilməsini tələb edə bilər.

Bununla yanaşı, tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişafı şagirdlərin müxtəlif idraki səviyyələrdə fəaliyyət göstərməsinə imkan verir. Sadə xatırlama və anlama səviyyəsindən başlayaraq tətbiqetmə, analiz, qiymətləndirmə və yaratma mərhələlərinə doğru irəliləyən suallar şagirdin düşünmə fəaliyyətini mürəkkəbləşdirir. Məsələn, müəyyən bir bioloji faktın izahından sonra şagird həmin faktın səbəblərini araşdıran, müxtəlif dəyişənləri müqayisə edən və nəticələri əsaslandıran suallar formalaşdırmağa yönəldilə bilər. Beləliklə,

sualvermə prosesi yalnız kommunikativ fəaliyyət deyil, həm də yüksək səviyyəli idraki bacarıqların inkişaf etdirilməsi vasitəsinə çevrilir.

Tədqiqat suallarının formalaşdırılması həm də şagirdlərin metakoqnitiv bacarıqlarının inkişafına müsbət təsir göstərir. Şagird özünün nəyi bildiyini, nəyi bilmədiyini, hansı məlumatlara ehtiyac duyduğunu və həmin məlumatları hansı üsullarla əldə edə biləcəyini müəyyənləşdirməyə başlayır. Başqa sözlə, tədqiqat sualı şagirdin öz öyrənmə prosesini planlaşdırmasına və idarə etməsinə imkan yaradır. Bu xüsusiyyət müasir kompetensiyaəsaslı təhsilin əsas prinsiplərindən biri olan öyrənməyi öyrənmək bacarığının inkişafı baxımından xüsusilə əhəmiyyətlidir.

Biologiya dərslərində tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişafında rəqəmsal texnologiyalardan və müasir informasiya resurslarından da səmərəli istifadə etmək mümkündür. Virtual laboratoriyalar, rəqəmsal mikroskoplar, interaktiv modellər, məlumat bazaları və onlayn simulyasiyalar şagirdlərə müxtəlif bioloji prosesləri müşahidə etmək və həmin müşahidələr əsasında yeni suallar formalaşdırmaq imkanı verir. Bununla belə, informasiya bolluğu şagirdin avtomatik olaraq keyfiyyətli tədqiqat sualı qura biləcəyi anlamına gəlmir. Əksinə, rəqəmsal mühitdə əldə edilən məlumatların etibarlılığının qiymətləndirilməsi, uyğun məlumatların seçilməsi və onların tədqiqat probleminə uyğunlaşdırılması əlavə tənqidi düşünmə bacarıqları tələb edir[2].

Tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişafı şagirdlərin kommunikativ və əməkdaşlıq bacarıqları ilə də əlaqəlidir. Qrup işləri zamanı müxtəlif şagirdlərin eyni bioloji hadisəyə fərqli suallar verməsi problemin müxtəlif aspektlərdən nəzərdən keçirilməsinə şərait yaradır. Şagirdlər öz suallarını təqdim edir, digər qrup üzvlərinin suallarını qiymətləndirir, onların elmi əsaslandırılmasını müzakirə edir və daha dəqiq sual formalaşdırmaq üçün qarşılıqlı rəy mübadiləsi aparırlar. Bu proses həm elmi dialoqu, həm də argumentativ düşüncəni gücləndirir.

Müəllimin istifadə etdiyi qiymətləndirmə strategiyaları da bu bacarığın formalaşmasında mühüm əhəmiyyət daşıyır. Tədqiqat sualının yalnız düzgün və ya səhv olması əsasında qiymətləndirilməsi əvəzinə onun aydınlığı, araşdırıla bilməsi, konkretliyi, elmi əhəmiyyəti, dəyişənlərin müəyyənləşdirilməsi və əldə ediləcək məlumatların təhlilinə imkan verməsi kimi meyarlar nəzərə alınmalıdır. Rubrikalar, özünüqiymətləndirmə, qarşılıqlı qiymətləndirmə və müəllim rəyi şagirdlərə suallarının güclü və zəif tərəflərini müəyyənləşdirməyə imkan verir. Təkrar sualformalaşdırma fəaliyyəti isə ilkin sualın daha elmi və ölçülə bilən formaya gətirilməsini təmin edir.

Mövzunun aktuallığı həm də onunla şərtlənir ki, XXI əsrdə biologiya təhsilinin qarşısında duran vəzifələr yalnız bioloji biliklərin mənimsənilməsi ilə məhdudlaşmır. İqlim dəyişmələri, biomüxtəlifliyin qorunması, qida və su təhlükəsizliyi, ekosistemlərin davamlılığı, yeni xəstəliklərin meydana çıxması və biotexnoloji inkişaf kimi qlobal məsələlərin həlli elmi düşünə bilən, sübutları təhlil edən və düzgün suallar qoymağı bacaran vətəndaşların yetişdirilməsini tələb edir. Bu baxımdan şagirdin elmi problemin mahiyyətini düzgün müəyyənləşdirməsi və onu

araşdırıla bilən tədqiqat sualına çevirməsi müasir biologiya təhsilinin əsas nəticələrindən biri kimi qiymətləndirilə bilər[3].

Beləliklə, biologiya dərslərində tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişafı şagirdlərin elmi təfəkküründün, problemhəll etmə, tənqidi və yaradıcı düşünmə, müşahidə, analiz, arqumentasiya, məlumatların qiymətləndirilməsi və müstəqil qərarvermə bacarıqlarının kompleks şəkildə formalaşmasına xidmət edir. Bu yanaşma biologiya dərsini hazır biliklərin mənimsənildiyi mühitdən şagirdin sual verdiyi, araşdırdığı, sübut topladığı və nəticələr çıxardığı aktiv öyrənmə mühitinə çevirir. Buna görə də biologiyanın tədrisində tədqiqat suallarının məqsədyönlü və sistemli şəkildə formalaşdırılması şagirdyönümlü, tədqiqatəsaslı və kompetensiyaəsaslı təlimin mühüm komponentlərindən biri hesab edilə bilər. Bu istiqamətdə metodik yanaşmaların elmi əsaslarla araşdırılması və effektiv təlim strategiyalarının müəyyənləşdirilməsi biologiya təhsilinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi baxımından xüsusi aktuallıq kəsb edir.

Material və metodlar

Tədqiqat biologiya dərslərində şagirdlərin tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişafına təsir göstərən pedaqoji yanaşmaların müəyyənləşdirilməsi və onların tətbiqi imkanlarının qiymətləndirilməsi məqsədilə nəzəri və empirik metodların kombinasiyasına əsaslanmışdır. Tədqiqatın metodoloji çərçivəsini tədqiqatəsaslı, probleməsaslı və şagirdyönümlü təlim prinsipləri təşkil etmişdir. Metodların seçilməsi zamanı tədqiqat sualının formalaşdırılmasının müşahidə, problem müəyyənləşdirmə, fərziyyə irəli sürmə, dəyişənlərin müəyyənləşdirilməsi, məlumatların toplanması və nəticələrin əsaslandırılması ilə qarşılıqlı əlaqəsi nəzərə alınmışdır.

Tədqiqatın materiallarını biologiya fənninin müxtəlif mövzuları üzrə hazırlanmış problem situasiyaları, müşahidə və eksperiment tapşırıqları, açıq tipli suallar, şagirdlərin hazırladığı tədqiqat sualları, qiymətləndirmə meyarları və reflektiv fəaliyyət nümunələri təşkil etmişdir. Materialların hazırlanmasında hüceyrə biologiyası, genetika, botanika, ekologiya, insan fiziologiyası və biomüxtəliflik kimi mövzuların tədqiqat sualı yaratmaq baxımından imkanları nəzərə alınmışdır. Tapşırıqlar elə qurulmuşdur ki, şagird hazır cavabı xatırlamaq əvəzinə müşahidə etdiyi bioloji hadisə əsasında araşdırılmalı problemi müəyyənləşdirsin və onu yoxlanıla bilən sual formasında ifadə etsin.

Tədqiqat prosesində ilk mərhələdə şagirdlərin ilkin tədqiqat sualı qurmaq bacarıqlarının müəyyənləşdirilməsi üçün diaqnostik tapşırıqlardan istifadə edilmişdir. Şagirdlərə müxtəlif bioloji hadisələri əks etdirən situasiyalar təqdim olunmuş və həmin situasiyalar əsasında araşdırıla bilən suallar formalaşdırmaları tələb edilmişdir. İlkin cavablar sualın aydınlığı, konkretliyi, elmi məzmunu, yoxlanıla bilməsi, dəyişənlərin müəyyənləşdirilməsi və araşdırma məqsədinə uyğunluğu baxımından təhlil edilmişdir. Bu mərhələ şagirdlərin hansı komponentlərdə daha çox çətinlik çəkdiyini müəyyənləşdirməyə imkan vermişdir.

Növbəti mərhələdə tədqiqat suallarının qurulmasına yönəlmiş məqsədyönlü təlim fəaliyyəti təşkil edilmişdir. Təlim zamanı şagirdlər əvvəlcə müşahidə olunan hadisəni təsvir etmiş, daha sonra problemin əsas aspektlərini müəyyənləşdirmiş, "nə baş verir?", "nə üçün baş verir?", "hansı amil təsir göstərir?" və "bu təsiri necə yoxlamaq olar?" tipli istiqamətləndirici suallardan istifadə etməklə ilkin suallar hazırlamışlar. Daha sonra ilkin suallar təkrar nəzərdən keçirilmiş, onların araşdırıla bilən, ölçülə bilən və konkret formaya gətirilməsi təmin edilmişdir. Bu prosesdə müəllim fasilitator rolunda çıxış etmiş, hazır sual təqdim etmək əvəzinə şagirdlərin müstəqil sual formalaşdırmasını dəstəkləmişdir.

Tədqiqatəsaslı fəaliyyətlərin təşkili zamanı müşahidə, müqayisə, eksperiment, problem situasiyasının təhlili, qrup müzakirəsi, beyin həmləsi, konseptual xəritələndirmə və refleksiya metodlarından istifadə edilmişdir. Qrup işlərində şagirdlər eyni bioloji hadisə üzrə fərqli tədqiqat sualları hazırlamış, suallarını əsaslandırmış və həmyaşıdlarının suallarını müəyyən meyarlar əsasında qiymətləndirmişlər. Belə yanaşma sualın yalnız qrammatik baxımdan düzgün qurulmasına deyil, onun elmi məntiqinin və araşdırma potensialının dərk edilməsinə yönəldilmişdir.

Şagirdlərin hazırladığı tədqiqat suallarının qiymətləndirilməsi üçün meyarəsaslı rubrikadan istifadə edilmişdir. Rubrikada beş əsas göstərici nəzərə alınmışdır: sualın aydınlığı və konkretliyi; biologiya məzmununa uyğunluğu; empirik və ya eksperimental yolla yoxlanıla bilməsi; dəyişənlər arasındakı əlaqənin müəyyənləşdirilməsi; tədqiqat üçün praktik əhəmiyyəti. Hər göstərici üzrə performans səviyyələri müəyyənləşdirilmiş və ilkin və sonrakı fəaliyyət nəticələri müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir.

Empirik məlumatların təhlili zamanı keyfiyyət və kəmiyyət yanaşmalarından birgə istifadə edilmişdir. Kəmiyyət təhlilində şagirdlərin hazırladığı sualların meyarlara uyğunluq tezliyi və ümumi qiymətləndirmə göstəricilərindəki dəyişikliklər nəzərdən keçirilmişdir. Keyfiyyət təhlilində isə sualların məzmunu, elmi dəqiqliyi, səbəb-nəticə əlaqələrinin ifadəsi, dəyişənlərin müəyyənləşdirilməsi və araşdırma imkanları təhlil edilmişdir. İlkin və yekun nəticələrin müqayisəsi tədqiqat sualı qurmaq bacarığında baş verən dəyişikliklərin müəyyənləşdirilməsinə xidmət etmişdir.

Tədqiqatın etibarlılığını artırmaq məqsədilə tapşırıqların və qiymətləndirmə meyarlarının biologiya təhsili üzrə metodik prinsiplərə uyğunluğu nəzərə alınmış, qiymətləndirmə prosesində vahid meyarlardan istifadə edilmişdir. Şagirdlərin fərdi cavabları ilə yanaşı qrup fəaliyyətləri və reflektiv qeydlər də nəzərdən keçirilmişdir. Beləliklə, müxtəlif məlumat mənbələrinin qarşılaşdırılması vasitəsilə tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişaf dinamikasının daha obyektiv qiymətləndirilməsi təmin edilmişdir.

Tədqiqat prosesində etik prinsiplərə də əməl edilmiş, iştirakçıların şəxsi məlumatlarının qorunmasına diqqət yetirilmiş və əldə edilən nəticələr yalnız elmi-pedaqoji məqsədlər üçün ümumiləşdirilmiş şəkildə nəzərdən keçirilmişdir. Ümumilikdə seçilmiş metodlar biologiya dərslərində tədqiqat suallarının qurulmasının sistemli

şəkildə öyrədilməsinə, şagirdlərin elmi düşünmə fəaliyyətinin aktivləşdirilməsinə və onların müstəqil tədqiqat aparmaq bacarıqlarının inkişaf etdirilməsinə imkan verən kompleks metodoloji yanaşma formalaşdırmışdır.

Nəticələr və müzakirə

Tədqiqatın nəticələri göstərmişdir ki, biologiya dərslərində tədqiqat suallarının məqsədyönlü şəkildə qurulmasına yönəlmiş sistemli fəaliyyət şagirdlərin elmi problem müəyyənləşdirmə və araşdırıla bilən sual formalaşdırma bacarıqlarının inkişafına müsbət təsir göstərir. İlkin mərhələdə şagirdlərin hazırladığı sualların əhəmiyyətli hissəsi əsasən təsviri və reproduktiv xarakter daşımış, bioloji faktın və ya hadisənin sadəcə izahını tələb etmişdir. Bu suallarda dəyişənlərin müəyyənləşdirilməsi, səbəb-nəticə əlaqələrinin ifadəsi və empirik yoxlanma imkanının göstərilməsi nisbətən zəif olmuşdur. Təlim mərhələsindən sonra isə sualların daha konkret, məqsədyönlü və araşdırıla bilən formada qurulduğu müşahidə edilmişdir.

İlkin nəticələrin təhlili göstərmişdir ki, şagirdlər üçün əsas çətinliklərdən biri müşahidə olunan bioloji hadisə ilə onun tədqiqat problemi arasında fərqi müəyyənləşdirmək olmuşdur. Məsələn, “Bitkilər niyə böyüyür?” kimi geniş və çoxsaylı amilləri əhatə edən sualların əvəzinə “İşıqlanma müddətinin bitkinin böyümə sürətinə təsiri necə dəyişir?” kimi konkret və yoxlanıla bilən sualların formalaşdırılması şagirdlərdən problemin sərhədlərini müəyyənləşdirməyi tələb etmişdir. Bu dəyişiklik göstərir ki, tədqiqat sualının qurulması prosesində yalnız dil və ifadə bacarığı deyil, eyni zamanda dəyişənlər haqqında elmi təsəvvürlərin formalaşması da mühüm rol oynayır.

Təlim fəaliyyətlərinin tətbiqindən sonra şagirdlərin müstəqil və asılı dəyişənləri daha düzgün müəyyənləşdirməsi, sualın araşdırılması üçün mümkün metodları əvvəlcədən nəzərdən keçirməsi və gözlənilən nəticə ilə tədqiqat sualı arasında məntiqi əlaqə yaratması müşahidə edilmişdir. Xüsusilə eksperiment və müşahidə əsaslı tapşırıqlar şagirdlərin “sual–fərziyyə–metod–məlumat–nəticə” ardıcıllığını daha yaxşı anlamasına şərait yaratmışdır. Bu nəticə tədqiqat sualının elmi araşdırmanın digər komponentlərindən təcrid olunmuş fəaliyyət kimi deyil, bütöv tədqiqat prosesinin başlanğıc mərhələsi kimi öyrədilməsinin vacibliyini göstərir.

Qrup müzakirələrinin nəticələri də tədqiqat suallarının keyfiyyətinə müsbət təsirin olduğunu göstərmişdir. Şagirdlərin bir-birinin suallarını qiymətləndirməsi və əsaslandırılmış rəy bildirməsi sualların daha dəqiq formaya salınmasına kömək etmişdir. Qarşılıqlı müzakirə zamanı şagirdlər sualın çox geniş, cavabının əvvəlcədən məlum, ölçülə bilməyən və ya praktik baxımdan araşdırılması çətin olduğunu müəyyənləşdirməyi öyrənmişlər. Bu proses tədqiqat sualının keyfiyyətini qiymətləndirməklə yanaşı, elmi kommunikasiya və argumentativ düşünmə bacarıqlarının da inkişafına xidmət etmişdir[4].

Müşahidələr göstərmişdir ki, real həyatla əlaqələndirilmiş ekoloji problemlər şagirdlərin tədqiqat suallarının formalaşdırılmasına marağını xüsusilə artırır. Su və torpaq çirklənməsi, bitkilərin inkişafına ekoloji amillərin təsiri, biomüxtəlifliyin dəyişməsi və antropogen fəaliyyətin ekosistemlərə təsiri kimi mövzular şagirdlərə gündəlik həyatda müşahidə etdikləri hadisələri elmi problemə çevirmək imkanı vermişdir. Belə kontekstlərdə

şagirdlərin sualları yalnız “nədir?” və “hansıdır?” tipli faktoloji suallarla məhdudlaşmamış, “nə üçün?”, “necə?”, “hansı amilin təsiri ilə?” və “bu təsiri necə yoxlamaq olar?” istiqamətinə keçmişdir.

Alınmış nəticələr göstərir ki, müəllimin fasilitator mövqeyi tədqiqat suallarının qurulması bacarığının inkişafında mühüm əhəmiyyət daşıyır. Müəllimin birbaşa düzgün sualı təqdim etməsi qısa müddətdə nəticə versə də, şagirdin müstəqil sual yaratmaq imkanını məhdudlaşdıra bilər. Əksinə, istiqamətləndirici suallar, nümunələrin müqayisəsi, meyar əsaslı rəy və təkrar sualformalaşdırma fəaliyyətləri şagirdin öz sualını təhlil etməsinə və təkmilləşdirməsinə imkan verir. Bu baxımdan müəllim nəzarət edən deyil, tədqiqat prosesini təşkil edən və şagirdin elmi düşünməsini istiqamətləndirən fasilitator kimi çıxış etməlidir.

Tədqiqat nəticələrinin digər mühüm aspekti tədqiqat sualı qurmaq bacarığı ilə yüksək səviyyəli idraki fəaliyyətlər arasındakı əlaqədir. Şagird konkret bioloji hadisəni araşdırmaq üçün sual hazırlayarkən məlumatı analiz edir, dəyişənləri seçir, mümkün səbəb-nəticə əlaqələrini qiymətləndirir və araşdırmanın nəticələrini əvvəlcədən təsəvvür edir. Belə fəaliyyətlər şagirdin yalnız bioloji biliklərinin deyil, həm də analitik, tənqidi və yaradıcı düşünmə bacarıqlarının inkişafına şərait yaradır. Bu səbəbdən tədqiqat sualının qurulması biologiya dərslərində yüksək səviyyəli düşünmə bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi üçün praktik pedaqoji vasitə kimi qiymətləndirilə bilər[5].

Nəticələr ümumilikdə göstərir ki, tədqiqat suallarının qurulması bacarığı birdəfəlik tapşırıq vasitəsilə deyil, ardıcıl və mərhələli təlim nəticəsində daha səmərəli formalaşır. Müşahidədən problem müəyyənləşdirməyə, problemdən tədqiqat sualına, sualdan fərziyyəyə və nəhayət sübut əsaslı nəticəyə keçidi əhatə edən fəaliyyətlər şagirdlərdə elmi araşdırmanın məntiqi strukturunu formalaşdırır. Bu baxımdan biologiya müəllimlərinə müxtəlif mövzularda müntəzəm olaraq açıq tipli tədqiqat tapşırıqlarından, problem situasiyalarından, eksperimental fəaliyyətlərdən və reflektiv qiymətləndirmədən istifadə etmək tövsiyə olunur.

Beləliklə, tədqiqat suallarının qurulmasının sistemli şəkildə öyrədilməsi biologiya dərslərinin tədqiqat yönümlülüyünü artırır, şagirdlərin elmi savadlılığını gücləndirir və onların müstəqil problem qoymaq bacarığını inkişaf etdirir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, keyfiyyətli tədqiqat sualı yalnız araşdırmanın başlanğıc nöqtəsi deyil, həm də şagirdin düşünmə istiqamətini, istifadə edəcəyi metodları və toplayacağı sübutların xarakterini müəyyən edən metodoloji vasitədir. Buna görə biologiya təhsilində tədqiqat suallarının qurulması bacarığının məqsədyönlü inkişafı şagirdlərin gələcək elmi və peşə fəaliyyətinə hazırlığının mühüm komponentlərindən biri kimi nəzərdən keçirilməlidir.

Nəticə

Aparılan araşdırmanın nəticələri göstərir ki, biologiya dərslərində tədqiqat suallarının qurulması bacarığının sistemli və məqsədyönlü şəkildə inkişaf etdirilməsi şagirdlərin elmi təfəkküründün formalaşmasına, müstəqil problem qoyma və araşdırma aparma imkanlarının genişlənməsinə əhəmiyyətli töhfə verir. Tədqiqat sualının

düzgün formalaşdırılması şagirdə bioloji hadisəni sadəcə təsvir etməkdən daha yüksək idraki fəaliyyət səviyyəsinə keçməyə, səbəb-nəticə əlaqələrini müəyyənləşdirməyə, dəyişənləri ayırmağa və əldə edilə bilən sübutlar əsasında nəticə çıxarmağa imkan yaradır.

Müəyyən edilmişdir ki, tədqiqatəsaslı, probleməsaslı və əməkdaşlığa əsaslanan təlim strategiyalarının tətbiqi şagirdlərin ilkin, geniş və təsviri suallarını daha konkret, yoxlanıla bilən və elmi baxımdan əsaslandırılmış tədqiqat suallarına çevirməsinə şərait yaradır. Xüsusilə müşahidə, eksperiment, problem situasiyalarının təhlili, qrup müzakirələri, qarşılıqlı qiymətləndirmə və refleksiya kimi fəaliyyətlər tədqiqat sualının keyfiyyətinin yüksəldilməsində səmərəli vasitələr kimi çıxış edir.

Nəticə etibarilə, biologiya müəlliminin əsas vəzifələrindən biri şagirdlərə hazır suallar və cavablar təqdim etməkdən daha çox, onların özlərinin elmi baxımdan əhəmiyyətli suallar irəli sürməsinə şərait yaratmaqdır. Bu yanaşma şagirdlərin tənqidi və yaradıcı düşünmə, problemhəll etmə, elmi kommunikasiya, məlumatların təhlili və sübutlara əsaslanan qərarvermə bacarıqlarının kompleks inkişafını təmin edir. Tədqiqat suallarının qurulması bacarığının biologiya təlimində ardıcıl şəkildə formalaşdırılması nəticə etibarilə elmi savadlı, müstəqil düşünən və real bioloji-ekoloji problemlərin həllində fəal iştirak edə bilən şəxsiyyətin yetişdirilməsinə xidmət edir.

İstinadlar

1. Cetin, P. S. (2021). Effectiveness of inquiry based laboratory instruction on developing secondary students' views on scientific inquiry. *Journal of Chemical Education, 98*(3), 756–762.
2. Dmoshinskaia, N., Gijlers, H., & de Jong, T. (2021). Giving feedback on peers' concept maps in an inquiry learning context: The effect of providing assessment criteria. *Journal of Science Education and Technology, 30*, 420–430..
3. Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based chemistry education: A systematic review. *Studies in Science Education, 60*(2), 251–313.
4. Kim, J. S., & Choi, S. Y. (2025). The effects of scientific argument-generation inquiry learning on students' question-generation ability, science achievement, and program perception in elementary science classes. *Biology Education, 53*(1), 58–67.
5. Strat, T. T. S., Henriksen, E. K., & Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based science education in science teacher education: A systematic review. *Studies in Science Education, 60*(2), 191–249.
6. Zhang, Z., & Lamb, M. (2025). Teachers' questioning practices in Chinese secondary biology classrooms. *International Journal of Science and Mathematics Education, 23*, 987–1012.

FUNDAMENTALS OF PRONUNCIATION

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: Pronunciation, phonetics, phonology, vowels, consonants.

Pronunciation is one of the central components of spoken language. It determines how linguistic forms are realized in speech and influences the extent to which a speaker's message can be understood by others. In foreign language education, pronunciation is closely associated with speaking proficiency because learners need to produce speech that is sufficiently clear and comprehensible for effective interaction.

Traditional approaches to language teaching have often placed greater emphasis on grammar and vocabulary than on pronunciation. However, contemporary perspectives on language education increasingly recognize pronunciation as an integral part of communicative competence. A learner may have extensive lexical knowledge and grammatical accuracy but still encounter communication difficulties when pronunciation interferes with intelligibility.

The study of pronunciation involves both **segmental features**, such as vowels and consonants, and **suprasegmental features**, such as stress, rhythm, intonation, and connected speech. Understanding the interaction between these features provides an important foundation for effective pronunciation teaching and learning.

The Concept of Pronunciation

Pronunciation can be defined as the way in which sounds and sound patterns are produced and perceived in a particular language. It involves the articulation of speech sounds, their organization into syllables and words, and the prosodic patterns used in connected speech.

Pronunciation is closely related to phonetics and phonology. **Phonetics** focuses primarily on the physical production, transmission, and perception of speech sounds, whereas **phonology** examines how sounds function within a particular linguistic system. Both fields contribute to an understanding of how pronunciation operates in spoken English.

For language learners, pronunciation knowledge involves not only knowing how individual sounds are articulated but also understanding how sounds change and interact in natural speech.

Segmental Features of English Pronunciation

Segmental features refer to individual consonants and vowels that form the basic sound system of English.

English contains a range of consonantal sounds that differ according to their place and manner of articulation as well as voicing. Learners may experience difficulties with sounds that do not exist in their first language. For example, the English dental fricatives can present challenges for learners whose first languages lack equivalent sounds.

Accurate consonant production is important because replacing one consonant with another may result in a different word and consequently affect meaning. Pronunciation instruction should therefore help learners identify articulatory differences and develop greater control over problematic sounds.

Vowels

English vowel systems can be particularly challenging for foreign language learners because vowel distinctions may not correspond directly to those in their first language. English includes both monophthongs and diphthongs, and differences in vowel quality and length can contribute to lexical contrasts.

Learners need to develop awareness of vowel articulation, including tongue position, lip position, and vowel duration. Perception practice is also important because learners must be able to distinguish sounds before they can consistently produce them accurately.

Suprasegmental Features

Pronunciation extends beyond individual sounds. Suprasegmental features operate across syllables, words, phrases, and sentences and play a major role in the organization of spoken English.

Word Stress

Word stress refers to the relative prominence given to one syllable within a word. Stress may involve greater loudness, changes in pitch, vowel quality, and duration. Incorrect word stress can sometimes make a familiar word difficult for listeners to recognize.

Developing awareness of stress patterns is therefore important for both speaking and listening. Learners who understand common stress patterns can produce words more naturally and recognize them more efficiently in connected speech.

Sentence Stress

Sentence stress concerns the relative prominence of words within an utterance. Content words are commonly more prominent than many grammatical words, although stress may shift depending on the speaker's communicative intention.

Sentence stress can also signal information structure. By changing the location of prominence, speakers can highlight new, contrastive, or particularly important information.

Rhythm

English is commonly described as having stress-based rhythmic characteristics. In connected speech, stressed syllables tend to receive greater prominence, while unstressed syllables may be reduced.

For learners, understanding rhythm can contribute to more natural speech production and improve listening comprehension. Pronunciation instruction should therefore incorporate rhythm into communicative activities rather than treating it as an isolated theoretical concept.

Intonation

Intonation refers to patterns of pitch movement across spoken utterances. It contributes to the expression of meaning, attitude, emotion, and communicative intention.

Different intonation patterns may help listeners distinguish between statements, questions, emphasis, uncertainty, surprise, and other pragmatic meanings. Consequently, intonation represents an important component of effective oral communication.

For foreign language learners, pronunciation is particularly important because difficulties in sound production or prosody can influence intelligibility, fluency, listening comprehension, and communicative competence. Effective pronunciation instruction should therefore provide learners with both theoretical knowledge and opportunities for meaningful oral practice.

The ultimate objective of pronunciation teaching should be the development of clear, comprehensible, and communicatively effective speech. A balanced approach that combines phonetic awareness, perception, controlled practice, and authentic communication can provide learners with a strong foundation for successful spoken interaction.

DÖVLƏTMƏMMƏD AZADİNİN MÜHİTİ VƏ HƏYATI

Prof. Dr. Elman Guliyev

Azerbaycan, Bakü

Azerbaycan Dövlet Pedagoji Üniversitesi

Türkoloji merkezin Türk edebiyatı bölümünün başkanı

Orcid: 0000-0001-5413-9479

elman.guliyev1958@gmail.com

Özet

Azadinin ərəb və fars dillərini bilməsi onun Şərq ədəbiyyatının tanınmış simaları olan Nizami, Sədi, Hafiz, Ö.Xəyyam, Füzuli, Nəvai və s. yaradıcılıqları ilə yaxından tanışolmasına imkan vermişdir.Dövlətməmməd Azadi ilə bağlı tərcümeyi-hal xarakterli məlumatlara Məxtumqulu Fəraqinin şeirlərində çox rast gəlmək mümkündür. “Can eylədi”, “Tərk eyləmə bu məkanı”, “Abdulla”,“Şirqazi”, “Haqq üçün” və s. şeirlərində Fəraqi şahid olduğu, gözü ilə gördüyü hadisələri qələmə almışdır. Ona görə də Azadinin həyatının ayrı-ayrı detalları, ailə faciələri və s. barədə bu tipli nümunələrdən əldəolunan məlumatları dəqiq və inandırıcı hesab etmək olar. Bu şeirlərə istinadən Azadinin bir oğlunun itkin düşdüyünü, digər bir oğlunun vaxtsız öldüyünü, qızı və gəlininin eyni gündə vəfat etdiyini, şairin ömrünün son illərinin gərgin və əzablı keçdiyini söyləmək olar.

Anahtar kelimeler: Dövlətməmməd Azadİ həyat, yaradıcılıq, oğul, mühit

THE ENVIRONMENT AND LIFE OF THE STATE AZADI

Summary

Azadi's knowledge of Arabic and Persian languages made him famous figures of Eastern literature such as Nizami, Sadi, Hafiz, O. Khayyam, Fuzuli, Navai, etc. allowed him to become familiar with his creations. Biographical information about Davlatmommad Azadi can be found in the poems of Makhtumgulu Faragi. "Jan eylaydi", "Don't leave this place", "Abdulla", "Shirgazi", "For the truth" and others. in his poems, Faraqi wrote down the events he witnessed and saw with his own eyes. Therefore, separate details of Azadi's life, family tragedies, etc. information obtained from such samples can be considered accurate and reliable. Referring to these poems, it can be said that one of Azadi's sons went missing, another son died prematurely, his daughter and daughter-in-law died on the same day, and the last years of the poet's life were tense and painful.

Key words: Devletmommed Azadi, life, creativity, son, environment

GİRİŞ

Dövlətməmməd Azadi klassik türkmən ədəbiyyatının görkəmli sənət- karlarından biridir. Arxiv və ayrı-ayrı sənədlərdə onun həyat və yaradıcılığı barədə məlumatlar olduqca azdır. Lakin şairin tərcümeyi-halı, yaradıcılığı ilə əlaqədar fikirlərin formalaşmasında həmin sənədlərlə yanaşı, özünün və oğlu Məxtumqulunun əsərlərindən, o cümlədən haqqında mövcud olan xalq rəvayət- lərindən geniş istifadə edilmişdir. Dövlətməmməd Azadi 1695-ci ildə Gərgəz tayfasının rəhbəri zəmanəsinin savadlı və mütərəqqi fikirli insanı, həm də şairi kimi tanınınanYonaçinin ailəsində dünyaya göz açmışdır. Dövlətməmməd onun adı, Azadi isə təxəllüsüdür. Azadinin atasının adını daşıyan üçüncü oğlu Məxtumqulu Fəraqi şeirlərinin birində bu barədə belə yazır:

Rəsulullah qoymuş adın Azadi,
Atam Dövlətməmməd molla haqq üçün.

O, Ətrak-Gürgen mahalında həm də Qarrı molla adı ilə də tanın- mışdır. Dövlətməmməd Azadi ilk təhsilini doğulduğu kənddə almış, mədrəsə təhsilini isə Xivədə başa vurmuşdur. Ehtimal olunur ki, Məxtumqulu Fəraqi də Xivədə atasının oxuduğu eyni mədrəsədə təhsil almışdır. Xivə mədrəsəsində oxuduğu illərdə dəqiq və humanitar elmlərəyiyələnmiş, ərəb, fars və cığatay dillərini dərindən mənimsəyə bilmişdir. Mədrəsə təhsilini tamamladıqdan sonra doğma kəndinə qayıtmış və orada məktəb müəllimi işləmişdir. Azadinin ərəb və fars dillərini bilməsi onun Şərq ədəbiyyatının tanınmış simaları olan Nizami, Sədi, Hafiz, Ö.Xəyyam, Füzuli, Nəvai və s. yaradıcılıqları ilə yaxından tanışolmasına imkan vermişdir. Digər tərəfdən bu dillərin köməyi ilə o, İslam dini və mədəniyyətinə aid mənbələri də mənimsəmişdir. Təbii ki,bütün bunlar Dövlətməmməd Azadinin dünyagörüş və yaradıcılığına təsirsiz ötüşməmiş, yaradıcılığındakı Şərq ənənəviliyinin təzahüründə məhz bu təsirin əhəmiyyətli rolu olmuşdur. Onunla bağlı rəvayətlərdə göstərilir ki, Dövlətməmməd Azadi öz həmyaşıdlarından ağlına, fərasə-tinə və savadına görə xüsusi şəkildə fərqlənmiş, elm öyrənməyə həmişəsəy etmişdir. O, öz övladlarını da elmli görmək istəmiş, onların təhsil alması üçün heç nəyi əsirgəməmişdir. Bu fikirlərin təsdiqini biz Döv- lətməmməd Azadinin şair oğlu Məxtumqulu Fəraqinin “elm öyrədən ustad, qibləm pədərdir” misralarından aydın görə bilərik.

Məxtumqulu Fəraqinin “Atamın” adlı şeirində Dövlətməmməd Azadi ilə bağlı bir çox suallara cavab tapmaq mümkündür. O, vardöv- lətə baş əyməyən, bu dünyada “axirət axtarışlarında olan”, dindar və pak əməl sahibi kimi tanınan atasının obrazının belə təqdim edir:

Könlünü dövlətə-vara əymədi, Bu cahanın badəsinə dəymədi, Əski şal geyindi, atlas geymədi, Axirət eviymiş qəsdi atamın.

Dedi: Dünya fani, ömrə vəfa yox, Gündüz oruc, axşam namaz, səfa yox,Xalislərə, müxlislərə mehri çox, Peyğəmbər dostudur, dostu atamın.

Ümumiyyətlə, Dövlətməmməd Azadi ilə bağlı tərcümeyi-hal xa- rakterli məlumatlara Məxtumqulu Fəraqinin şeirlərində çox rast gəl- mək mümkündür. "Can eylədi", "Tərk eyləmə bu məkanı", "Abdulla","Şirqazi", "Haqq üçün" və s. şeirlərində Fəraqi şahid olduğu, gözü ilə gördüyü hadisələri qələmə almışdır. Ona görə də Azadinin həyatının ayrı-ayrı detalları, ailə faciələri və s. barədə bu tipli nümunələrdən əldəolunan məlumatları dəqiq və inandırıcı hesab etmək olar. Bu şeirlərə is-tinadən Azadinin bir oğlunun itkin düşdüyünü, digər bir oğlunun vaxt-sız öldüyünü, qızı və gəlininin eyni gündə vəfat etdiyini, şairin ömrününson illərinin gərgin və əzablı keçdiyini söyləmək olar. Kifayət qədər etibarlı mənbə rolunu oynayan bu şeirlərdə bir övlad kimi Məxtumqulu Fəraqinin hiss və həyəcanlarını da görməmək mümkün deyil. Məsələn,"Can eylədi" şeirində Fəraqi ata itkisindən doğan kədər və üzüntülərinibelə ifadə edir:

Dörd yanımı sel bürüyüb, qalmışam yalqız, mənəmAtam-Azad köçüb getdi, qalmadı Kəbəm-anam, Mat olub, ötməz daha, bağ içrə əsirdir sinəm İbrahimtək nar içrə mərdi-mərdan sərmənəm,
Bizi oda salıb fələk, narını reyhan eylədi.

Bir rəvayətə görə Dövlətməmməd Azadinin 18, başqa bir rəvayətə görə isə 11 övladı olduğu bildirilir. Bütün övladlarına məhəbbətli olan Azadi Məmmədsəfa və Abdulladan sonra dünyaya gəlmiş üçüncü oğluMəxtumqulunun gələcəyinə daha çox ümidlər bəsləmişdir. Dövlət-məmməd Azadi atasının adını daşıyan oğlunun sənətini yüksək qiymət-ləndirmiş, onunla fəxr etmişdir.

Dövlətməmməd Azadi 1760-cı ildə 65 yaşında vəfat etmişdir. Bu fakt bir sıra mənbələrlə yanaşı M.Fəraqinin "Atamın" adlı şeirində də təsdiqini tapır:

Altmış beşdə novruz günü, luv ili, Durdu əcəl, yolun kəsdi atamın.Bu dünyanın işi beləymiş bəli, Ömrünün yarpağı əsdi atamın.

Lakin qeyd etməliyik ki, şeirin Azərbaycan dilinə tərcümə prosesin-də birinci misradakı "altmış beşdə" sözlərinin səhv olaraq "altmış yaş-da" şəklində ifadə olunması Dövlətməmməd Azadinin tərcümeyi-halı ilə bağlı müəyyən təhriflərə gətirib çıxarmışdı. Buna görə də bu fakta əsaslananlar onun 65 il deyil (1695-1760), 60 il (1700-1760) yaşadığını iddia etmiş və Dövlətməmməd Azadinin 1700-cü ildə anadan olduğunuəsaslandırmağa çalışmışlar. Qeyd edək ki, türkmən tədqiqatçıları luv ilini 12 illik dövriyyəyə əsasən 1748, 1760, 1772 və s. illərə aid etsələrdə, şeirdə ifadə olunan "novruz günü" ilə bağlı luv ilinin məhz 1760-cıil olduğunu təsdiqləmişlər. 1760-cı il isə 65 yaşlıDövlətməmməd Aza-dinin vəfat tarixi hesab olunur. Buna görə də Dövlətməmməd Azadinin1695-1760-cı illər arasında yaşaması daha inandırıcı görünür.

KAYNAKLAR

1. Türkmən nəğmələri. Bakı, 1989.
2. Türkmən hekayələri. Bakı, 1962.
3. Məxdumqulu. Şeirlər. Bakı, 2006.
4. Dövlətməmməd Azadi. Seçilmiş əsərləri. Bursa, Uludağ Univer-siteti Basımevi, 2012

ATIK TRAVERTEN TOZU İLE STABİLİZE EDİLEN YOL TABAN ZEMİNLERİN DAYANIM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

İnş. Müh. Vesile Dilşad ARSLAN[1]/ Dr. Öğr. Üyesi Kaan YÜNKÜL[2]/ Doç. Dr. Ferit YAKAR[3]

[1] Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, arslan.dilsad771@gmail.com, 0009-0000-7520-2852

[2]Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, kaan.yunkul@gop.edu.tr, 0000-0003-1264-237X

[3] Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, ferit.yakar@gop.edu.tr, 0000-0002-9045-3841

Özet

Son yıllarda atık malzemelerin zayıf yol taban zeminlerin stabilizasyonunda değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar popülerliğini sürdürmektedir. Çimento ve kireç gibi geleneksel kimyasal katkı malzemeleri ile karşılaştırıldığında atık malzemeler; daha ekonomik ve sürdürülebilirdir. Ayrıca, bu malzemelerin stabilizasyonda kullanılması ile karbon emisyonu azaltılmakta ve doğal kaynaklarının tüketimi de sınırlandırılmaktadır. Yapılan bu çalışma kapsamında; madencilik faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atık bir malzeme olan traverten tozunun zayıf killi yol taban zeminlerin stabilizasyonuna etkisi araştırılmıştır. %0 ile %30 arasında değişen traverten tozu oranları ile stabilize edilmiş yüksek plastisiteli killi zeminleri üzerine bir dizi tek eksenli basınç (UCS) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Stabilize edilmiş ve edilmemiş numuneler Standart Proctor deneyinden elde edilen optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık koşullarında hazırlanmış ve 7 gün süreyle kür edilmiştir. Traverten tozu oranının zeminin gerilme-birim şekil değiştirme davranışı ve tek eksenli basınç dayanımı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Tek eksenli basınç dayanımı %25 traverten oranına kadar artış gösterirken; bu kritik değerden sonra ise traverten tozu oranın artmasına bağlı olarak dayanım azalmıştır. Bu nedenle mühendislik tasarımları için optimum oran %25 olarak belirlenmiştir. Dayanımdaki iyileşmenin traverten tozunun dolgu etkisi, kil partiküllerinin flokülasyonu ve traverten daneleri ile kil partikülleri arasındaki kenetlenmenin artmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, atık traverten tozunun zayıf killi yol taban zeminlerin mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesinde alternatif bir stabilizasyon malzemesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: traverten, atık malzeme, tek eksenli basınç dayanımı, zemin stabilizasyonu

INVESTIGATION OF THE STRENGTH PERFORMANCE OF ROAD SUBGRADE SOILS STABILIZED WITH WASTE TRAVERTINE POWDER

Abstract

In recent years, the utilization of waste materials for the stabilization of weak road subgrade soils has continued to attract popular research interest. Compared to traditional chemical additives such as cement and lime, waste materials are more economical and sustainable. Furthermore, utilizing these materials for soil stabilization contributes to reduce carbon emissions and limits consumption of natural resources. In the present study, the effect of the travertine powder, a waste material generated from mining activities, on the stabilization of weak clayey subgrade soils was investigated. A series of unconfined compressive strength (UCS) tests were conducted on high-plasticity clayey soils stabilized with travertine powder at contents ranging from 0% to 30%. Both the stabilized and unstabilized samples were prepared at the optimum water content and maximum dry unit weight obtained from Standard Proctor test and were cured for 7 days. The results demonstrated that the travertine powder content influenced the stress-strain behavior and unconfined compressive strength of the soil. The unconfined compressive strength increased with the travertine powder ratio up to 25%; however, beyond this critical value, the strength decreased as the ratio continued to increase. Therefore, the optimum travertine powder content of 25% was determined for engineering design. The improvement in strength was attributed to the filler effect of the travertine powder, the flocculation of clay particles, and enhanced interlocking between travertine powder and clay particles. The results indicate that waste travertine powder can be considered an alternative stabilization material for improving the strength characteristics of weak clayey subgrade soils.

Keywords: travertine, waste material, unconfined compressive strength, soil stabilization

TRAFİK KAZALARINDA YOL VE ÇEVRE UNSURLARININ BİRLİKTE GÖRÜLME ÖRÜNTÜLERİ: SİVAS İL MERKEZİ ÖRNEĞİ

Doç. Dr. Ferit YAKAR1

1Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ferit.yakar@gop.edu.tr,

ORCID: 0000-0002-9045-3841

Özet

Trafik kazalarının önlenmesine yönelik mühendislik müdahaleleri, kazaya eşlik eden yol ve çevre unsurlarının hangi bileşimlerde bir araya geldiğinin bilinmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada Sivas il merkezinde 2020-2024 döneminde meydana gelen 4.135 ölümlü-yaralanmalı trafik kazası (92 ölü, 6.245 yaralı) iki aşamalı bir yaklaşımla incelenmiştir. Birinci aşamada yatay güzergâh (düz/viraj), düşey güzergâh (eğimli/eğimsiz) ve kavşak varlığı değişkenlerinden sekiz geometrik kombinasyon oluşturulmuş, her kombinasyonun kaza frekansı, payı ve ölümlülük oranı hesaplanmış, kombinasyon ile kaza oluş türü arasındaki ilişki ki-kare bağımsızlık testi ve düzeltilmiş standartlaştırılmış artıklar aracılığıyla değerlendirilmiştir. İkinci aşamada aynı veri kümesi üzerinde Apriori algoritması kullanılarak ışık durumu, yol yüzeyi, yol sınıfı, sinyalizasyon, aydınlatma, yaya geçidi özelliği ve araç sayısı gibi unsurların birlikte görülme örüntüleri destek, güven ve lift ölçütleriyle kural biçiminde çıkarılmış, analiz yerleşim yeri içi (3.727) ve yerleşim yeri dışı (408) kazalar için ayrı yürütülmüştür. Bulgular, kazaların %75,2'sinin düz ve eğimsiz kesimlerde toplandığını, buna karşılık virajlı kesimlerin toplam kazaların yalnızca %6,9'unu oluşturmasına rağmen bu kesimlerdeki ölümlülük oranının %4,53 ile düz kesimlerdeki %1,77 değerinin yaklaşık 2,6 katına ulaştığını göstermiştir. Geometrik kombinasyon ile kaza oluş türü arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($p<0,001$; Cramér $V=0,262$) ve 48 hücrenin 34'ünde beklenen değerden anlamlı sapma belirlenmiştir. Birliktelik kuralları bu sapmaları açıklayıcı örüntüler sunmuş, örneğin sinyalizasyonsuz yaya geçidi bulunan noktalardaki tek araçlı kazaların %88,5'inin yayaya çarpma biçiminde gerçekleştiği (lift=4,23) belirlenmiştir. Veri seti yalnızca ölümlü ve yaralanmalı kazaları kapsamakta, maddi hasarlı kazaları içermemektedir. Sonuçlar, kaza sıklığı ile kaza şiddetinin farklı geometrik konfigürasyonlarda yoğunlaştığını ortaya koymakta ve iyileştirme önceliklerinin yalnızca kaza sayısına göre belirlenmesinin yanıltıcı olabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Trafik kazası, yol geometrisi, birliktelik kuralı madenciliği, Apriori algoritması, kaza şiddeti

CO-OCCURRENCE PATTERNS OF ROAD AND ENVIRONMENTAL FACTORS IN TRAFFIC CRASHES: THE CASE OF SIVAS CITY CENTRE

Assoc. Prof. Dr. Ferit YAKAR1

1Tokat Gaziosmanpaşa University, Department of Civil Engineering, ferit.yakar@gop.edu.tr,

ORCID: 0000-0002-9045-3841

Abstract

Preventive engineering measures require knowing which combinations of road and environmental elements accompany crashes. In this study, 4,135 fatal and injury traffic crashes (92 fatalities, 6,245 injuries) that occurred in the city centre of Sivas between 2020 and 2024 were examined through a two-stage approach. In the first stage, eight geometric combinations were formed from horizontal alignment (tangent/curve), vertical alignment (level/graded) and the presence of an intersection; the crash frequency, share and fatality rate of each combination were computed, and the relationship between combination and crash type was evaluated using the chi-square test of independence and adjusted standardised residuals. In the second stage, the Apriori algorithm was applied to the same dataset to extract, as rules with support, confidence and lift, the co-occurrence patterns of elements such as light condition, road surface, road class, signalisation, lighting, pedestrian crossing type and number of vehicles; the analysis was carried out separately for crashes inside (3,727) and outside (408) built-up areas. The findings show that 75.2% of the crashes are concentrated on tangent and level sections, whereas curved sections account for only 6.9% of all crashes yet display a fatality rate of 4.53%, about 2.6 times the 1.77% observed on tangent sections. The association between geometric combination and crash type was found to be statistically significant ($p<0.001$; Cramér $V=0.262$), with significant departures from expected values in 34 of 48 cells. The association rules provided patterns explaining these departures; for example, 88.5% of single-vehicle crashes at unsignalised pedestrian crossings were pedestrian collisions (lift=4.23). The dataset covers only fatal and injury crashes and does not include property-damage-only crashes. The results show that crash frequency and severity concentrate in different geometric configurations, and that setting improvement priorities on crash counts alone may be misleading.

Keywords: Traffic crash, road geometry, association rule mining, Apriori algorithm, crash severity

ÇEŞİTLİ SINIR KOŞULLARI ALTINDA KİRİŞLERİN DOĞAL TİTREŞİM ANALİZİ

Dr. Öğretim Üyesi, Fethullah USLU [1]

[1]Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, fethullah.uslu@dpu.edu.tr,

0000-0001-8057-5119

Özet

Bu çalışmada, farklı geometrik özelliklere ve sınır koşullarına sahip çelik kirişlerin serbest titreşim davranışları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapısal tasarım süreçlerinde rezonans kontrolünü sağlamak ve yapının dinamik kararlılığını korumak amacıyla IPE200, IPE300 ve IPE400 çelik profilleri ile uzunlukları 3 metre ile 6 metre arasında değişen kiriş boyutları ele alınmıştır. Kirişlerin birinci moda ait doğal titreşim frekansları; Ankastre-Ankastre (C-C), Ankastre-Basit Mesnet (C-S), Basit Mesnet-Basit Mesnet (S-S) ve Ankastre-Serbest (C-F) olmak üzere dört farklı sınır şartı altında hesaplanmıştır. Euler-Bernoulli kiriş teorisi temel alınarak analitik çözümler elde edilmiş, ardından ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak sayısal modal analizler gerçekleştirilmiştir. Analitik ve sayısal yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, iki yaklaşım arasındaki bağıl hatanın %1'in altında kaldığı ve ANSYS sonlu elemanlar modellemenin yüksek uyum sağladığı görülmüştür. Parametrik analiz sonucunda, mesnet rijitliğinin artmasıyla yapının genel dinamik rijitliğinin ve buna bağlı olarak doğal titreşim frekansının yükseldiğini göstermektedir. İncelenen tüm durumlar arasında en yüksek frekans Ankastre-Ankastre mesnet koşulunda, en düşük frekans ise Ankastre-Serbest durumunda elde edilmiştir. Ayrıca, kiriş boyunun artması yapının esnekliğini artırarak doğal frekans değerlerini karesel oranda ($1/L^2$) düşürmektedir. Diğer taraftan, daha büyük profil kesitlerinin seçilmesi kütle artışına yol açsa da, kesit atalet momentindeki belirgin artış sayesinde doğal frekansları önemli ölçüde yükseltmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, mühendisler için rezonans riskini önleme doğrultusunda analitik ve sayısal bir rehber niteliği taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Çelik profil, doğal titreşim, sınır koşulları, modal analiz, sonlu elemanlar yöntemi, Euler-Bernoulli kiriş teorisi.

NATURAL VIBRATION ANALYSIS OF BEAMS UNDER VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS

Abstract

This study investigates in detail the free vibration behavior of steel beams with different geometric properties and boundary conditions. To ensure resonance control and maintain the dynamic stability of the structure in structural design processes, beam sizes ranging from 3 to 6 meters using IPE200, IPE300, and IPE400 steel profiles were considered. The natural vibration frequencies of the beams in the first mode were calculated under four different boundary conditions: Clamped - Clamped (C-C), Clamped - Simply Supported (C-S), Simply Supported - Simply Supported (S-S), and Clamped - Free (C-F). Analytical solutions were obtained based on Euler-Bernoulli beam theory, followed by numerical modal analyses using ANSYS finite element software. Comparing the results obtained from analytical and numerical methods, it was observed that the relative error between the two approaches remained below 1%, and ANSYS finite element modeling provided a high degree of agreement. The parametric analysis results show that increasing the support stiffness increases the overall dynamic stiffness of the structure and, consequently, the natural vibration frequency. Among all the cases examined, the highest frequency was obtained in the Clamped – Clamped condition, and the lowest frequency was obtained in the Clamped - Free condition. Furthermore, increasing the beam length increases the flexibility of the structure, reducing the natural frequency values by a factor of the square of the square ($1/L^2$). On the other hand, although choosing larger profile sections leads to an increase in mass, the significant increase in the section moment of inertia significantly increases the natural frequencies. In conclusion, this study serves as an analytical and numerical guide for engineers in preventing resonance risk.

Keywords: Steel profile, natural vibration, boundary conditions, modal analysis, finite element method, Euler-Bernoulli beam theory.

1. GİRİŞ

Yapılar dış kuvvetler sonucunda kendilerine has doğal frekanslarda titreşme eğilimi gösterirler. Rezonans durumunda ise karakteristik mod şekilleri oluşur. Bu fiziksel davranışlar matematiksel olarak modellenir. Ayrıca yapılan modal analizlerle sistemin dinamik davranışları incelenir. Bu süreçte sisteme belirli bir kuvvet veya titreşim uygulanır ve sistemin buna nasıl bir yanıt verdiği gözlemlenir. Deneysel yollarla veya bilgisayar destekli yazılımlarla yapılan bu analizlerle yapıların doğal frekansları, sönümleme kapasiteleri ve mod şekilleri belirlenmektedir. Bu doğrultuda konuyla ilgili mevcut çalışmalar incelendiğinde farklı bünye bağıntıları ve sınır koşullarının doğal frekanslar ile mod şekilleri üzerindeki etkilerini ele alan araştırmalar öne çıkmaktadır.

Bert ve Fisher, çalışmalarında doğrusal olmayan serbest titreşime maruz kalan uçları mafsallı bir kirişin kararlılık analizini yaparak sonuçları yorumlamışlardır (Bert & Fisher, 1972). Almeida ve Dias, çalışmalarında o zamanın şartlarındaki programlanabilir hesap makineleri veya mikrobilgisayarları kullanarak kiriş ve millerin serbest titreşim analizi problemini incelemişlerdir. Çalışmalarında ayrıca transfer matrisi metodunun uygulamalarını gösteren açıklayıcı örnekler sunmuşlardır (de Almeida & Dias, 1984). Hodges vd., kompozit kirişlerin doğal frekanslarını ve mod şekillerini tahmin etmeye yönelik yöntemler sunmuşlar. Kesit elastik sabitleri ve hareket denklemlerini farklı teknikler kullanarak çözmüşler ve literatürdeki verilerle doğrulamışlardır. Çalışma sonucunda kompozit kirişlerin serbest titreşim özelliklerinin rijitlik hesaplamalarında yapılan varsayımlara değiştiğini ortaya koymuşlardır (Hodges et al., 1991). Reddy, çalışmasında kirişlerin titreşimi ile birlikte eğilmesi ve burkulması için de yerel olmayan teorileri anlatmıştır. Euler-Bernoulli, Timoshenko, Reddy ve Levinson gibi mevcut kiriş teorilerini Eringen'in yerel olmayan diferansiyel bünye bağıntılarını kullanarak yeniden formüle etmiştir. Eğilme, titreşim ve burkulma problemlerinin analitik çözümleri elde edilmiştir (Reddy, 2007). Li çalışmasında fonksiyonel olarak derecelendirilmiş Timoshenko ve Euler-Bernoulli kirişlerinin statik ve dinamik davranışlarının analizine yönelik birleşik bir yaklaşım sunmuştur. Malzeme özelliklerini kiriş kalınlığı boyunca değişen fonksiyonlar olarak tanımlayıp tüm fiziksel büyüklükleri ifade edebilen tek bir dördüncü mertebeden kısmi diferansiyel denklem türetmiştir. Çalışmasında serbest titreşim karakteristikleri olan doğal frekanslar ve mod şekillerini detaylı olarak analiz etmiştir (X. F. Li, 2008). Avcar çalışmasında kare kesitli alüminyum kirişlerin serbest titreşimini Ankastre-Ankastre (C-C), Ankastre-Serbest (C-F), Ankastre-Basit Mesnetli (C-S) ve Basit Mesnetli-Basit Mesnetli (S-S) olmak üzere dört farklı sınır koşulu altında analitik ve sayısal olarak incelemiştir. Analitik çözümlerde Euler-Bernoulli kiriş teorisi ve Newton-Raphson yöntemini kullanmıştır. Geometrik özelliklerin ve farklı sınır koşullarının ilk üç moda ait doğal frekanslar üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Ayrıca, elde ettiği analitik sonuçları ANSYS yazılımı tabanlı sonlu elemanlar yöntemi (FEM) sayısal verileriyle karşılaştırmış ve her iki metodun birbiriyle yüksek bir uyum sergilediğini doğrulamıştır (Avcar, 2014). Yıldırım çalışmasında ortotropik çekirdekli sandviç kirişlerin serbest titreşim davranışları üzerindeki farklı sınır

koşullarının etkilerini incelemiştir. Sonlu elemanlar kodları MATLAB ortamında geliştirilerek ANSYS yazılım paketine entegre edilmiştir. Çalışma sonucunda, boyuna titreşimlerin baskın olduğu doğal frekanslar açısından sınır koşullarının en yüksekten en düşüğe olacak şekilde büyüklük sıralaması Ankastre-Ankastre, Ankastre-Basit Mesnetli, Basit Mesnetli-Basit Mesnetli ve Ankastre-Serbest şeklinde belirlenmiştir (Yıldırım, 2020). Li vd. ise yaptıkları çalışmada, basit mesnetli kiriş ve kolonların serbest titreşim analizi için Hamilton prensibine dayanan analitik bir çözüm sunmuşlardır. Çalışmada, enine kesme deformasyonunun ve çıtaların kirişin dinamik karakteristikleri üzerindeki belirgin etkisi incelenmiş; özellikle 5 metreden kısa kirişlerde, kiriş boyu arttıkça frekansın hızla azaldığı sonlu elemanlar analiziyle doğrulanarak gösterilmiştir (J.-L. Li & Chen, 2014).

Bu çalışmada değişken uzunluk ve kesit özelliklerine sahip çelik kirişlerin serbest titreşim davranışları; Ankastre-Ankastre (C-C), Ankastre-Serbest (C-F), Ankastre-Basit Mesnetli (C-S) ve Basit Mesnetli-Basit Mesnetli (S-S) olmak üzere dört farklı sınır koşulu altında kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Hem analitik formülasyonlar hem de sonlu elemanlar analizleriyle desteklenen bu yaklaşımla, aynı geometri ve malzemeye sahip yapı elemanlarının doğal titreşim frekanslarının ve dinamik rijitliklerinin mesnet koşullarına bağlı olarak gösterdiği değişimler sistematik olarak ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Sabit A kesit alanına sahip L uzunluğundaki çelik kirişin geometrisi Şekil 1'de gösterilmektedir.

Elastisite modülü E ve kütle yoğunluğu ρ olmak üzere Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanılarak, homojen malzeme özelliklerine ve sabit kesite sahip bu kirişin hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir (Rao, 2019; Timoshenko, 1937):

$$EI\frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4}+\rho A\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2}=0 \tag{1}$$

Bu ifadede E elastisite modülü, I kesitin atalet momenti, ρ yoğunluk, A kesit alanı, $w(x,t)$ enine yer değiştirme, x çubuk ekseni koordinatı ve t zamandır. Bu ifadedeki enine yer değiştirme aşağıdaki şekilde koordinat ve zaman bileşenlerine ayrıştırılabilir.

$$w(x,t)=\phi(x)q(t) \tag{2}$$

Bu ifadede $\phi(x)$ mod şeklini, $q(t)$ ise zamana bağlı titreşim genliğini ifade etmektedir. (2) ifadesi (1) ifadesine konulursa (3) ifadesi elde edilir.

$$EI\phi''''(x)q(t)+\rho A\phi(x)\ddot{q}(t)=0 \tag{3}$$

(3) ifadesi $EI\phi(x)q(t)$ ile bölünürse (4) ifadesi elde edilir.

$$\frac{\phi''''(x)}{\phi(x)}+\frac{\rho A}{EI}\frac{\ddot{q}(t)}{q(t)}=0 \tag{4}$$

Bu ifadede ilk terim yalnızca koordinata ve ikinci terim yalnızca zamana bağlıdır. Dolayısıyla her iki terim sabit olmak zorundadır. Bu sabiti β ile gösterecek olursak (4) ifadesinden iki ayrı diferansiyel denklem elde edilir.

$$\frac{\phi''''(x)}{\phi(x)} = \beta^4 \quad \text{ve} \quad \frac{\rho A}{EI}\frac{\ddot{q}(t)}{q(t)} = -\beta^4 \tag{5}$$

(5) ifadesindeki zamana bağlı denklem şu şekildedir.

$$\frac{\rho A}{EI}\ddot{q}(t) + \beta^4 q(t) = 0 \tag{6}$$

(6) ifadesi düzenlenirse şu şekilde olur.

$$\ddot{q}(t) + \frac{EI}{\rho A}\beta^4 q(t) = 0 \tag{7}$$

Bu ifadede zamana bağlı titreşim genliği $q(t)$'nin çarpanı doğal dairesel frekansın karesi ω^2 olarak tanımlanabilir.

$$\frac{EI}{\rho A}\beta^4 = \omega^2 \tag{8}$$

Klasik tek serbestlik dereceli titreşim denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\ddot{q}(t) + \omega^2 q(t) = 0 \tag{9}$$

Bu durumda doğal dairesel frekans şu şekilde tanımlanır.

$$\omega = \beta^2\sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \tag{10}$$

Bu ifadedeki β terimi sınır şartlarına göre değişen bir katsayıdır ve (5) ifadesindeki koordinata bağlı denklem kullanılarak genel çözümden elde edilir. İfadedeki β teriminin birimi (1/m) şeklindedir. Boyutsuz değer için uzunlukla çarpılmalıdır.

$$\omega_1 = \frac{(\beta_1 L)^2}{L^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \tag{11}$$

$$f_1 = \frac{(\beta_1 L)^2}{2\pi L^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \tag{12}$$

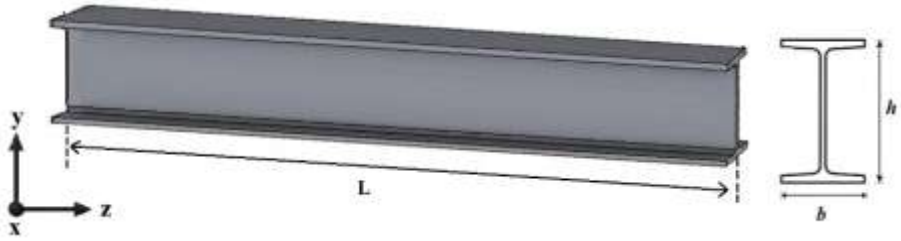
Her mod için ayrı bir β terimi tanımlanmaktadır. Genel olarak β_n olarak ifade edilen terim doğal titreşim için β_1 olarak ifade edilir. Euler–Bernoulli kirişinin ilk doğal (temel mod) frekansının hesabında kullanılan β_1 katsayısı sınır şartlarına göre değişmektedir. Sınır şartlarına göre değişen (11) ifadesindeki bu değerler Tablo 1 'de verilmektedir. Tablo 1'de verilen katsayıları kullanılarak (12) ifadesinde yerine yazılarak frekans hesaplanır.

Tablo1. Çeşitli Sınır Koşulları için üç farklı $\beta_1 L$ katsayıları

Sınır koşulu	**Kısaltma**	**Karakteristik denklem**	$\boldsymbol{\beta_1 L}$
Ankastre–Ankastre	C–C	$\cos(\beta L)\cosh(\beta L) = 1$	4.7300
Ankastre–Basit Mesnet	C–S	$\tan(\beta L) = \tanh(\beta L)$	3.9266
Basit Mesnet –Basit Mesnet	S–S	$\sin(\beta L) = 0$	3.1416
Ankastre–Serbest	C–F	$\cos(\beta L)\cosh(\beta L) = -1$	1.8751

2.1. Kiriş Geometrisi ve Malzeme Özellikleri

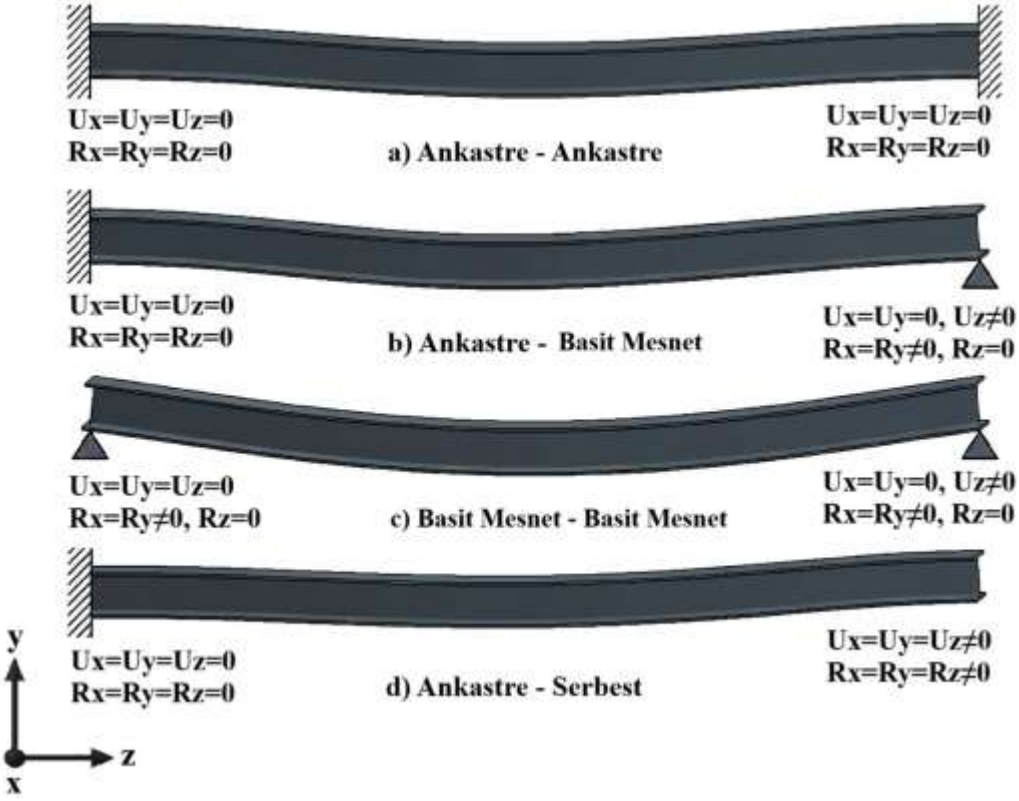
Şekil 1'de gösterildiği gibi, çalışmada kesit alanı çubuk boyunca değişmeyen L uzunluğunda ve farklı sınır şartlarındaki çubuk elemanların doğal titreşim periyotları incelenmiştir. Çubuk ekseni z olacak şekilde koordinat ekseni seçilmiştir. Bu çalışmada lineer elastik ve izotrop çelik malzemesi kullanılarak elastisite modülü E=200000 MPa ve Poisson oranı υ=0.3 kullanılmıştır.



Şekil 1. Kiriş geometrisi, kesit boyutları ve koordinat sistemi

2.2. Sınır Şartları

Mesnet koşullarının dinamik davranışa etkisini belirlemek amacıyla Ankastre–Ankastre (C-C), Ankastre–Basit Mesnet (C-S), Basit Mesnet–Basit Mesnet (S-S) ve Ankastre–Serbest (C-F) olmak üzere dört farklı sınır şartı ele alınmıştır. Kiriş uç noktalarına tanımlana serbestlik derecesi kısıtlamaları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Kirişlerin farklı sınır şartları ve uç noktalara ait serbestlik derecesi tanımlamaları

2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modal Analiz

Sonlu elemanlar programında ilk olarak kirişin geometrisi ve kesit boyutları tanımlanmaktadır. Daha sonra malzemeye ait mekanik özellikler ile birim hacim ağırlığı bilgileri sisteme aktarılmaktadır. Geometrinin tanımlanmasını takiben uygun boyutlarda sonlu eleman ağı (mesh) oluşturulmakta ve modele ait sınır şartları tanımlanır. Tanımlanan mod sayısı doğrultusunda gerçekleştirilen modal analiz sonucunda, kirişin doğal frekansları ve bunlara karşılık gelen mod şekilleri elde edilmektedir. Hesaplanan modlar arasında en düşük frekans değerine sahip olan ilk mod, yapının dinamik davranışını belirleyen 1. doğal frekans (temel mod) olarak tanımlanmaktadır. Farklı sınır şartları için bu süreç sistematik olarak tekrarlanarak ilgili dinamik parametreler elde edilmiştir.

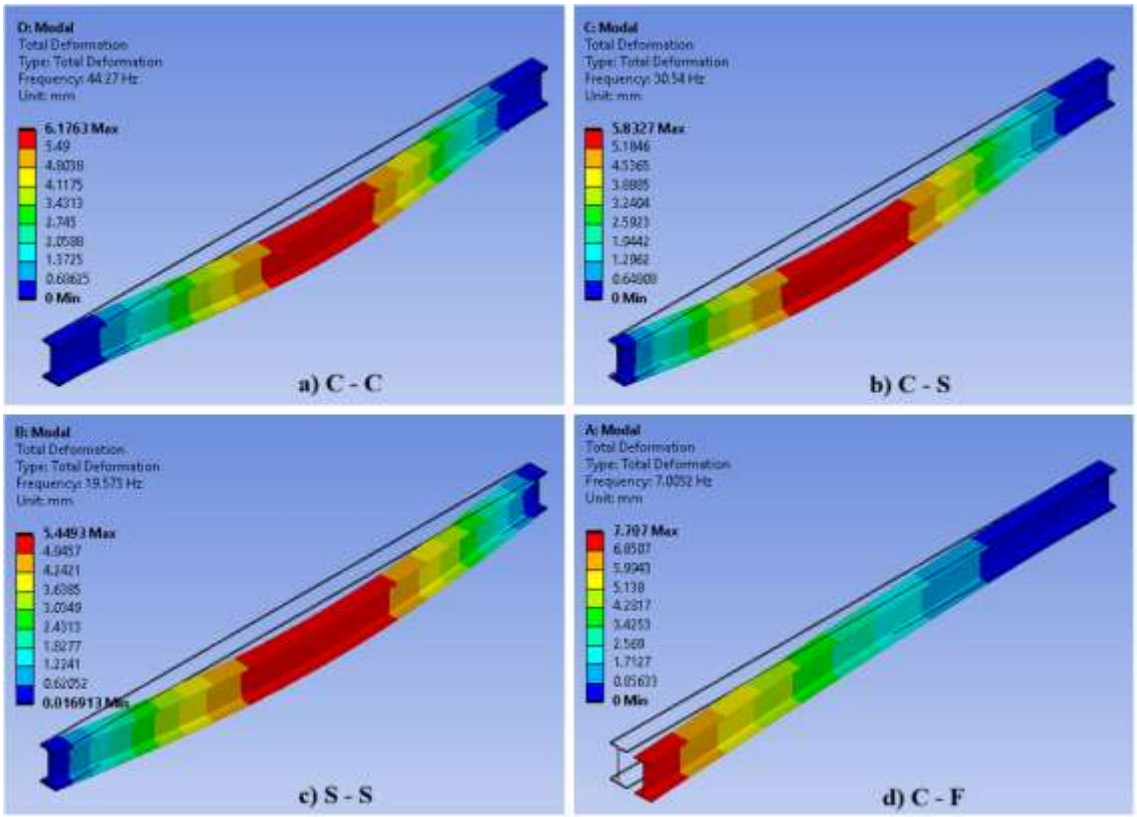
2.4. Analitik Sonuçlarla Doğrulama

Doğrulama için L/h=15 oranına sahip IPE200, IPE300 ve IPE400 kesitli çelik kirişler ele alınmıştır. Farklı sınır şartlarındaki problemler için modal analizler yapılmıştır. Hesaplanan 1. modal analiz frekansların teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tablo 2'de sunulan karşılaştırma sonuçlarında, bağıl hata oranının % -0.914 ile % -0.063 arasında değiştiği ve kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

Tablo2. Farklı sınır şartlarında IPE kesitli çelik kirişlerin 1. mod frekanslarının teorik ve ANSYS sonuçları ile doğrulanması (L/h=15)

Profil İsmi	**Analiz Yöntemi**	**Sınır Şartları**			
		C - C	**C - S**	**S - S**	**C - F**
IPE200	ANSYS (Hz)	44.27	30.54	19.573	7.003
	Teori (Hz)	44.639	30.763	19.692	7.015
	Bağıl Hata (%)	-0.833	-0.729	-0.611	-0.172
IPE300	ANSYS (Hz)	29.465	20.316	13.019	4.666
	Teori (Hz)	29.734	20.491	13.117	4.673
	Bağıl Hata (%)	-0.914	-0.863	-0.755	-0.137
IPE400	ANSYS (Hz)	19.577	13.492	8.643	3.097
	Teori (Hz)	19.717	13.588	8.698	3.099
	Bağıl Hata (%)	-0.718	-0.709	-0.634	-0.063

Hesaplanan IPE200 profilinin farklı sınır şartlarındaki (C-C, C-S, S-S, C-F) 1. moda ait deformasyon davranışları ve doğal frekans görselleri Şekil 3'te verilmektedir. Ayrıca kirişlerin dinamik davranışını belirleyen en baskın bileşen 1. doğal frekans (temel mod) olduğundan, çalışmanın devamındaki parametrik analizlerde bu mod esas alınmıştır.



Şekil 3. IPE200 profilinin farklı sınır şartları altındaki 1. mod şekilleri ve doğal frekans değerleri

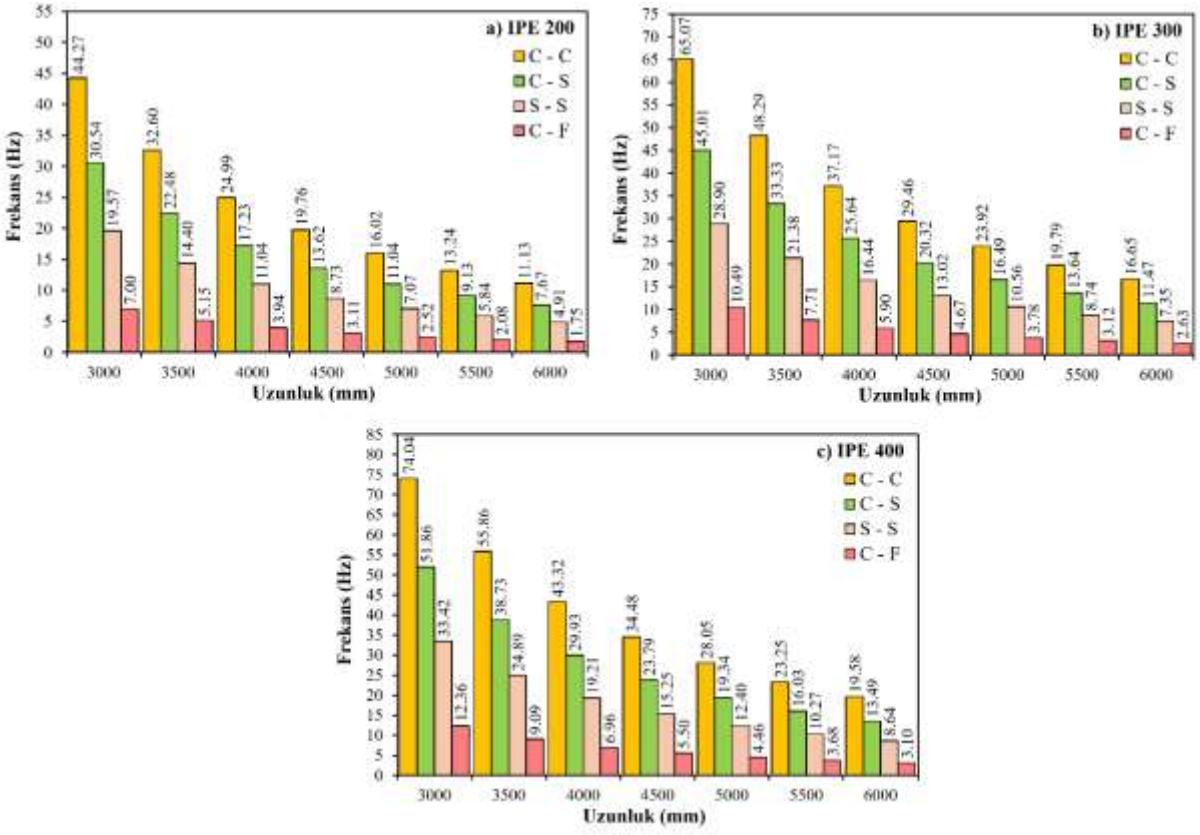
3. PARAMETRİK ANALİZ VE BULGULAR

Sınır koşullarının, kiriş uzunluğunun ve kesit boyutlarının doğal frekans üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla parametrik bir analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen profil tipleri, kiriş uzunlukları ve sınır şartlarına ait parametrik değerler Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Parametrik analizde kullanılan değişkene ait parametreler ve sınır koşulları

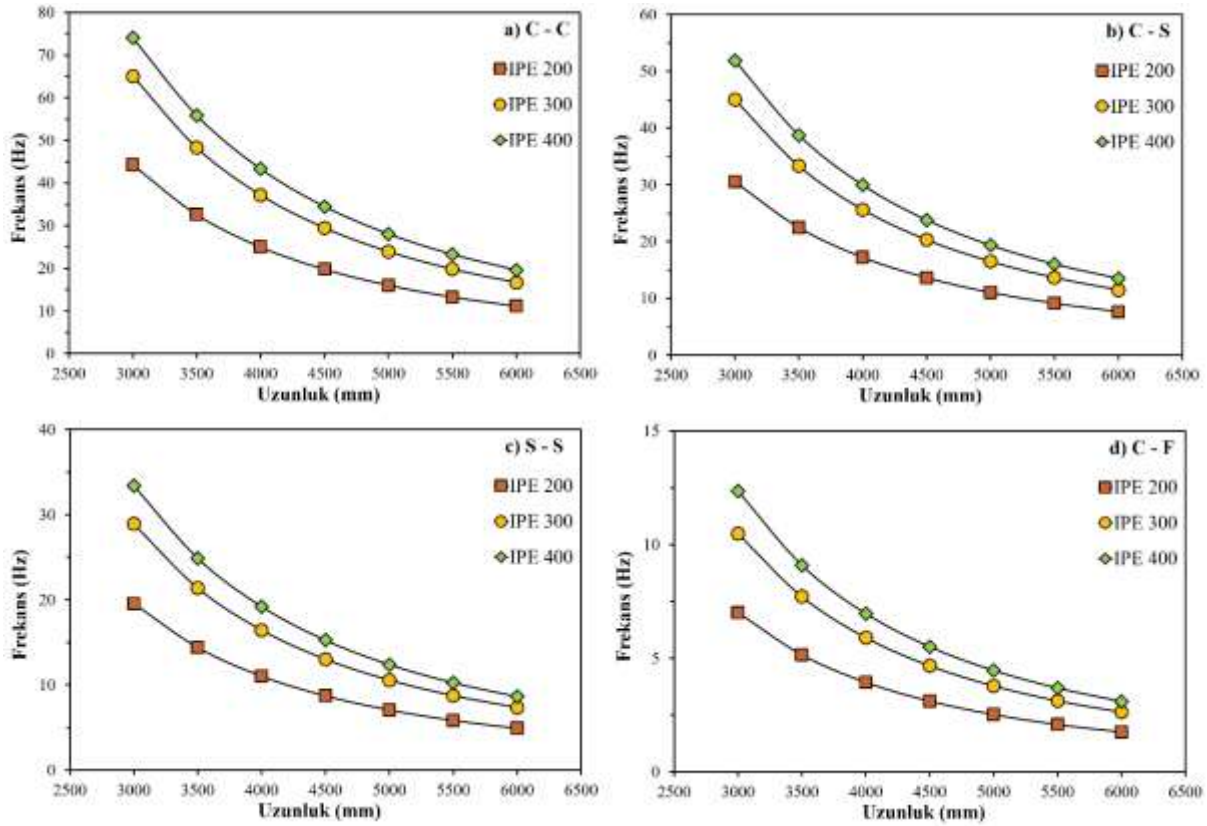
Parametre	**Açıklama**
Profil tipi	IPE200, IPE300, IPE400
Profil uzunluğu	L = 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 m
Sınır şartları	C - C, C - S, S - S, C - F

Farklı profil kesitleri (IPE200, IPE300, IPE400) ve değişken kiriş uzunlukları için hesaplanan 1. mod doğal frekans değerlerinin sınır koşullarına göre değişimi Şekil 4'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 4. Farklı kesit ve sınır şartlarına sahip kirişlerin uzunluğa bağlı 1. mod doğal frekans değişimleri

Farklı sınır koşullarında (C-C, C-S, S-S, C-F), kiriş boyunun artmasıyla doğal frekansın sergilediği azalım eğilimi ve profil boyutunun artmasıyla frekansta meydana gelen yükseliş Şekil 5'te verilen grafikleri ile gösterilmektedir.



Şekil 5. Belirli sınır şartları altında kiriş uzunluğu ve profil boyutunun 1. mod doğal frekansına etkisi

Şekil 4 ve Şekil 5'teki veriler birlikte incelendiğinde, sistemin fiziksel davranışı ve sayısal analiz sonuçlarına dair şu önemli bulgular öne çıkmaktadır:

Sınır şartlarının etkisi incelendiği zaman, tüm profil tiplerinde ve uzunluklarda en yüksek frekans değerlerini iki ucu C-C durumunda görülmektedir. Kirişin bir ucunun serbest bırakıldığı C-F durumda ise frekans değerlerinde büyük düşüşler gözlemlenmiştir. Örneğin, L=3000 mm boyundaki IPE200 kirişi iki ucu C-C durumdan bir ucu C-F duruma getirildiğinde frekans değeri %84.18 oranında azalmaktadır. IPE200 kirişin iki ucu S-S duruma geçtiğimizde ise frekansta %55.79 oranında bir düşüş meydana gelmektedir.

Kiriş uzunluğunun etkisi incelendiği zaman, kiriş boyunun artması, yapının esnekliğini ve toplam kütlesini eşzamanlı olarak artırdığı için doğal frekans değerlerinde belirgin bir azalıma neden olmaktadır. Analitik formülasyonlara göre doğal frekans, uzunluğun karesiyle ters orantılı ($1/L^2$) olarak değişmektedir. Örneğin, IPE200 profili C-C sınır şartı altında L=3000 mm uzunlukta 44.27 Hz frekansa sahipken, kiriş boyu iki katına çıkarak L=6000 mm olduğunda frekans değeri %74.86 oranında azalışla 11.13 Hz'e (dörtte birine) düşmüştür.

Profil boyutunun etkisi incelendiği zaman, aynı uzunluk ve sınır şartları altında, profil boyutu (IPE200'den IPE400'e) büyüdükçe doğal titreşim frekansının arttığı görülmüştür. Profil ebatları büyüdükçe elemanın birim hacim kütlesi artsa da enkesit atalet momentindeki (I) artış oransal olarak kütle artışından çok daha yüksek olduğu için sistemin genel dinamik rijitliği olumlu yönde etkilenmektedir. L=3000 mm uzunluğundaki C-C mesnetli

kirişler referans alındığında; IPE200 için 44.27 Hz olan frekans, IPE300 kesitinde %46.98 artışla 65.07 Hz'e, IPE400 kesitinde ise %67.25 artışla 74.04 Hz'e ulaşmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı geometrik özelliklere ve sınır koşullarına sahip çelik kirişlerin doğal titreşim davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanılarak yapılan analitik hesaplamalar ile ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen modal analizler karşılaştırılmıştır. Dış bir dinamik yükleme olmaksızın, sistemin kendi rijitliği ve kütlesi ekseninde titreşebileceği doğal frekans değerlerine yönelik parametrik analizler yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Euler-Bernoulli teorisine dayalı analitik hesaplamalar ile ANSYS sonlu elemanlar yazılımından elde edilen sonuçlar %1'in altında bir bağıl hata payı ile birbiriyle örtüşmektedir. Bu durum, karmaşık sınır şartlarına ve farklı kesit profillerine sahip yapıların doğal titreşim analizlerinde bilgisayar destekli sayısal yöntemlerin yüksek güvenilirlikle kullanılabileceğini doğrulamaktadır.
- Bir yapının doğal frekansının, dış kaynaklı (makine, rüzgâr veya insan adımı vb.) zorlayıcı titreşim frekanslarıyla çakışması rezonansa yol açar. Çalışma bulguları, kirişin kesitini veya uzunluğunu değiştirmeden sadece mesnetlenme koşullarının (örneğin basit mesnetten tam ankastreye geçiş) iyileştirilmesiyle doğal frekansın ciddi oranda artırılabileceğini göstermiştir. Bu durum, mevcut yapılardaki titreşim sorunlarının çözümünde mesnet güçlendirmesinin son derece efektif bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır.
- Çelik profil ebatlarının (IPE200'den IPE400'e) büyütülmesi sistemin toplam kütlesini artırarak doğal frekansı düşürme eğilimi yaratsa da, kesit atalet momentindeki büyüme bu etkiyi fazlasıyla domine etmiştir. Mühendislik tasarımında, dinamik rijitliği artırmak amacıyla daha büyük profillere geçiş yapılmasının kütle artışı dezavantajına rağmen hedeflenen yüksek frekans değerlerine ulaşmada başarılı bir strateji olduğu görülmüştür.
- Kiriş uzunluğunun artmasıyla doğal frekans değerlerinin karesel ($1/L^2$) olarak hızlı bir şekilde düşmesi, uzun açıklıklı yapıların düşük frekanslı dinamik yüklere karşı çok daha hassas hale geldiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 5 - 6 metre ve üzeri açıklıklara sahip kirişlerde, yaya trafiği veya düşük devirli makinelerden kaynaklanabilecek titreşimleri sönümleyebilmek adına Ankastre-Ankastre (C-C) bağlantı tiplerinin tercih edilmesi dinamik kararlılık açısından kritik bir gerekliliktir.
- Kirişin mesnet noktalarındaki rijitliği arttıkça, yapının etkin deformasyon serbestliği kısıtlandığı için genel dinamik rijitlik ve buna bağlı olarak doğal titreşim frekansı artmaktadır. Analiz edilen tüm senaryolarda en düşük doğal frekans Ankastre-Serbest (C-F) kirişlerde, en yüksek doğal frekans ise Ankastre-Ankastre (C - C) kirişlerde elde edilmiştir. Bu bağlamda, yapılarda rezonans riskini azaltmanın en efektif yollarından birinin mesnet bağlantılarını güçlendirmek olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak bu çalışma; yapısal tasarım mühendislerine çelik kirişlerin boyutlandırılması ve mesnet koşullarının seçimi aşamasında, olası dinamik dış yüklere karşı rezonans kontrolünü sağlamaları adına analitik ve sayısal bir rehber sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda, mevcut metodoloji homojen çelik malzemelerden farklı olarak petek kirişlerin, kompozit kesitlerin veya delikli profillerin farklı sınır şartları altındaki titreşim karakteristiklerinin incelenmesi olabilir.

KAYNAKLAR

Avcar, M. (2014). Free Vibration Analysis of Beams Considering Different Geometric Characteristics and Boundary Conditions. *International Journal of Mechanics and Applications*, *4*(3), 94–100. https://doi.org/10.5923/J.MECHANICS.20140403.03

Bert, C. W., & Fisher, C. A. (1972). Stability analysis of a pinned-end beam undergoing non-linear free vibration. *Journal of Sound and Vibration*, *22*(1), 129–131. https://doi.org/10.1016/0022-460X(72)90851-6

de Almeida, M. T., & Dias, J. C. (1984). Free vibration analysis of beams and shafts by programmable calculators. *Journal of Sound and Vibration*, *92*(1), 39–45. https://doi.org/10.1016/0022-460X(84)90372-9

Hodges, D. H., Atilgan, A. R., Fulton, M. V., & Rehfield, L. W. (1991). Free Vibration Analysis of Composite Beams. *Journal of the American Helicopter Society*, *36*(3), 36–47. https://doi.org/10.4050/JAHS.36.36

Li, J.-L., & Chen, J.-K. (2014). Free Vibration Analysis of Battened Beams. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, *14*(07), 1450029. https://doi.org/10.1142/S0219455414500291

Li, X. F. (2008). A unified approach for analyzing static and dynamic behaviors of functionally graded Timoshenko and Euler–Bernoulli beams. *Journal of Sound and Vibration*, *318*(4–5), 1210–1229. https://doi.org/10.1016/J.JSV.2008.04.056

Rao, S. S. . (2019). *Vibration of continuous systems*. John Wiley & Sons, Inc.

Reddy, J. N. (2007). Nonlocal theories for bending, buckling and vibration of beams. *International Journal of Engineering Science*, *45*(2–8), 288–307. https://doi.org/10.1016/J.IJENGSCI.2007.04.004

Timoshenko, S. (1937). *Vibration Problems in Engineering* (2nd ed.). D. Van Nostrand Company, Inc.

Yıldırım, S. (2020). Effect of Boundary Conditions on Natural Frequencies of Orthotropic- Cored Composite Sandwich Beams. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *35*(1), 221–226. https://doi.org/10.21605/CUKUROVAUMMFD.764939

ANKARA İÇMESUYU SİSTEMİNDE KIZILIRMAK VE GEREDE SUYUNUN ÖNEMİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Ahmet APAYDIN[1]

[1]Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye

ahmet.apaydin@giresun.edu.tr, (ORCID: 0000-0002-6437-7208)

Özet

Ankara içme suyu sistemi Çamlıdere sistemi (Gerede suyu dahil) ve Kurtboğazı sistemiyle Çubuk-2 barajı, Kesikköprü barajı (Kızılırmak suyu) ve yeraltısuyu kaynakları şeklindedir. Çamlıdere Barajı kendi havzasından ve 2020'den itibaren Gerede tüneliyle gelen suyu depolayan, Kurtboğazı Barajı yine kendi havza suları ile birlikte Akyar, Eğrekkaya ve Kavşakkaya barajının sularını da depolayan ve ikisi de suyunu İvedik Arıtma Tesisi'ne aktaran kolektör rezervuarlardır. Kızılırmak sistemi (Kesikköprü barajı) ise 2006-2008 su krizinde devreye alınan pompajlı sistemdir. Gerede sistemi; Gerede Çayı'nın suyunu 31592 m iletim tüneli ile Çamlıdere Barajı'na aktarmaktadır. Gerede Su Temin Projesi'nde Gerede Çayı'ndan Çamlıdere Barajı'na yılda ortalama 226 hm^3 su aktarılması öngörülmüştür. Bu miktar, 2025 yılı itibariyle Ankara'nın yıllık içme suyu tüketiminin %41'i olup, önemli bir miktardır. Ancak sistemin hizmette olduğu ilk altı yılın (2020-2025) beşinde Gerede'den beklenen katkı sağlanamamıştır. Altı yılın ortalaması 162,2 hm^3 olup, bu miktar öngörülenin % 72'sidir. Kaba bir hesapla, projeden beklenen fayda en az dörtte bir oranında eksik gerçekleşmiştir. Gerede sistemi Filyos Havzası'nın yukarı kesiminde yüksek kota sahip alanlara düşen kar yağışlarından beslenmektedir. Gerede sisteminin katkısı ilk altı yılda beklenenden %28 düşük olmakla birlikte, bu sistem olmasaydı, (Kesikköprü Barajı'ndan çekilen su aynı kalmak şartıyla) 2024 yılı ortalarında Ankara su krizine girecekti. En azından, maliyet ve kalite yönünden arzu edilmeyen Kızılırmak'tan daha fazla su çekilecekti. Kızılırmak suyu bu nedenlerle pek arzu edilmese de, mevcut şartlarda vazgeçilmesi mümkün olmayıp, son yıllarda yaşanan kuraklıklar nedeniyle Kızılırmak'tan kurak aylar haricinde de su çekilmesi zorunlu hale gelmiştir. Tatlı su barajlarındaki rezervin tüketilmeyerek mümkün olduğunca uzun süre korunması ve kurak yılları atlatarak sonraki yağışlı yıla erişilmesi için Kızılırmak'tan maliyet ve kalite faktörünü de düşünmek kaydıyla, mümkün olan azami suyun çekilerek İvedik arıtma tesisinde tatlı sularla karıştırılarak sisteme verilmesi önem taşımaktadır. Sonuç olarak, Kızılırmak suyu Ankara için artık bir yedek su konumundan çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ankara, içme suyu temini Gerede, Kızılırmak, kuraklık, sürdürülebilirlik

AN ASSESSMENT OF THE IMPORTANCE OF KIZILIRMAK AND GEREDE RIVER WATER IN ANKARA'S DRINKING WATER SYSTEM

Ahmet APAYDIN[1]

[1]Giresun University, Engineering Faculty, Dept. of Civil Engineering, Giresun, Türkiye

ahmet.apaydin@giresun.edu.tr, (ORCID: 0000-0002-6437-7208)

Abstract

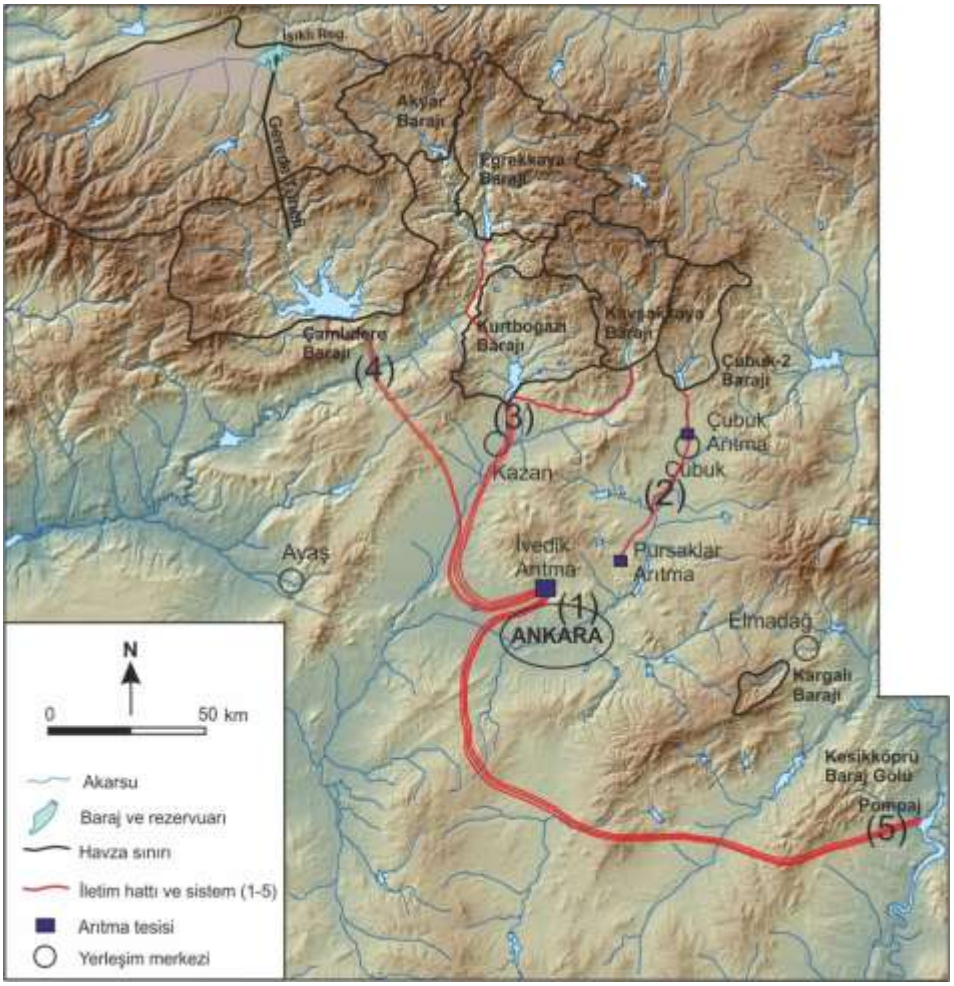
Ankara's drinking water system comprises the Çamlıdere system (including water from Gerede), the Kurtboğazı system, the Çubuk-2 and Kesikköprü (Kızılırmak water) dams, and groundwater sources. The Çamlıdere Dam stores water from its own basin as well as water delivered via the Gerede tunnel since 2020; the Kurtboğazı Dam stores water from its own basin along with water from the Akyar, Eğrekkaya, and Kavşakkaya dams; both serve as collector reservoirs that transfer their water to the İvedik Treatment Plant. The Kızılırmak system (Kesikköprü Dam), meanwhile, is a pumped system that was brought into operation during the water crisis of 2006–2008. The Gerede system transfers water from the Gerede river to the Çamlıdere Dam via a 31,592-meter transmission tunnel. The Gerede Water Supply Project envisaged the transfer of an average of 226 hm³ of water annually from the Gerede river to the Çamlıdere Dam. This volume represents a significant amount, accounting for 41% of Ankara's annual drinking water consumption as of 2025. However, the expected contribution from Gerede failed to materialize in five of the first six years (2020–2025) the system was in service. The six-year average stands at 162.2 hm³, which is 72% of the projected amount. By a rough estimate, the realized benefit of the project fell short of expectations by at least one-quarter. The Gerede system is fed by snowfall in high-altitude areas within the upper reaches of the Filyos Basin. Although the contribution of the Gerede system was 28% lower than expected during the first six years, without this system, Ankara would have faced a water crisis by mid-2024 (assuming the volume of water drawn from the Kesikköprü Dam remained constant). At the very least, greater reliance would have been placed on water from the Kızılırmak River—a source considered undesirable due to cost and quality issues. While Kızılırmak water is not preferred for these reasons, it is indispensable under current conditions; indeed, due to recent droughts, it has become necessary to draw water from the river even outside of dry months. To preserve freshwater dam reserves for as long as possible—thereby bridging the gap between drought years and the next wet year—it is crucial to extract the maximum possible amount of water from the Kızılırmak, mix it with freshwater at the İvedik treatment plant, and distribute it into the system, while also taking cost and quality factors into account. Consequently, Kızılırmak water has ceased to be merely a backup water source for Ankara.

Keywords: Ankara, drinking water supply, Gerede, Kızılırmak, drought, sustainability

1. GİRİŞ

2026 yılı itibariyle Ankara içmesuyu sistemi Çamlıdere sistemi (Gerede suyu dahil) ve Kurtboğazı sistemiyle (Akyar ve Eğrekkaya ile birlikte) Çubuk-2 barajı, Kesikköprü barajı (Kızılırmak suyu), Elmadağ Kargalı barajı ve yeraltısuyu kaynakları (kuyu, drenaj, galeri) şeklindedir (Şekil 1). Çamlıdere Barajı kendi havzasından ve 2020'den itibaren Gerede tüneliyle gelen suyu depolayan, Kurtboğazı Barajı yine kendi havza suları ile birlikte Akyar, Eğrekkaya ve Kavşakkaya barajının sularını da depolayan ve ikisi de suyunu İvedik Arıtma Tesisi'ne akratan kolektör rezervuarlardır. Çubuk-2 Barajı Çubuk**,** Akyurt ve Pursaklar ilçelerine içme ve kullanma suyu sağlamaktadır. Barajdan alınan su işlenmek üzere Çubuk ve Pursaklar arıtma tesisine aktarılmakta, oradan şebekeye verilmektedir. Bölgedeki kuraklık ve su ihtiyacına bağlı olarak, Çubuk-2 Barajı'ndaki su hacmini desteklemek amacıyla batıdaki Kavşakkaya Barajı'ndan bu baraja su aktarımı yapılmaktadır. Kızılırmak sistemi (Kesikköprü barajı) ise 2006-2008 su krizinde devreye alınan pompajlı sistemdir. Gerede sistemi; Gerede Çayı üzerinde bir çevirme yapısı, 31592 m iletim tüneli ve tünelden çıkan suyu Çamlıdere Barajı'nı besleyen Eşik Deresi'ne boşaltan bir boşaltım yapısından oluşmaktadır. Kurtboğazı sistemi, Gerede'den gelen ve kendi havzasından gelen suyu depolamakta ve İvedik Arıtma Tesisi'ne aktarmaktadır. Şehir içindeki kuyular ve diğer yeraltısuyu toplama tesisleri (drenaj-galeri) hariç, kente en yakın su kaynağı Çubuk-2 Barajı, en uzağı ise Kesikköprü Barajıdır.

Bu bildiride, 2009 yılından itibaren devrede olan Kızılırmak (Kesikköprü) suyu ve 2020 yılı sonundan itibaren devrede olan Gerede suyunun katkısı ve önemi işlenmektedir.



Şekil 1. Ankara İçmesuyu Sistemi ve elemanları

2. ALT SİSTEMLERİN KAPASİTELERİ

Ankara içme suyu tesislerinin tarihsel gelişi, ayrıntılı kapasiteleri ve iletim hatları ile ilgili ayrıntılı bilgiler Alp ve Apaydın (2022)'de anlatılmaktadır. Bu bildiride bugünkü duruma göre kapasite ve katkı yönleriyle eski tesislerden yeniye doğru aşağıda öz olarak incelenmektedir.

2.1. Yeraltısuları (1)

Kent içi, Hatip ve İncesu vadilerinden alınan yaklaşık 40 hm^3 yeraltısuyu en yakın depolara pompalanmakta ve oradan şehir içesuyu şebekesine verilmektedir. Pompaj yüksekliği 5-105 m arasında değişmekte olup (ASKİ, 2013), 150-700 mm çapında çelik borular kullanılmaktadır. Kent içmesuyuna katkı yapan ikinci hat, kentin 30 km kuzeybatısında, Kazan ilçesinin doğusundaki Ovaçayı kuyularından Kurtboğazı hattına bağlantı hattıdır. Ankara'nın su krizi yaşadığı 2007 yılında açılan 50 adet kuyudan alına su, hemen birkaç km yakından geçen Kurtboğazı-İvedik ana hattına pompalanmaya başlamıştır. Barajlarda yeterli su birikmesiyle (2009) dinlenmeye alınan bu hat, benzer bir su sıkıntısında tekrar kullanılabilecek durumdadır (Alp ve Apaydın 2022).

2.2. Çubuk-2 Barajı (2)

Çubuk-2 Barajı'ndan elde edilen su, Çubuk, Pursaklar ve Akyurt ilçesine verilmektedir. Kent içme suyu şebekesine verilecek su, önce Pursaklar arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Barajdan arıtmaya kadar 37 km uzunluğundaki hat, cazibeli, 0.77 m^3/s kapasiteli çelik borulardan ibarettir. Barajın aktif depolama hacmi 22.4 hm^3'dür. Baraj, son yıllarda yağışların azlığına ve kullanıma bağlı olarak tam dolmaktadır.

2.3. Kurtboğazı Sistemi (3)

Kurtboğazı Barajı bir kolektör depolama niteliğindedir. Bu baraja, kendi havzası ile birlikte Eğrekkaya barajı ve onu besleyen Akyar barajından, Kavşakkaya Barajından ve Ovaçayı Regülatöründen su aktarılmaktadır. Kurtboğazı barajından İvedik arıtma tesisine 3 hat bulunmaktadır. Tek hattın kapasitesi 3.4-6 m^3/s'dir (Alp ve Apaydın 2022).

2.4. Çamlıdere Sistemi (4)

Çamlıdere barajı, suyunu kendi havzasından ve 2019'yılı sonundan itibaren Gerede sisteminden gelen sudan sağlamaktadır. Barajdan İvedik arıtma tesisine ulaşmak üzere 1998 yılında hizmete alınan ilk hat, daha sonra ikiye çıkarılmıştır. Hat, yer yer tünellerden geçmektedir. Birinci hattın kapasitesi 3.9 m^3/s, ikinci hattın kapasitesi 4.8 m^3/s'dir (Alp ve Apaydın 2022). Gerede suyu, bir çevirme yapısı ile 31,6 km uzunluğundaki tünele aktarılmakta, tünelden basınçsız ve cazibeli olarak Eşik Deresi'ne akan Gerede suyu, 9 km mansaptaki Çamlıdere rezervuarına boşalmaktadır. Çamlıdere rezervuarı çok büyük olup (aktif hacim 1220 hm^3) hesaplara göre kendi havzasından gelen ortalama su ancak üçte birini doldurabilmektedir. Baraj yapılmadan önce gerçekleştirilen Master Plan çalışmalarına göre Gerede'den ileride takviye yapılacağı dikkate alınarak barajın yüksekliği fazla tutulmuş, inşaatı ona göre yapılmıştır.

Gerede suyu, Gerede Çayı üzerinde regülatör şeklinde bir çevirme yapısı ile 31,6 km uzunluğundaki tünele aktarılmaktadır. Cazibeli olan tünelin mansap çıkışında Eşik Deresi'ne boşalan su yaklaşık 9 km açıkta akarak Çamlıdere rezervuarına ulaşmaktadır. Gerede Su Temin Projesi'nde Gerede Çayı'ndan Çamlıdere Barajı'na yılda ortalama 226 hm^3 su aktarılması öngörülmüştür.

2.5. Kızılırmak (Kesikköprü) Sistemi (5)

Başkentin bulunduğu bölgenin iklimi gereği sık sık yaşanan kuraklıklarda barajlara birkaç yıl üst üste yeterli su gelmemesi nedeniyle su sıkıntısı yaşanmaktadır. 2006-2008 yıllarında yaşanan büyük kuraklıkta Kesikköprü Barajından Kızılırmak suyunun pompajla kente ulaştırılması gerçekleşmiştir. Bu tarihten sonra bir stepne, yani yedek bir kaynak olarak düşünebileceğimiz Kızılırmak suyu, su sıkıntısı yaşanan yıllarda barajlardan gelen suyla karıştırılarak şebekeye verilmektedir. Ancak Kızılırmak suyunun kalite olarak sıkıntılı olması ve yüksek pompaj maliyeti nedeniyle bir tercihten ziyade, mecburiyetten kullanıldığı bir gerçektir. Barajdan İvedik Arıtma Tesisine iletim hattı uzunluğu 128 km olup, 3 hat bulunmaktadır. Barajdan DSİ tarafından ASKİ'ye 167 hm^3/yıl su tahsisi

yapılmıştır. Kurak dönemlerde artırılıp, yağışlı dönemlerde azaltılarak 2009 yılından itibaren kente zaman zaman takviye (İvedik Arıtma Tesisi) su verilmektedir.

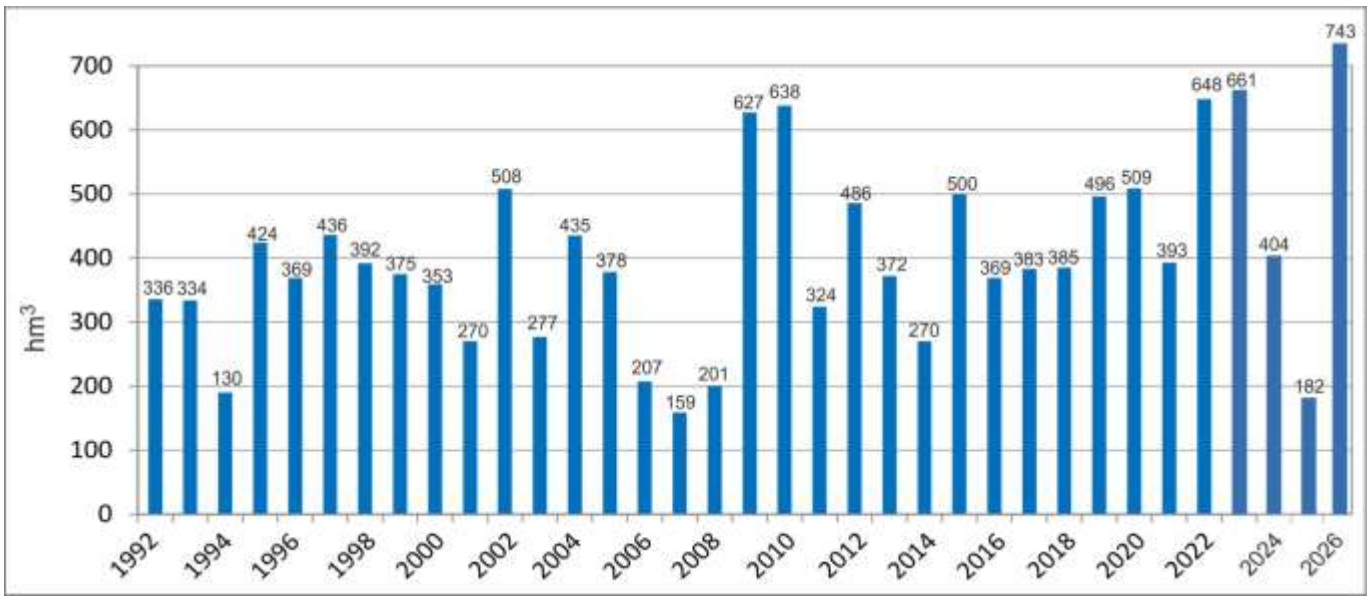
Kızılırmak (Kesikköprü) ile Ankara İvedik Arıtma Tesisi arasında inşa edilmiş olan 3 ayrı boru hattından oluşan 1. merhale iletim sistemi, tam kapasiteyle çalıştırıldığında şehre günlük yaklaşık 750 bin metreküp (yıllık ise maksimum kapasitede 250 milyon metreküpün üzerinde) su aktarabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ancak, uygulamada (kurak geçen 2024 ve 2025 yılından sonra 2026 yılının ilk yarısında) şehre verilen günlük maksimum su miktarı en fazla 600 bin metreküpün biraz üzerinde olmuştur.

Barajdan tahsis edilen su, yüksek enerji (pompalama/elektrik) maliyetleri ve suyun sülfat/sodyum oranının yüksek olması nedeniyle (arıtma maliyeti) sürekli olarak şehre verilmemektedir. Genellikle Ankara'nın ana içme suyu barajlarındaki (Çamlıdere, Kurtboğazı vb.) rezervlerin kritik seviyeye düştüğü kurak dönemlerde, acil alternatif destek senaryosu olarak diğer sularla paçallanarak (harmanlanarak) şebekeye verilmektedir. Güncel ASKİ İçmesuyu Master Planı kapsamında, kentin 2054 yılına kadar artan su ihtiyacını güvenceye almak adına mevcut 167 hm^3/yıl tahsise ilave olarak Kesikköprü 2. merhale su temin sisteminin devreye alınması ve dördüncü bir hattın inşa edilmesi de alternatif planlar arasında yer almaktadır.

3. GEREDE VE KIZILIRMAK SİSTEMLERİNİN KATKILARI

Ankara içme suyu sistemindeki tatlı su barajlarına (Keskikköprü dışındaki barajlar) giren toplam su miktarı yıllara göre Şekil 2'de verilmiştir. Şekildeki grafik, 1992'den bu yana geçen 33 yılı kapsamaktadır. Bu süre içinde 1995'te Eğrekkaya Barajı, 2000 yılında Akyar Barajı, 2009 yılında Kavşakkaya Barajı, 2020 yılında Gerede sisteminin katkısı başlamıştır. Grafik incelendiğinde 1992-1994 arasının kurak, 1995-2005 arasının yağışlı, 2006-2008 arasının çok kurak, 2009-2023 arasının 2011 ve 2014 yılları hariç yağışlı, 2024 ve 2025 yıllarının kurak geçtiği görülmektedir. 1994 ve 2006-2008 kuraklığında kente yeraltısuyu kaynaklarından ilave su sağlanarak kapasite artırılmış, kısa süre su kesintileri yaşanmış, 2007-2008 kuraklığında Kızılırmak ve Gerede projeleri hızlandırılarak önce Kızılırmak suyu (2008 yılında) sisteme dahil edilmiştir. Gerede sisteminin projeleri tamamlanarak 2011 yılında inşaatına başlanmış, 2018 yılında tünel, 2020'de hizmete alınmıştır.

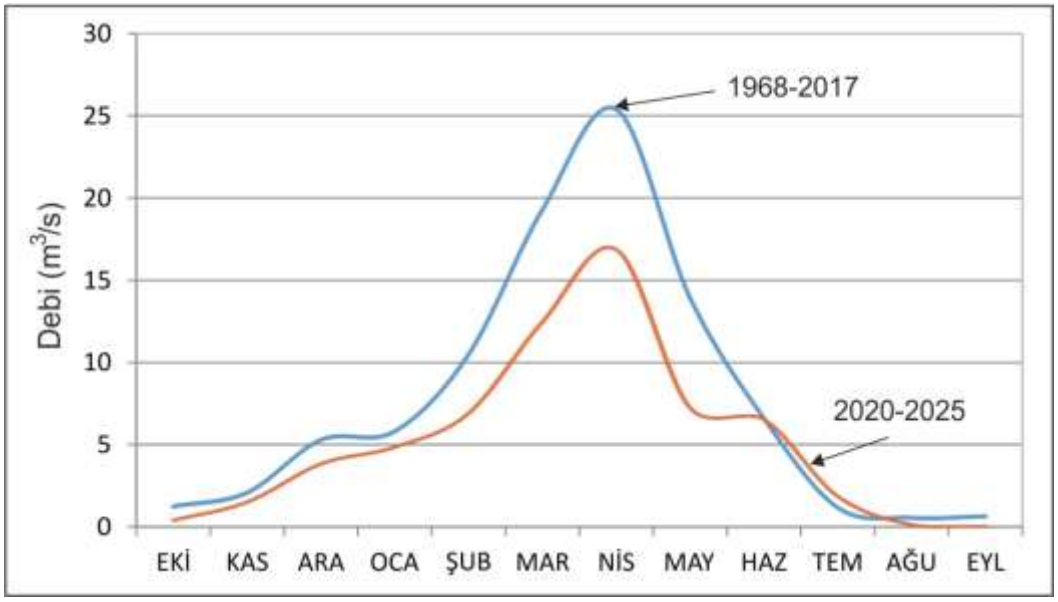
Master Plan raporlarında tatlı su barajlarından sonra öncelikle Gerede suyunun sisteme dahil edilmesi, Kızılırmak suyunun daha sonra düşünülmesi öngörülse de, 2006 yılı sonunda başlayan su sıkıntısı nedeniyle öncelikle Kızılırmak projesine ağırlık verilmiş ve iki yıl içinde (2007-2008) projesi ve inşaatı tamamlanarak sisteme dahil edilmiştir.



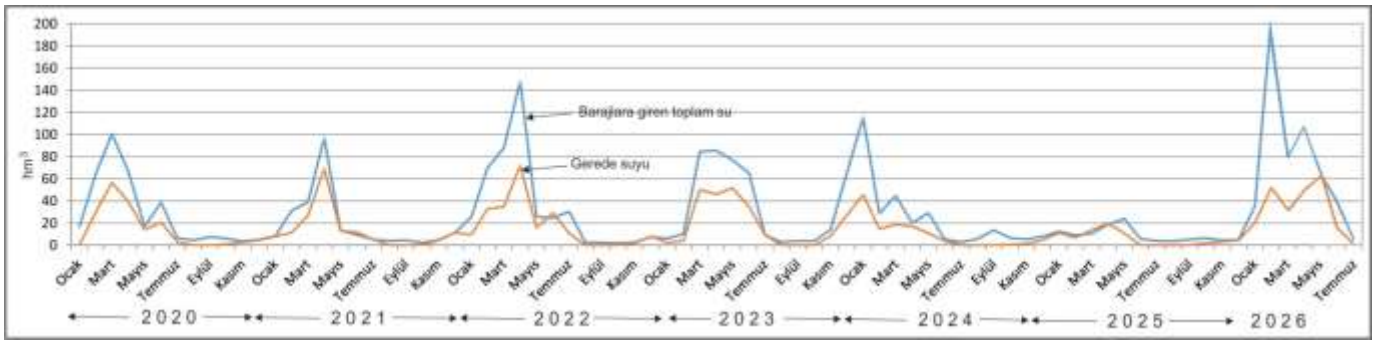
.

Şekil 2. Ankara içme suyu rezervuarlarına gelen akımların yıllara göre değişimi (2026 yılı ilk 7 ay)

Gerede Su Temin Projesi'nde Gerede Çayı'ndan Çamlıdere Barajı'na yılda ortalama 226 hm^3 su aktarılması öngörülmüştür. Bu miktar, sistemden su alınmaya başlanan 2019 yılı sonu itibariyle Ankara'nın yıllık içme suyu tüketiminin yarısı, 2025 yılı tüketiminin ise %41'ine karşılık gelmekte olup, önemli bir miktardır. Ancak sistemin hizmette olduğu ilk altı yılın (2020-2025) beşinde beklenen katkı sağlanamamıştır (Şekil 3). İlk dört yılda (2020-2023) ortalama 187 hm^3; sonraki yıllarda (2024-2025) ortalama 95 hm^3 su sağlanabilmiştir. Altı yılın ortalaması ise 162,2 hm^3 olup, bu miktar öngörülenin % 72'sidir. Kaba bir hesapla, projeden beklenen fayda en az dörtte bir oranında eksik gerçekleşmiştir. 2024 ve 2025 yılında yaşanan kuraklık nedeniyle gerçekleşme oranı daha da düşerek sırasıyla %52 ve %32 olmuştur. 2026 yılında ise ilk 5 ay baraj havzaları için ve Gerede havzası için yağışlı geçmiştir. İlk 7 ayda barajlara giren toplam 743 hm^3 suyun 237 hm^3'ü (%32) Gerede tünelinden gelen katkıdır. 2023 yılından sonra 2026'da Gerede projesinin katkısı öngörülen ortalamanın üzerinde gerçekleşmiştir. Gerede ve diğer kaynakların son yedi yılda (2020-2026) Ankara içme suyuna katkısının karşılaştırmalı grafiği Şekil 4'te, yıllık karşılaştırmalı veriler Tablo 1'de, ayrıca Gerede projesinin ilk 7 yıllık dönemde yıllara bağlı katkısını gösteren kolon grafik Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 3. Gerede Çayı'nın Ankara İçme suyu Sistemi'ne dahil olmadan önceki ve sonraki debi değişim grafiği

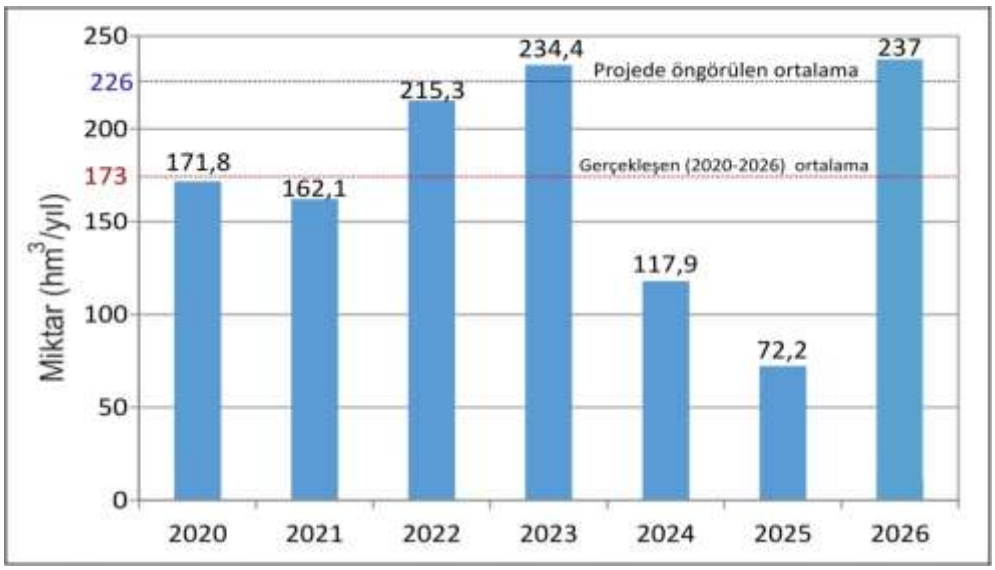


Şekil 4. Gerede suyunun Ankara içme suyu sistemine aylara göre katkı grafiği

Tablo 1. Gerede Projesinin Ankara içme suyuna gerçekleşen katkısının yıllara dağılımı (2026 yılı ilk 7 ay)

Yıllar	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026 ***
Barajlara gelen	336,8622	230,685	429,1742	426,8236	285,739	109,123	506,3
Gerede'den gelen	171,76	162,11	215,29	234,39	117,94	72,20	236,97
Toplam	508,63	392,8	644,47	661,216	403,68	181,33	743,27
Gerede %	34	41	33	35	29	40	32

** İlk 7 ayın toplamıdır.*



Şekil 5. Gerede sisteminden elde edilen su miktarının yıllara göre kolon diyagramı

Ankara'nın içme suyu sistemine Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi (ASKI) verilerine göre Kesikköprü Barajı'ndan su çekimi düzenli bir yıllık seriden ziyade, kuraklık ve ana hat arızası gibi dönemsel ve acil durumlarda (örneğin 2008-2009 kuraklık dönemi ve 2019 sonu ile 2025-2026 yıllarında su çekilmiştir. Yıllık yayımlanan genel toplamlarda Kesikköprü'den çekilen miktar dönemsel devreye girmelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Ankara'nın içme suyu ihtiyacı için ASKİ verilerine göre Kızılırmak iletim hattı 2008 yılında devreye girmiş, mevcut barajlarda (tatlı su barajları) yeterli su bulunduğu gerekçesiyle 2009 yılının Şubat ayından itibaren kullanılmamıştır. 2009 yılının sadece ilk aylarında (Ocak ve Şubat başı) minimum düzeyde çekilmiş olup, yılın kalan kısmında sistem tamamen devreden çıkarılmıştır. Bu dönemde ASKİ verilerine göre kentteki barajlar yüksek doluluğa ulaştığı için Kesikköprü Barajı'ndan şebekeye yoğun veya kesintisiz bir acil su çekimi yapılmamıştır. 2010 yılı, son yılların en yağışlı dönemlerinden biri olmuş, barajlara toplamda 633 hm^3'ün üzerinde su gelmiştir.

ASKİ resmi verilerine göre, kente su sağlayan Çamlıdere ve Kurtboğazı gibi ana barajlardaki su seviyelerinin yeterli düzeyde olması nedeniyle, yüksek işletme ve pompaj maliyeti olan Kızılırmak-Kesikköprü hattı 2009 yılının Şubat ayından 2014 yılının Haziran ayına kadar tamamen kapalı tutulmuş ve sisteme su verilmemiştir.

Yine ASKİ verilerine göre Kesikköprü Barajı'ndan 2014 yılının Haziran ayından itibaren yeniden su verilmeye başlanmıştır, ancak 2014 yılı genelinde toplam çekilen miktar kurumsal olarak net bir yıllık toplam rakam yerine dönemsel harmanlama olarak açıklanmıştır. Örneğin Ekim 2014'te şehre verilen suyun yaklaşık %35'ini Kızılırmak suyu oluşturmuştur.

2015-2018 yılları arasında Kesikköprü Barajı'ndan Ankara içme suyu şebekesine çekilen net su miktarları, kentin yaşadığı kuraklık periyodu ve ana barajların doluluk oranlarına bağlı olarak dönemsel değişiklikler göstermiştir. Veriler aşağıdaki gibidir.

2015 Yılı: Kuraklığın devam ettiği yaz aylarında Kesikköprü hattı aktif olarak çalıştırılmıştır. 2015 yılı genelinde Ankara şebekesine verilen toplam suyun yaklaşık %15 ila %20'si (ortalama günlük 200.000 - 250.000 m^3**)** Kızılırmak suyundan karşılanmıştır. Yıllık bazda şebekeye pompalanan toplam Kızılırmak suyu yaklaşık 70-80 hm^3 bandında gerçekleşmiştir.

2016 Yılı: İlkbahar yağışlarının mevsim normallerinde seyretmesiyle yılın ilk yarısında Kesikköprü kullanımı minimuma indirilmiş, ancak yaz sonu ve sonbahar aylarında barajlar gerileyince hat yeniden devreye alınmıştır. 2016 yılında toplamda yaklaşık 45-50 hm^3 su çekilmiştir.

2017 Yılı: Ankara barajlarının aktif doluluk oranlarının kritik seviyelere düşmesiyle Kesikköprü sistemi yoğun şekilde kullanılmıştır. Şebekeye verilen günlük ortalama suyun %30 ile %35'i (günlük 350.000 - 450.000 m^3 arası) bu hattan çekilmiştir. 2017 yılı boyunca Ankara'ya aktarılan miktar 120 hm3'ün üzerine çıkmıştır.

2018 Yılı: 2018 yılı, bu periyottaki en yoğun kullanım yılı olmuştur. Rapora göre Kesikköprü Pompa İstasyonu 2018 yılında aralıksız çalışmış (28-31 Mart günleri hariç) ve şehre rekor seviyede su pompalamıştır. Örneğin, 26 Ekim 2018 verisine göre kente verilen günlük 1,23 milyon m^3 ham suyun 536.000 metreküpü (%45,7'si) tek başına Kesikköprü'den karşılanmıştır. 2018 yılı toplamında çekilen net Kızılırmak suyu 160 hm3'ü aşmıştır.

Ankara içme suyu sistemine 2019 yılında Kesikköprü Barajı'ndan (Kızılırmak'tan) toplam 49 milyon 73 bin metreküp ham su çekilmiştir. Yılın genelinde şehre verilen suyun Ocak ayında yaklaşık %50,4'ü, Şubat ayında ise %45,7'si Kızılırmak'tan karşılanmıştır. 8 Mart 2019 ile 25 Kasım 2019 tarihleri arasında ise ana barajlardaki suyun azalması nedeniyle Kesikköprü'den şebekeye su takviyesi yapılmamıştır.

Ankara içme suyu şebekesine 2020 yılının ilk aylarında (Ocak ve Şubat aylarında sırasıyla yaklaşık 16,8 milyon ve 15,3 milyon metreküp) takviye amacıyla Kızılırmak'tan su verilmiş, yılın kalan döneminde ise Çamlıdere ve Kurtboğazı gibi ana kuzey barajlarının durumuna bağlı olarak aralıklı veya harmanlanarak paçal su temini sağlanmıştır.

Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi (ASKİ) resmi faaliyet raporu verilerine göre, 2021, 2022 ve 2023 yılında Kesikköprü Barajı'ndan Ankara içme suyu sistemine hiç su çekilmemiştir.

Özellikle 2023 yılı tatlı su barajları için oldukça verimli geçmiş, 2023 yılında Ankara barajlarına (Gerede dahil) toplam 661 milyon m^3 su gelirken, diğer ana barajlarda su seviyeleri yeterli olduğu için Kesikköprü Barajı'ndan şehre rutin devir dışında dönemsel büyük bir içme suyu çekimi yapılmamıştır.

2024 yılı sonbahar aylarında Kesikköprü Barajı'ndan İvedik Arıtma Tesisi'ne günlük ortalama 220 bin ile 450 bin metreküp arasında değişen miktarlarda su çekilmiştir.

ASKİ ve DSİ'nin resmi verilerine göre, 2025 yılında yaşanan yoğun kuraklığa bağlı olarak diğer barajlardaki su seviyelerinin kritik düzeye gerilemesi sebebiyle, Ankara içme suyu sistemini desteklemek amacıyla Kesikköprü Barajı'ndan günlük ortalama 530 bin ile 620 bin metreküp arasında su çekilmiştir. Yıllık toplamda ise yaklaşık 180-200 milyon metreküp seviyelerinde) su çekilmiştir

Tahsis ve İhtiyaç Artışı: 2025 yılının Ekim ayında kuraklık riskinin derinleşmesiyle, ASKİ içme suyu ihtiyacını güvenceye almak amacıyla DSİ'den ilave 230 hm^3 su tahsisi talep etmiştir. Eylül 2025 döneminde Kesikköprü isale hattında üst üste meydana gelen iki büyük arıza nedeniyle şehre verilen su miktarı geçici olarak günlük 230 bin metreküpe kadar düşmüş, ancak ASKİ'nin yürüttüğü hızlı çalışmalarla patlama riski taşıyan CTP borular çelik borularla yenilenerek hat tekrar tam kapasiteye ulaştırılmıştır.

2026 yılı yağışlı dönem sonu olan 9 Haziran'da (barajlara gelen toplam akımların şebekeye verilenden fazla olduğu son gün 9 Hazirandır) tatlı su rezervuarlarındaki toplam aktif rezerv 564 hm^3 olup, bu miktar kayıtları olan 1992 yılından itibaren geçmiş bütün yılların rekorudur. Temmuz sonu itibariyle barajlara 2026 yılında giren su miktarı 743 hm^3 olup, bu miktar yine son 35 yılın rekorudur. Yılın kalan 5 ayında gelecek sular da düşünülürse barajlara gelen su miktarı yönünden 2026 yılının çok verimli bir yıl olduğu görülmektedir.

Tablo 2. ASKİ'den alına bilgilere göre Kesikköprü Barajı'ndan su çekilmesine ait genel bilgiler

Yıl	**Pompalama Durumu**	**Şebekedeki Dönemsel Oranı**	**Tahmini / Net Yıllık Çekim Hacmi**
2008	Sistem devreye girdi		Veri yok
2009	Şubat ayında çekim sonlandırıldı		Veri yok
2010-2014	Çekim yapılmadı		
2015	Sadece Kurak Yaz/Güz Dönemleri	%15 - %20	~75 Milyon m^3
2016	Kısa Dönemli / İhtiyaç Dahilinde	%10 - %15	~48 Milyon m^3
2017	Yoğun Kullanım (Yaz ve Sonbahar)	%30 - %35	~125 Milyon m^3
2018	Kesintisiz Kullanım **(Tüm Yıl)**	%40 - %46	~165 Milyon m^3
2019	Ocak ayından 7 Mart'a kadar ve 25 Kasım'dan itibaren yıl sonuna kadar		49 milyon 73 bin metreküp
2020	Ocak ve Şubat ayları		32,1 milyon m^3
2021	Yok	-	Yok
2022	Yok	-	Yok
2023	Yok	-	Yok
2024	Sonbahar aylarında		? Az miktarda
2025	Özellikle yaz ve sonbaharda		~180 Milyon m^3
2026	Ocak ayı başından 2 Mart'a kadar 600-615 bin m^3/gün, 3 Mart-12 Mart arası 300-310 bin m^3/gün, 13 Mart-3 Mayıs arası 570-610 bin m^3/gün, 4 Mayıs-2 Haziran 522-297 bin m^3/gün, 3 Haziran'dan 8 Temmuz'a kadar çekim yok, 4 Temmuz'dan-9 Ağustosa kadar 145-373 bin m^3/gün çekim	%23	Yılın ilk 7 ayında ~75 milyon m^3

Not: Kızılırmak suyu, sülfat ve sertlik oranının yüksek olması ve 130 km mesafeden yaklaşık 700 metrelik bir yüksekliğe pompalanmasının getirdiği devasa elektrik maliyeti sebebiyle, ASKİ tarafından sadece ana barajlar (Çamlıdere ve Kurtboğazı) yetersiz kaldığında "paçal/harmanlama" yöntemiyle sisteme dahil edilmektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Gerede projesinin öngörülen yıllık ortalama su temini 226 hm^3, ilk 7 yılda (2020-2026) gerçekleşen ise 173 hm^3 olmuştur. Bu yedi yılda sadece 2 yıl (2023 ve 2026) beklenenden biraz fazla katkı gerçekleşmiştir. Ancak Gerede'nin barajlara giren toplam miktara katkısı %35'e karşılık gelmekte ve bu oranın Ankara için çok önemli olduğu açıktır. Gerede'den ve tatlı su barajlarının kendi havzalarından gelen sular ne kadar fazla olursa, Kızılırmak'tan çekilecek su o denli az olmaktadır. Bu hem, pompaj maliyetini hem de arıtma maliyetini azaltma yönüyle arzu edilmemektedir. İvedik Arıtma Tesisinde karıştırılan (paçallanan) suya Kızılırmak'tan ne kadar az su katılırsa, suyun kalitesi ve Ankaralılar için tadı da o kadar düzelmektedir.

Eğer Gerede projesi tamamlanarak 2020 yılında devreye sokulmasaydı, aynı iklimsel şartların olması halinde Kızılırmak'tan çok su çekilmesi gerekecek, bu hem maliyeti aşırı yükseltecek hem de su kalitesinin bozulmasına neden olacaktı. Ayrıca, Kızılırmak ve tatlı su rezervuarlarından gelen suyun ancak karıştırılarak arıtılması mümkün olduğundan, başka bir ifadeyle şehir içme suyu şebekesine standartların gerektirdiği sınır değerleri aşmayacak şekilde su verebilmek için Kızılırmak suyuna tatlı suyun katılması mecbur olduğundan şebekeye verilen su yeterli olsa da (Kesikköprü Barajından ilave su çekilebildiğini varsayarsak), kalite sorunları yaşanacaktı.

Sonuç olarak, Kızılırmak suyu kalite ve maliyet yönünden pek arzu edilmese de, mevcut şartlarda vazgeçilmesi mümkün değildir. Söz konusu kaynak, geçmişte başkent için tatlı su rezervlerinde suyun azaldığı zamanlar faydalanılan bir yedek kaynak konumunda idi. Ancak son yıllarda yaşanan kuraklıklar nedeniyle tatlı su rezervuarlarına bazı yıllar beklenenden az miktarda su gelmesi ve düzensizleşmesi, Kızılırmak'tan yağışlı dönemlerde de su çekilmesini zorunlu hale getirmektedir. Çünkü tatlı su barajlarındaki rezervin tüketilmeyerek mümkün olduğunca uzun süre korunması ve kurak yılları atlatarak sonraki yağışlı yıla erişilmesi gerekir. Bunun için Kızılırmak'tan maliyet ve kalite faktörünü de düşünmek kaydıyla, mümkün olan azami suyun çekilerek İvedik arıtma tesisinde tatlı sularla karıştırılarak sisteme verilmesi önem taşımaktadır. Buna göre Kızılırmak suyu artık bir stepne, bir yedek su konumundan çıkmış olmaktadır.

ASKİ'den alınan bilgilere göre Kızılırmak hattının 2026 yılı ortası itibariyle günlük 750 bin m^3 su pompalayacak kapasitededir. Kurak dönemlerde tatlı su rezervuarlarında su miktarının mümkün olduğunca uzun süre korunması amacıyla (paçallama zorunluluğu nedeniyle) Kesikköprü Barajı'ndan fazla su çekebilmek için Kızılırmak hattının kapasitesinin artırılması (4. hattın inşa edilmesi) ve boru hatların bakımlarının kesintiye izin vermemek üzere sürekli olarak yapılması önem arz etmektedir. Ankara genelindeki su arzını daha da rahatlatmak amacıyla mevcut

3 hatta ek olarak, günlük kapasiteyi 1 milyon 200 bin metreküpe çıkaracak 4. hat yatırımı için de 2025 yılında ihaleler ve çalışmalar başlatılmıştır.

Ankara-Çankırı sınırındaki Koyunbaba Barajı'ndan Çubuk-2 Barajı'na su takviyesi için çalışmalar başlatılmıştır. 42 kilometrelik içme suyu iletim hattı, toplam 20 bin metreküp kapasiteli 4 su deposu ve 3 adet terfi merkezi kurulması planlanmaktadır. Koyunbaba Barajı'ından Çubuk-II Barajı'na yılda 9 milyon metreküp su aktarılması planlanmaktadır. Çubuk ve Akyurt için önemli bir miktardır.

ASKİ, kapasiteyi artırmak amacıyla DSİ'den Sarıyar Hasan Polatkan Barajından da su temini için görüş istemiştir. Alına bilgilere göre DSİ bu konuda herhangi bir çalışma olmadığı gerekçesiyle uygun cevap vermemiştir. ASKİ'ye göre yılda 200 hm^3 su alınabileceği öngörülmekte olup, bu konu henüz düşünce evresindedir. Barajın İvedik arıtma tesisine kuş uçuşu mesafesi 100 km'dir.

Yukarıda sözü edilen kapasite artırma çalışmalarının yanında başkentte su kullanımı konusunda bilgilendirme ve bilinçlendirme çalışmalarına ağırlık verilmesi ve halkın en çok da "su varken tasarrufta bulunması" son derece önemlidir. Konunun diğer ayağı ise, şebekeden kayıpların azaltılması hususudur. Bu konuda son yıllardaki iyileştirme çalışmalarına devam edilmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

Alp, M., Apaydın, A. (2022). Gerede Sisteminin Ankara içme suyuna katkısının analizi, DSİ Teknik Bülteni, Sayı 139, 32-52

ASKİ, (2013). Ankara'da su altyapısı, AnkaraBüyükşehir Belediyesi, ASKİ GenelMüdürlüğü yayını, yayın No: 9, Anadolu'dasu medeniyeti dizisi: 6, SFN TelevizyonTanıtım Tasarım Yayıncılık ISBN 978-9944-473-62-0.

TARİHSEL KAYITLARA GÖRE DOĞU KARADENİZ HAVZASI'NDAKİ AKARSU TAŞKINLARININ YERLEŞİM TİPLERİYLE İLİŞKİSİ

Şafak KANDEMİR[1] Ahmet APAYDIN[2]

[1]Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Bartın, Türkiye

[2]Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye

ahmet.apaydin@giresun.edu.tr, (ORCID: 0000-0002-6437-7208)

Özet

Sık sık sel ve taşkına maruz kalan Doğu Karadeniz Havzası'nda çeşitli resmi kaynaklardan ve akademik çalışmalardan derlenen 200 farklı tarihli (1956-2023 arası) 357 taşkından 344'ünün (% 96) il ve ilçe merkezlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu 344 taşkın olayının 248'i sahil yerleşimlerinde, 94'ü iç kesimlerdeki vadi içi yerleşimlerde, 2'si yüksek bölge yerleşimlerinde meydana gelmiş, toplam 394 insan kaybının 326'sı sahil, 68'i vadi içi yerleşimlerde gerçekleşmiş, yüksek bölge yerleşimlerinde ise insan kaybına rastlanmamıştır. Buna göre taşkınların yaklaşık dörtte üçü sahil, dörtte biri vadi içi, sadece % 0,6'sı yüksek bölge yerleşimlerinde meydana gelmiştir. İnsan kayıplarının ise %83'ü sahil yerleşimlerinde, %17'si vadi içi yerleşimlerindedir. En fazla taşkın olan yerleşimler sırasıyla Çayeli, Pazar, Rize, Giresun, Altınordu (Ordu merkez ilçe), Güneysu, Fatsa, Of, Gümüşhane, Fındıklı ve Ortahisar (Trabzon merkez ilçe)'dir. İnsan kaybı en yüksek olan yerleşimler sırasıyla Çayeli, Sürmene, Akçaabat, Pazar, Rize, Dereli, Hopa, Ortahisar'dır. Bunlardan ilk dördünde insan kayıpları çok yüksek olup, havzadaki kentsel alanlardaki toplam kaybın %53'üne karşılık gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akarsu taşkını, taşkın envanteri, kentsel yerleşim, yerleşim tipi, Doğu Karadeniz Havzası

THE RELATIONSHIP BETWEEN RIVER FLOODS AND SETTLEMENT TYPES IN THE EASTERN BLACK SEA BASIN ACCORDING TO HISTORICAL RECORDS

Şafak KANDEMİR[1] Ahmet APAYDIN[2]

[1]Provincial Directorate of Environment, Urbanization and Climate Change, Bartın, Türkiye

[2]Giresun University, Engineering Faculty, Dept. of Civil Engineering, Giresun, Türkiye

ahmet.apaydin@giresun.edu.tr, (ORCID: 0000-0002-6437-7208)

Abstract

In the Eastern Black Sea Basin, which is frequently subject to floods and inundations, it has been determined that 344 (96%) of the 357 flood events—compiled from various official sources and academic studies and spanning the years 1956 to 2023—occurred in provincial and district centers. Of these urban floods, 248 occurred in coastal settlements, 94 in inland valley settlements, and 2 in highland settlements. Of the total of 394 human losses, 326 occurred in coastal settlements and 68 in valley settlements. No human losses were observed in highland settlements. Accordingly, approximately three-quarters of the floods occurred in coastal areas, one-quarter in valleys, and only 0,6 % in highland settlements. 83% of the human losses occurred in coastal areas, and the remainder in valleys. The settlements with the highest flooding were Çayeli, Pazar, Rize, Giresun, Altınordu (Ordu province center), Güneysu, Fatsa, Of, Gümüşhane, Fındıklı, and Ortahisar (Trabzon province center). The settlements with the highest human losses were Çayeli, Sürmene, Akçaabat, Pazar, Rize, Dereli, Hopa, and Ortahisar. Human losses were very high in the first four of these, accounting for 53% of the total loss in urban areas.

Keywords: River flood, flood inventory, urban settlement, settlement type, Eastern Black Sea Basin

1. GİRİŞ

Sel ve taşkınların meydana gelmesinde doğal faktörlerin ile insan faaliyetlerinin birlikte etkili olduğu, birçok araştırmada (Akman, 2021; Apaydın 2021; Binici ve Aksoy 2022; Yüksek vd. 2022) vurgulanmaktadır. (Apaydın 2024b) tarafından Ordu ve Giresun için yapılan bir çalışmada kentsel yerleşimlerde taşkınların meydana gelmesinde insan kaynaklı yerel faktörlerin meteorolojik faktörler ve akarsu havzasına ait faktörlerden daha belirleyici olduğuna örneklerle dikkat çekilmektedir. Türkiye'nin en fazla taşkın meydana gelen havzası olan (Kandemir 2025) Doğu Karadeniz Havzası'ndaki kentsel yerleşimlerin akarsu ile kot, yakınlık, konum yönünden ilişkisi, akarsu yatağının yerleşim içindeki kesiti, yatağın şekli, taban eğimi vb. yerel koşulların belirleyici olduğu Apaydın (2024a) ve Apaydın (2025) tarafından ifade edilmektedir.

Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgesi olan Doğu Karadeniz Havzası'nda Karadeniz'e dökülen birçok akarsu bulunmakta ve her akarsu özellikle kentsel yerleşimler için sel ve taşkın yönünden tehdit oluşturmaktadır. Havzada özellikle yaz aylarında gerçekleşen şiddetli yağışlara bağlı olarak sel ve taşkınlar meydana gelmekte, bunlardan özellikle kentsel yerleşimler (il ve ilçe merkezleri ile bazı beldeler) etkilenmektedir.

Doğu Karadeniz Havzası'ndaki kentsel yerleşimler Apaydın (2024a) tarafından sel ve taşkın tehlikesi yönüyle "sahil yerleşimleri", "vadi içi yerleşimler" ve "yüksek bölge yerleşimleri" olarak üç gruba ayrılmıştır. Bunlardan sahil yerleşimlerinin konum ve birden çok akarsu ile ilişkili olması nedeniyle sel ve taşkın yönünden en fazla tehlikeli olduğu, yüksek bölgedekilerin ise en güvenli yerleşimler olduğu ifade edilmektedir. Yüksek bölge yerleşimleri genellikle plato şeklindeki düzlük, sırt veya yamaçlarda olup, taşkın oluşturacak büyüklükteki bir akarsu ile ilişkili değildir. Sözü edilen çalışmada kastedilen sadece akarsu taşkınları değil, aynı zamanda her türlü sel (vadi ve yamaç seli, şehir seli) ve bazı sahil yerleşimlerinin karşı karşıya olduğu deniz taşkınlarıdır. Havzada toplu yerleşim olmasıyla kentsel özellik kazanmış 81 adet irili ufaklı yerleşimin 36 tanesi sahilde, 34'ü iç kesimde vadi içlerinde, 11'i ise yine iç kesimde yüksek bölgelerdedir.

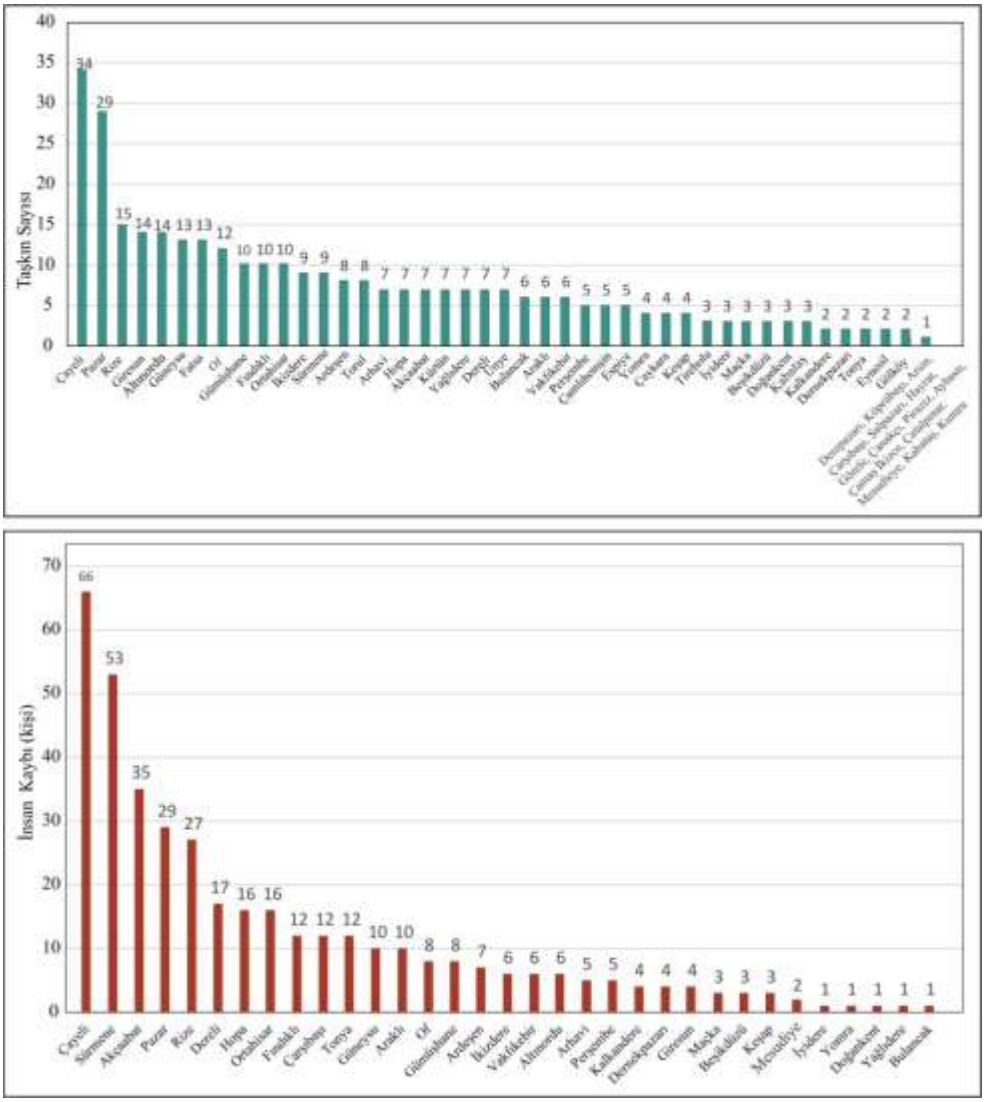
Bu bildiri, Kandemir (2025) tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Söz konusu tez çalışmasında, Doğu Karadeniz Havzası'nda 1956–2023 yılları arasında 195 farklı tarihte meydana gelmiş ve kayıtlara geçmiş 352 taşkın olayı (taşkın sayısı etkili olduğu il ve ilçe yerleşim sayısına göre belirlenmiştir); meteorolojik veriler, havza özellikleri ve insan faaliyetleri başlığı altında çoklu göstergelerle analiz edilerek, taşkınların oluşum biçimi, mekânsal ve zamansal dağılımı ve insan etkisi araştırılmış, yağış miktarı ve şiddeti, akarsu ve havza özellikleri, idari sınırlar ile nüfus gibi değişkenler dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerle taşkınlar kapsamlı biçimde incelenmiş ve elde edilen bulgular yorumlanmıştır. Bu bildiride, Kandemir (2025) başta olmak üzere çeşitli kaynaklardan derlenen taşkın kayıtlarının Apaydın (2024a) tarafından önerilen yerleşim sınıflarına dağılımı incelenmekte ve elde edilen bulgular yorumlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Doğu Karadeniz Havzası'nda tarihsel taşkın verilerine ulaşmak amacıyla öncelikle uluslararası kaynaklar araştırılmıştır. Uluslararası afet envanteri Emergency Events Database (EM-DAT) incelenmiştir. Türkiye üzerindeki afet envanter sistemleri araştırıldığında daha öncesi AFAD bünyesinde Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB) adlı afet envanterlerinin kayıtlarının tutularak hizmete açıldığı, ancak daha sonra erişime kapatıldığı öğrenilmiştir. Bu veri tabanı kapanmadan önce buradan veri alıp kullanan yayınlar (Haltaş, 2021, SYGM. (2020) incelenerek taşkın kayıtları derlenmiştir. Son olarak DSİ Taşkın Kontrol Dairesi arşivi taranarak, havzadaki bütün veriler topluca listelenmiştir. Taşkın kayıtları öncelikle geçmişten günümüze sıralanmış, taşkın tarihi, taşkının meydana geldiği il, ilçe, taşkına neden olan akarsu, taşkından etkilenen yer, insan kaybı ve ekonomik kayıp şeklinde bilgi girişi yapılmıştır. Ayrıca çeşitli haber sitelerinde tarama yapılarak kayıtlara geçmeyen ilave taşkın olayları da derlenerek listeye eklenmiştir. Elde edilen ana veri tablosuna göre her bir kentsel yerleşim (il ve ilçe merkezi) için taşkın sayısı, toplam insan kaybı listelenmiştir (sadece kentsel yerleşimlerde meydana gelen taşkınlar dikkate alınmıştır). Buna göre taşkınların ve insan kayıplarının Apaydın (2024a) tarafından gruplanan yerleşim tiplerine dağılımı incelenmiş ve bulgular yorumlanmıştır (söz konusu çalışmada yüksek bölge yerleşimi olarak tanımlanan Ordu'nun Gölköy ilçesi bu çalışmada vadi içi yerleşimi grubuna alınmıştır).

3. BULGULAR

1956-2023 yılları arasında derlenen 200 farklı tarihli 357 taşkından 344'ünün il ve ilçe merkezlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. En fazla taşkının Çayeli ve Pazar yerleşimlerinde (sırasıyla 34 ve 29 adet), en fazla insan kaybının ise Çayeli ve Sürmene'de (sırasıyla 66 ve 33 kişi) gerçekleşmiş olduğu, insan kayıplarının Akçaabat, Pazar ve Rize merkezde dikkat çekecek şekilde yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Taşkın sayılarının (üst) ve insan kayıplarının (alt) yerleşimlere dağılımı

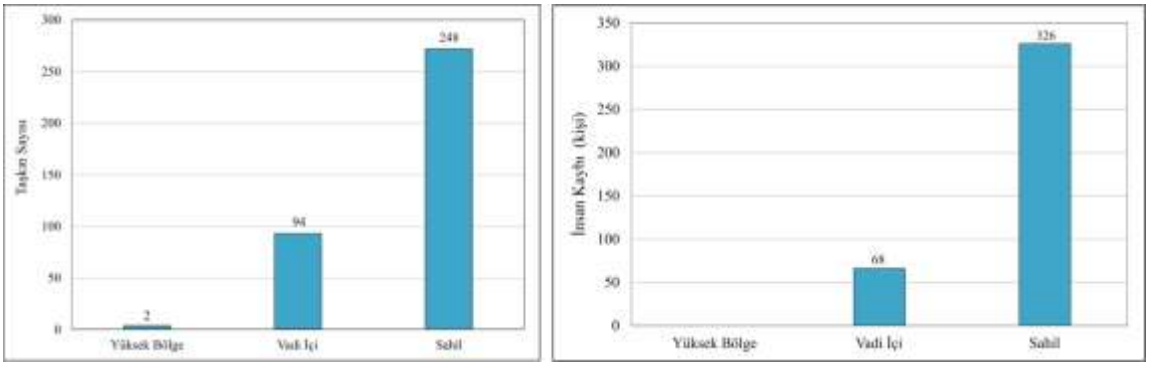
Havzadaki taşkın sayıları ve insan kayıplarının sahil, vadi içi ve yüksek bölge yerleşimlerine dağılımları Tablo 1'de listelenmiştir. Buna göre 344 taşkın olayının 248'i sahil yerleşimlerinde, 94'ü vadi içi yerleşimlerde ve 2'si yüksek bölge yerleşimlerinde meydana gelmiştir. İnsan kayıpları açısından değerlendirildiğinde, toplam 394 insan kaybının 326'sının sahil, 68'inin vadi içi yerleşimlerde meydana geldiği; yüksek bölge yerleşimlerinde ise insan kaybına rastlanmadığı belirlenmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3). Buna göre taşkınların neredeyse dörtte üçü (% 72,1) sahil yerleşimlerinde, dörtte biri (%27,3) iç kesimlerdeki vadi içi yerleşimlerde, sadece % 0,6'sı yüksek bölge yerleşimlerinde meydana gelmiştir. İnsan kayıplarının dağılımı ise sahil yerleşimlerde % 83, vadi içi yerleşimlerde % 17 şeklinde olup, yüksek bölge yerleşimlerinde herhangi bir insan kaybı kaydına rastlanmamıştır (Şekil 4).

Tablo 1. Apaydın (2024a)'a göre gruplandırılan yerleşim tiplerine taşkınların ve insan kayıplarının dağılımı

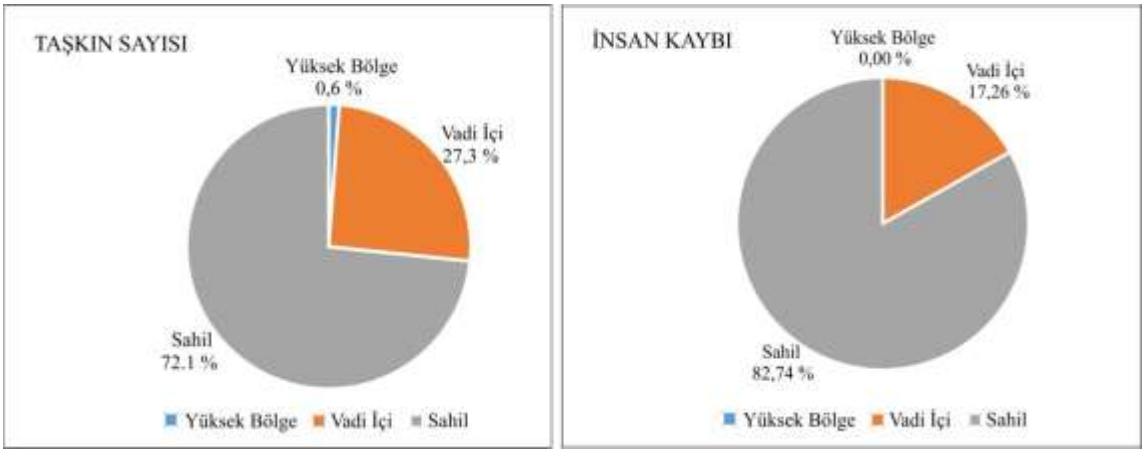
(Taşkın kaydı olmayan yerleşimler listeye alınmamıştır)

Yerleşim Grubu	İl	Yerleşim Adı	Taşkın Sayısı	İnsan Kaybı	Yerleşim Grubu	İl	Yerleşim Adı	Taşkın Sayısı	İnsan Kaybı
Sahil Yerleşimi	Artvin	Hopa	7	16	Vadi İçi Yerleşimi	Rize	Çamlıhemşin	5	0
		Arhavi	7	5			İkizdere	9	6
	Rize	Fındıklı	10	12			Kalkandere	2	4
		Ardeşen	8	7			Güneyssu	13	10
		Pazar	29	29		Trabzon	Çaykara	4	0
		Çayeli	34	66			Dernekpazarı	2	4
		Rize	15	27			Köprübaşı	1	0
		Derepazarı	1	0			Maçka	3	3
		İyidere	3	1			Tonya	2	12
	Trabzon	Of	12	8			Şalpazarı	1	0
		Sürmene	9	53		Gümüşhane	Gümüşhane	10	8
		Araklı	6	10			Torul	8	0
		Arsin	1	0			Kürtün	7	0
		Yomra	4	1		Giresun	Çanakçı	1	0
		Ortahisar	10	16			Doğankent	3	1
		Akçaabat	7	35			Yağlıdere	7	1
		Çarşıbaşı	1	12			Dereli	7	17
		Vakfıkebir	6	6		Ordu	İkizce	1	0
		Beşikdüzü	3	3			Gölköy	2	0
	Giresun	Eynesil	2	0			Çatalpınar	1	0
		Görele	1	0			Mesudiye	1	2
		Tirebolu	3	0			Kabataş	3	0
		Espiye	5	0			Kumru	1	0
		Keşap	4	3	Yüksek Bölge Yerleşimi	Ordu	Aybastı	1	0
		Giresun	14	4			Çamaş	1	0
		Bulancak	6	1					
		Piraziz	1	0					
	Ordu	Altınordu	14	6					
		Perşembe	5	5					
		Fatsa	13	0					
		Ünye	7	0					

Şekil 2. Doğu Karadeniz Havzası'nda kentsel yerleşimler ve tarihsel taşkın sayılarını gösteren harita

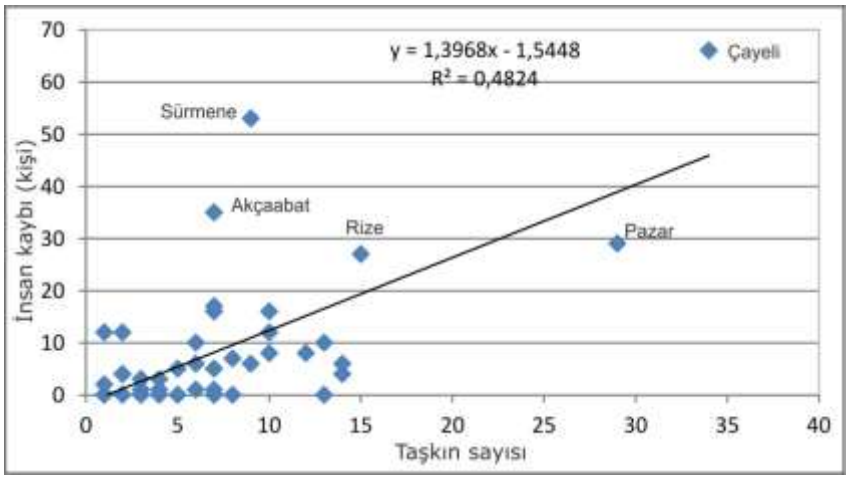


Şekil 3. Taşkın sayısı (sol) ve insan kayıplarının (sağ) yerleşim tiplerine dağılımının kolon diyagramları



Şekil 4. Taşkınların ve insan kayıplarının yerleşim tiplerine oransal dağılımının dairesel diyagramları

Havzada meydana gelen taşkın sayıları ile insan kayıpları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Özellikle, Sürmene ve Akçaabat'ta taşkın sayılarına göre insan kayıplarının fazlalığı, Fatsa ve Ünye'de taşkın sayısının fazlalığına rağmen insan kayıplarının azlığı, bu ilişkiyi zayıflatmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Doğu Karadeniz Havzası'nda insan kayıplarının taşkın sayıları ile ilişkisi

Sahil yerleşimlerinde taşkınların ve insan kayıplarının iç kesimlerdeki yerleşimlere göre belirgin bir şekilde yüksek olmasında, yerleşim içinden geçen akarsu sayısının fazlalığı, bu yerleşimlerin havza çıkışlarında olması nedeniyle (havza vadi içi yerleşimlere göre büyük) havzanın yüzeysel akışının tamamının yerleşim içinden geçmek zorunda olması, sahil yerleşimlerinde akarsu yatak eğiminin azalması, genellikle geniş alana yayılan büyük yerleşimler olmaları nedeniyle (havzadaki sahil yerleşimlerinin ezici çoğunluğu diğer tip yerleşimlere göre daha büyüktür) yerleşim içinde akarsu boyu uzun olup, örneğin yatak şeklinin kavisli olması, yapılaşma ile yatağın işgali, bazır köprü ve menfezlerin dar ve alçak oluşu, yatağın üzerinin kapatılması gibi yanlış uygulamalar (Apaydın 2024c) taşkın sayısını artırmaktadır. Bazı yerleşimlerde Karadeniz sahil yolunun yüzeysel drenaja karşı bariyer etkisi de söz konusudur (Apaydın 2023).

Yukarıda ifade edildiği gibi, sahil yerleşimlerinde taşkınların diğer tip yerleşimlere göre fazla olmasında yerleşim içinden geçen akarsu sayısının fazla olması (her akarsu ayrı bir tehlikedir) etkili olduğundan, bu tip yerleşimlerde akarsu sayıları ile taşkın sayıları veya insan kayıpları arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır (Tablo 2). Ancak doğrusal bir ilişki elde edilememiştir. Buna göre, taşkınlarda akarsu sayısının tek başına belirleyici olmadığı, yerleşimlere ait yukarıda sözü edilen insan kaynaklı faktörler ile havzaya ait özellikler ve meteorolojik faktörlerin rolünün birlikte etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu konu Kandemir (2025) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çayeli-Pazar-Rize arasındaki sahil bandında taşkın olaylarının fazlalığında özellikle yüksek yağışın belirleyiciliği dikkat çekicidir. Bu bölge Türkiye'nin en fazla ve en şiddetli yağış alan bölgesidir.

Tablo 2. Sahil yerleşimleri içinden geçen akarsu sayıları, taşkın sayıları ve insan kayıpları

İLÇE ADI	AKARSU SAYISI	TAŞKIN SAYISI	İNSAN KAYBI	İLÇE ADI	AKARSU SAYISI	TAŞKIN SAYISI	İNSAN KAYBI
Çayeli	3	34	66	Bulancak	4	6	1
Pazar	2	29	29	Vakfıkebir	3	6	6
Rize	3	15	17	Perşembe	2	5	5
Altınordu	5	14	6	Espiye	3	5	0
Giresun	6	14	4	Yomra	2	4	1
Fatsa	4	13	0	Keşap	2	4	3
Of	2	12	8	İyidere	1	3	1
Fındıklı	3	10	12	Beşikdüzü	3	3	3
Ortahisar	4	10	16	Tirebolu	1	3	0
Sürmene	3	9	53	Eynesil	2	2	0
Ardeşen	2	8	7	Arsin	1	1	0
Arhavi	2	7	5	Çarşıbaşı	2	1	12
Hopa	1	7	16	Görele	2	1	0
Akçaabat	3	7	35	Piraziz	3	1	0
Ünye	3	7	0	Kemalpaşa	2	0	0
Araklı	2	6	10	Gülyalı	1	0	0

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Türkiye'nin en fazla yağış alan havzası olan Doğu Karadeniz, havzadaki kentsel yerleşimlerin çoğu birçok faktöre bağlı olarak taşkın tehlikesi ile karşı karşıyadır. 1956-2023 arasında havzada kentsel yerleşimleri etkileyen 344 taşkın olayının yaklaşık dörtte üçü sahil yerleşimlerinde, dörtte biri iç kesimlerdeki vadi içi yerleşimlerde, sadece % 0,6'sı yüksek bölge yerleşimlerinde meydana gelmiştir. İnsan kayıplarının %83'ü sahil yerleşimlerinde, geri kalanı ise vadi içi yerleşimlerdedir.

Havzadaki taşkınların oluşmasında yağış ve havza özellikleriyle birlikte kentlere ait insan kaynaklı faktörler çok belirleyicidir ve her taşkın olayının kendine özgü bir hikâyesi vardır. Meydana geliş şekli, zamanı, şiddeti, yayılım alanı, insan faaliyetleri, kurtarma imkanları vb. birçok faktör insan ve mal kayıplarını etkilemektedir. Bu nedenle taşkın sayısı ile insan kaybı arasında veya akarsu sayısı ile taşkın sayısı veya insan kaybı arasında doğrusal bir ilişkinin kurulamaması doğaldır.

Taşkın envanter çalışmalarından elde edilecek önemli sonuçlardan biri, taşkın ve insan kaybı yüksek olan yerleşimleri belirleyerek buralara dikkat çekebilmektir. Bu bildiride elde edilen bulgulara göre Doğu Karadeniz Havzası'nda en fazla taşkın olan yerleşimler sırasıyla Çayeli, Pazar, Rize, Giresun, Altınordu (Ordu merkez), Güneysu, Fatsa, Of, Gümüşhane, Fındıklı ve Ortahisar (Trabzon merkez)'dir. Bu onbir yerleşimin dokuzu sahil yerleşimi, ikisi (Güneysu ve Gümüşhane) vadi içi yerleşimdir. Fazla taşkın olan sahil yerleşimlerinin büyük çoğunluğu havzadaki en büyük yerleşimler olup, bu yerleşimlerin her birinin içinden taşkın meydana gelen en az iki akarsu geçmektedir. İnsan kaybı en yüksek olan yerleşimler sırasıyla Çayeli, Sürmene, Akçaabat, Pazar, Rize,

Dereli, Hopa, Ortahisar'dır. Bunlardan ilk dördünde insan kayıpları çok yüksek olup, havzadaki kentsel yerleşimlerdeki toplam kaybın %53'üne karşılık gelmektedir.

KAYNAKLAR

Akman, M.U. (2021). "Taşkın koruma ve kontrol yapılarının değerlendirilmesi",Türk Hidrolik Dergisi (Tur. J. Hyd.), Cilt (Vol) : 5, Sayı (Number) : 1, Sayfa (Page) : 25-31.

Apaydın, A. (2025). Doğu Karadeniz Havzası'ndaki vadi içi yerleşimlerde taşkın oluşumuna etki eden faktörler konusunda uzman görüşleri hakkında bir araştırma, VI. Bilsel Uluslararası Harput Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 30-31 Ağustos, Elazığ, Bildiriler kitabı, 300-318.

Apaydın, A. (2024a). Doğu Karadeniz Havzası'ndaki kentsel yerleşimlerin sel ve taşkın tehlikesi yönüyle sınıflaması ve bazı önemli örneklerin incelenmesi, I. Uluslararası Ayasofya Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi-İstanbul-Türkiye, 17-18 Kasım 2024, 764-786.

Apaydın, A. (2024b). "Ordu ve Giresun sahilindeki kentsel yerleşimlerin sel ve taşkın tehlikesi yönünden karşılaştırmalı incelemesi", 1. International Ayasofya Scıentific Researches and Innovation Congress, 16-17 November 2024 İstanbul-Türkiye, 781-811.

Apaydın, A. (2024c). Ordu ve Giresun'daki kentsel yerleşimlerde taşkın tehlikesini artıran durumlar, 1. Uluslararası Ankara Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi, 21-22 Aralık 2024, Ankara, bildiriler kitabı, 591-602.

Apaydın, A. (2023). Karadeniz Sahil Yolunun yüzey drenajına etkilerinin Giresun'dan bazı örneklerle incelenmesi, II. Bilsel Uluslararası Dünya Bilim ve Araştırma Kongresi-İstanbul, 484-499.

Apaydın, A. (2021). "22 Ağustos 2020 Tarihli Taşkına Neden Olan Dereli Deresi (Giresun) Havza Analizleri, Taşkının Nedenleri ve Sonuçları". Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 11(2), 392-425.

Binici F, Aksoy, T. (2022). "Şehirleşmenin taşkın üzerindeki etkisi", GSI Journals Serıe C: Advancements In Information Scıences And Technologıes, Volume: 5, Issue: 1, 64-76.

Haltaş, İ., Yıldırım, E., Öztaş, F., Demir, İ. (2021). A Comprehensive Flood Event Specification And İnventory: 1930–2020 Turkey Case Study.10-11.

Kandemir, Ş. (2025). Doğu Karadeniz Havzası'nda meydana gelen taşkınların çoklu göstergelerle analizi, Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniv. Fen Bilimleri Enst. 158 s.

SYGM (2020). Doğu Karadeniz Havzası Taşkın Yönetim Planı. Ankara, (2) 139-152.

Yüksek İ, Babacan HT, Yüksek O. (2022). "Doğu Karadeniz Havzası'nda Taşkın Sebepleri, Zararları ve Taşkın Yönetimi Çalışmaları", Türk Hidrolik Dergisi (Tur. J. Hyd.), Cilt (Vol) : 6, Sayı (Number) : 2, Sayfa (Page) : 36-46.

İNSANİ GÜVENLİK BAĞLAMINDA GIDA GÜVENLİĞİ: KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME ARACI OLARAK GIDA BANKACILIĞI UYGULAMALARI

Doç. Dr. Gökhan DUMAN[1]

[1]İzmir Demokrasi Üniversitesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü, Uluslararası İlişkiler,

g.duman@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7007-3542

Özet

Soğuk Savaş sonrası dönemde güvenlik kavramı, devlet merkezli ve askeri tehdit odaklı geleneksel yaklaşımdan uzaklaşarak bireyi merkeze alan çok boyutlu bir çerçeveye evrilmiştir. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın 1994 tarihli İnsani Gelişme Raporu'yla akademik ve siyasi gündeme yerleşen insani güvenlik yaklaşımı; ekonomik, çevresel, kişisel, toplumsal, siyasi güvenlik ve sağlık güvenliğiyle birlikte gıda güvenliğini de temel bileşenlerinden biri olarak tanımlamaktadır. Bu çalışma, insani güvenliğin gıda güvenliği boyutunu, dünya genelinde giderek yaygınlaşan gıda bankacılığı uygulamaları üzerinden somutlaştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada öncelikle insani güvenlik kavramının kökenleri, kapsamı ve gıda güvenliğiyle kesişim noktaları teorik düzeyde ele alınacak; ardından gıda güvenliğinin sağlanmasında devlet-dışı aktörlerin, özellikle sivil toplum kuruluşları eliyle yürütülen gıda bankacılığı sisteminin işlevi tartışılacaktır. Bu bağlamda Amerika Birleşik Devletleri'nde Feeding America ağının, Kanada'da Food Banks Canada'nın ve Avrupa'da The European Food Banks Federation (FEBA) çatısı altındaki ulusal ağların kurumsal yapılanması, işleyiş modelleri ve karşılaştıkları yapısal sorunlar karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Çalışmanın temel amacı, gıda bankacılığının yalnızca bir yoksullukla mücadele veya israfı önleme aracı olarak değil, aynı zamanda insani güvenliğe ulaşılmasına ve sürdürülmesine katkı sunan bir sosyal koruma mekanizması olarak ele alınması ve değerlendirilmesidir. Ancak farklı ülke deneyimleri, bu mekanizmanın kalıcı ve yapısal bir gıda güvenliği politikasının yerine geçmemesi, tamamlayıcı bir araç olarak konumlandırılması gerektiğini de göstermektedir.

Anahtar kelimeler: İnsani Güvenlik, Gıda Güvenliği, Gıda Bankacılığı, Sivil Toplum

FOOD SECURITY IN THE CONTEXT OF HUMAN SECURITY: FOOD BANK PRACTICES AS A COMPARATIVE ASSESSMENT TOOL

Abstract

In the post-Cold War era, the concept of security has evolved from a traditional, state-centered approach focused on military threats to a multidimensional framework that places the individual at its center. The human security approach, which was introduced to the political agenda by the United Nations Development Program's 1994 Human Development Report, defines food security as one of its fundamental components, alongside economic, environmental, personal, social, political, and health security. This study aims to concretize the food security dimension of human security through the increasingly widespread practice of food banking around the world. The study will first examine the origins, scope, and points of intersection between the concept of human security and food security at a theoretical level; it will then discuss the role of non-state actors in ensuring food security. In this context, the institutional structures, operational models, and structural challenges faced by the Feeding America network in the United States, Food Banks Canada in Canada, and the national networks under the umbrella of The European Food Banks Federation in Europe will be examined comparatively. The primary objective of this study is to frame food banking not merely as a tool for combating poverty or preventing waste, but also as a social protection mechanism that contributes to achieving and sustaining human security. However, experiences from different countries also indicate that this mechanism should not replace a permanent and structural food security policy but rather be positioned as a complementary tool.

Keywords: Human Security, Food Security, Food Banking, Civil Society

1. GİRİŞ

Soğuk Savaş'ın sona ermesiyle birlikte uluslararası ilişkiler disiplininde güvenlik kavramı üzerine yürütülen tartışmalar köklü bir dönüşüm geçirmiştir. Geleneksel güvenlik anlayışı, güvenliğin öznesi olarak devleti merkeze almış, tehdidin kaynağını çoğunlukla başka bir devletten gelen askerî tehdit olarak tanımlamış ve güvenliği sağlama yükümlülüğünü yine devlete yüklemiştir (Buzan, 1991). Bu anlayışa göre güvenlik, sınırların korunması, caydırıcılığın sağlanması ve askerî kapasitenin güçlendirilmesiyle özdeşleştirilmiş; bireyin günlük yaşamını tehdit eden yoksulluk, açlık, hastalık ya da çevresel bozulma gibi unsurlar güvenlik gündeminin dışında bırakılmıştır.

Ancak 1990'lı yıllarla birlikte iç savaşlar, etnik çatışmalar, ekonomik krizler, salgın hastalıklar ve gıdaya erişim sorunlarının uluslararası gündemde giderek daha belirgin hâle gelmesi, güvenlik kavramının hem genişletilmesi hem de derinleştirilmesi yönünde bir ihtiyaç doğurmuştur (Buzan, Wæver ve de Wilde, 1998). Bu dönüşümün en somut ve kurumsal yansımalarından biri, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın (UNDP) 1994 tarihli İnsani Gelişme Raporu'nda resmî olarak tanımladığı insani güvenlik yaklaşımıdır (UNDP, 1994). İnsani güvenlik, güvenliğin öznesini devletten bireye kaydırarak *korkudan özgürlük* ve *yoksulluktan özgürlük* ilkelerini merkeze almış; ekonomik güvenlik, sağlık güvenliği, çevresel güvenlik, kişisel güvenlik, toplumsal güvenlik ve siyasi güvenlikle birlikte gıda güvenliğini de insani güvenliğin yedi temel bileşeninden biri olarak tanımlamıştır (UNDP, 1994; Kaldor, 2007). Gıda güvenliğinin insani güvenlik çerçevesi içinde ele alınması, gıdaya erişimin yalnızca bir tarım ya da kalkınma politikası meselesi değil, aynı zamanda bireyin onurlu ve sürdürülebilir bir yaşam sürebilmesinin temel koşullarından biri olarak kabul edilmesi anlamına gelmektedir. Bu bağlamda gıda güvenliğinin sağlanmasında yalnızca devletin değil, sivil toplum kuruluşlarının ve özel sektörün de aktif rol üstlendiği görülmektedir. Dolayısıyla sivil toplum öncülüğünde hayata geçirilen gıda bankacılığı uygulamaları özel bir önem taşımaktadır.

Gıda bankacılığı, üretim, dağıtım ya da perakende aşamalarında satılabilir niteliğini yitirmiş ancak tüketime elverişli gıda maddelerinin toplanarak ihtiyaç sahiplerine ulaştırılmasını amaçlayan bir sosyal yardım modelidir. İlk olarak 1967 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkan bu model, kısa sürede Kuzey Amerika'nın ve Avrupa'nın farklı ülkelerine yayılmış; günümüzde milyonlarca insanın temel gıda ihtiyacının karşılanmasında kritik bir işlev üstlenmiştir (Poppendieck, 1998; Riches ve Silvasti, 2014).

Bu çalışmanın amacı, insani güvenlik yaklaşımının gıda boyutunu, devlet-dışı aktörler eliyle yürütülen gıda bankacılığı uygulamaları üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Çalışmada öncelikle gıda güvenliği kavramının ve gıda bankacılığının tanımı, kökeni ve işleyiş mantığı açıklanacak, daha sonra Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Avrupa'daki uygulamalar karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Sonuç bölümünde ise gıda

bankacılığının insani güvenliğin sağlanmasına katkısı ve bu modelin yapısal sınırlılıkları tartışılarak, gıda bankacılığının kalıcı bir gıda güvenliği politikasının yerini alıp alamayacağı sorgulanacaktır.

2. GIDA GÜVENLİĞİ VE GIDA BANKACILIĞI

Gıda güvenliği kavramı, uluslararası literatürde en yaygın biçimde Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) tanımı üzerinden ele alınmaktadır. FAO'ya göre gıda güvenliği, insanların her zaman, aktif ve sağlıklı bir yaşam için ihtiyaç duydukları gıdaya fiziksel, sosyal ve ekonomik açıdan yeterli, güvenli ve besleyici bir biçimde erişebilmesi durumunu ifade etmektedir (FAO, 1996). Bu tanım, 1996 yılında düzenlenen Dünya Gıda Güvenliği Zirvesi'nde kabul edilen Roma Bildirgesi'nde resmileştirilmiş ve sonraki yıllarda düzenlenen uluslararası zirvelerde yeniden teyit edilmiştir (FAO, 2009).

Gıda güvenliğinin sağlanmasında geleneksel olarak devletin birincil sorumlu aktör olduğu kabul edilmektedir. Devletler, tarım politikaları, sosyal yardım programları, gıda denetim sistemleri ve stratejik gıda rezervleri aracılığıyla vatandaşlarının gıdaya erişimini güvence altına almaya çalışmaktadır. Ancak 1980'li yıllardan itibaren birçok gelişmiş ülkede refah devletinin daralması, kamu harcamalarının kısıtlanması ve sosyal yardım sistemlerinin yetersiz kalması, gıda güvenliğinin sağlanmasında sivil toplum kuruluşlarının ve gönüllü örgütlerin aktif rol üstlenmesini gerekli kılmıştır (Poppendieck, 1998; Riches, 2002). Bu bağlamda ortaya çıkan en yaygın ve kurumsallaşmış model, gıda bankacılığıdır. Gıda bankacılığı, üretim fazlası, ambalaj hatası, son kullanma tarihine yaklaşması ya da estetik kusurlar nedeniyle piyasa değerini yitirmiş ancak tüketime elverişliliğini koruyan gıda maddelerinin üretici, toptancı ve perakendecilerden toplanarak, aracı sivil toplum kuruluşları eliyle ihtiyaç sahiplerine ulaştırılması sürecini kapsayan bir sosyal yardım modelidir (Riches, 2002; Tarasuk ve Eakin, 2005). Bu modelin hem gıda israfının azaltılmasını hem de yoksul ve dezavantajlı grupların temel gıda ihtiyacının karşılanmasını aynı anda hedeflemesi sebebiyle ikili amaçlı bir uygulama olarak nitelendirilmesi mümkündür.

Gıda bankacılığının kökeni, 1967 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Arizona eyaletinde emekli bir iş insanı olan John van Hengel'in, süpermarketlerin elden çıkardığı ancak hâlâ tüketilebilir nitelikteki gıdaları toplayarak ihtiyaç sahiplerine dağıtmak amacıyla kurduğu bir depoya dayanmaktadır. Van Hengel'in geliştirdiği bu model, gıdaların doğrudan ihtiyaç sahiplerine değil, yerel yardım kuruluşlarına toplu biçimde ulaştırılması esasına dayanmakta; böylece *banka* metaforuyla tanımlanan bir aracılık ve depolama mekanizması oluşturulmuştur (Poppendieck, 1998).

3. KUZEY AMERİKA VE AVRUPA DENEYİMLERİ

Amerika Birleşik Devletleri, gıda bankacılığı modelinin hem doğduğu hem de en kurumsallaşmış biçimde uygulandığı ülke konumundadır. John van Hengel'in öncülüğünde başlayan uygulama, 1979 yılında kurulan America's Second Harvest ağıyla ulusal bir yapıya kavuşmuş, 2008 yılında ise Feeding America adını almıştır. Günümüzde Feeding America, ülke genelinde 200'e yakın bölgesel gıda bankası ve bunlara bağlı on binlerce

yerel yardım kuruluşundan oluşan bir ağ aracılığıyla faaliyet göstermekte; çocuklar, yaşlılar ve ailelere düzenli gıda yardımı sağlamaktadır. 2020 yılında başlayan COVID-19 pandemisi, Feeding America ağı üzerindeki talebi belirgin biçimde artıran bir kırılma noktası olmuştur. Pandemi döneminde uygulanan kapanma tedbirleri, işsizlik oranlarındaki ani yükseliş ve tedarik zincirlerinde yaşanan aksaklıklar, ağa bağlı gıda bankalarının hem talep hem de operasyonel kapasite açısından ciddi bir baskı altında kalmasına neden olmuştur. Bu deneyim, gıda bankacılığı gibi gönüllülük ve bağışa dayalı sistemlerin, tam da toplumsal krizlerin en yoğun yaşandığı dönemlerde kırılganlaşabildiğini bir kez daha gözler önüne sermiştir.

Kanada'da ise gıda bankacılığı, 1980'li yılların başında ekonomik durgunluk ve işsizlik oranlarındaki artışın etkisiyle yaygınlaşmaya başlamıştır. Ülke genelindeki gıda bankalarını bir çatı altında toplayan Food Banks Canada (önceki adıyla Canadian Association of Food Banks), gıda bankası kullanıcılarının yaklaşık %80'ine hizmet veren kuruluşları temsil eden ulusal bir koalisyon olarak faaliyet göstermektedir. Kuruluş, herhangi bir devlet kademesinden doğrudan mali destek almamakta; toplanan ya da bağışlanan gıdaların üye gıda bankalarına verimli bir biçimde ulaştırılması amacıyla ülke genelindeki nakliye şirketleriyle bağış temelli iş birlikleri yürütmektedir. Food Banks Canada'nın en dikkat çekici işlevlerinden biri, özel sektör, kamu kurumları ve gıda bankaları arasında bir irtibat mekanizması olarak hareket etmesi ve gıda bankalarının taleplerini kamuoyuna ve karar alıcılara taşımasıdır. Kanada deneyimi, gıda bankacılığının yalnızca bir gıda dağıtım mekanizması olarak değil, aynı zamanda yoksulluk ve gıda güvencesizliği konusunda savunuculuk yapan bir sivil toplum ağı olarak da işlev görebileceğini göstermektedir. Ancak Kanadalı araştırmacılar, gıda bankalarının artan kullanım oranlarının, aslında ülkedeki yapısal yoksulluk ve gelir güvencesizliği sorununun çözülemediğinin bir göstergesi olduğuna dikkat çekmektedir (Tarasuk ve Eakin, 2005).

Avrupa kıtasında ise gıda bankacılığı modeli, 1984 yılında Fransa'da kurulan ilk gıda bankasının ardından kıta geneline yayılmıştır. Avrupa ülkelerindeki ulusal gıda bankası ağlarını bir araya getiren The European Food Banks Federation (FEBA), çatı bir örgüt olarak üye ülkeler arasında bilgi paylaşımı, standart belirleme ve Avrupa Birliği kurumlarıyla ilişkilerin yürütülmesi işlevlerini üstlenmektedir. FEBA'ya üye ülkeler arasında Fransa, İtalya, İspanya, Polonya ve Birleşik Krallık gibi hem gelişmiş hem de görece geç sanayileşmiş Avrupa ülkeleri yer almaktadır; bu durum modelin farklı refah devleti yapılarına sahip ülkelerde de uygulanabilirliğini göstermesi bakımından önemlidir.

Avrupa deneyimi, gıda bankacılığının farklı refah rejimleriyle nasıl etkileşime girdiğini anlamak açısından zengin bir karşılaştırma zemini sunmaktadır. Örneğin Birleşik Krallık'ta, 2008 küresel finans krizi ve sonrasında uygulanan kemer sıkma politikalarıyla birlikte gıda bankası kullanımında keskin bir artış gözlemlenmiştir. Lambie-Mumford (2013), bu artışın yalnızca ekonomik krizin bir sonucu olmadığını, aynı zamanda sosyal güvenlik sisteminde yapılan kesintilerin ve yardım başvurularındaki bürokratik gecikmelerin de gıda bankası

talebini artıran yapısal etkenler arasında yer aldığını ortaya koymaktadır. Benzer biçimde Caraher ve Furey (2018), Avrupa genelinde gıda bankacılığının, kamu bütçelerindeki kesintilerin yarattığı boşluğu dolduran ama bu boşluğun nedenlerini ortadan kaldırmayan bir tampon mekanizma işlevi gördüğünü belirtmektedir.

FEBA çatısı altında yer alan ulusal ağların ölçeği ülkeden ülkeye önemli farklılıklar göstermektedir; Fransa ve İtalya gibi kurucu üyelerdeki ağlar, onlarca yıllık kurumsal deneyime ve geniş bir gönüllü tabanına sahipken, Orta ve Doğu Avrupa'daki bazı üye ülkelerde gıda bankacılığı görece daha yeni bir uygulama olarak gelişimini sürdürmektedir. Bu heterojen yapı, FEBA'nın temel işlevlerinden birinin de üye ülkeler arasında bilgi birikimi ve en iyi uygulama örneklerinin aktarılmasını sağlamak olduğunu göstermektedir. Avrupa Birliği'nin Avrupa Sosyal Fonu ve Avrupa En Yoksun Kişilere Yönelik Yardım Fonu gibi mekanizmalar aracılığıyla sağladığı kısmi destekler de Avrupa'daki gıda bankacılığı ağlarının Kuzey Amerika'dakine kıyasla kamu kaynaklarıyla daha görünür bir etkileşim içinde olduğuna işaret etmektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma, insani güvenlik yaklaşımının gıda güvenliği boyutunu, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Avrupa'daki gıda bankacılığı uygulamaları üzerinden karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bulgular, gıda bankacılığının, devletin tek başına karşılayamadığı acil gıda ihtiyaçlarına karşı esnek ve hızlı bir yanıt sunarak insani güvenliğin koruma işlevine önemli bir katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca model, gıda israfının azaltılması ve toplumsal dayanışmanın güçlendirilmesi gibi yan faydalar da üretmektedir. Bununla birlikte, gıda bankacılığının yapısal sınırlılıkları da göz ardı edilmemelidir. Bağışa dayalı tedarik yapısı nedeniyle beslenme kalitesi konusunda sorunlar yaşanabilmekte, modelin sürdürülebilirliği bağışların ve gönüllü işgücünün devamlılığına bağlı kalmakta ve en önemlisi, gıda bankacılığının kurumsallaşması, devletlerin kapsayıcı sosyal güvenlik politikaları geliştirme yönündeki siyasi motivasyonunu zayıflatma riski taşımaktadır. Bu durum, gıdaya erişimin bir insan hakkı olarak değil, hayırseverlik temelli bir yardım olarak yeniden çerçevelenmesine yol açabilmekte; bu da insani güvenlik yaklaşımının insan haklarına dayalı ve önleyici ilkeleriyle zaman zaman ters düşmektedir.

Sonuç olarak, gıda bankacılığı insani güvenliğin sağlanmasında değerli ancak tek başına yeterli olmayan bir araçtır. Bu modelin, kalıcı ve yapısal bir gıda güvenliği politikasının yerine geçen bir mekanizma olarak değil, devletin sosyal koruma sistemlerini tamamlayan geçici ve acil bir destek unsuru olarak konumlandırılması gerekmektedir. Gelecekteki araştırmaların, gıda bankacılığı ile kapsayıcı sosyal politika araçları (asgari gelir programları, gıda damgası benzeri uygulamalar, okul beslenme programları vb.) arasındaki etkileşimi ve bu araçların insani güvenliğin farklı bileşenleri üzerindeki bileşik etkilerini karşılaştırmalı biçimde incelemesi, alan yazınına önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Buzan, B. (1991). *People, states and fear: An agenda for international security studies in the post-Cold War era (2nd ed.)*. Lynne Rienner Publishers.

Buzan, B., Wæver, O., ve de Wilde, J. (1998). *Security: A new framework for analysis*. Lynne Rienner Publishers.

Caraher, M., ve Furey, S. (2018). *The economics of emergency food aid provision: A financial, social and cultural perspective*. Palgrave Macmillan.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1996). *Rome declaration on world food security*. FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *Declaration of the world summit on food security*. FAO.

Kaldor, M. (2007). *Human security: Reflections on globalization and intervention*. Polity Press.

Lambie-Mumford, H. (2013). 'Every town should have one': Emergency food banking in the UK. *Journal of Social Policy, 42(*1), 73–89.

Poppendieck, J. (1998). *Sweet charity? Emergency food and the end of entitlement.* Viking.

Riches, G. (2002). Food banks and food security: Welfare reform, human rights and social policy. Lessons from Canada? *Social Policy & Administration, 36*(6), 648–663.

Riches, G., ve Silvasti, T. (Eds.). (2014). *First world hunger revisited: Food charity or the right to food?* (2nd ed.). Palgrave Macmillan.

Tarasuk, V., ve Eakin, J. M. (2005). Food assistance through 'surplus' food: Insights from an ethnographic study of food bank work. *Agriculture and Human Values, 22(*2), 177–186.

United Nations Development Programme. (1994). *Human development report 1994: New dimensions of human security*. Oxford University Press.

TARIMSAL DESTEKLEMELERDEN YARARLANMA, YETERLİLİK ALGISI VE ÜRETİM KARARLARINA ETKİSİ: KAYSERİ İLİ ÖRNEĞİ

Mehmet KAŞTANOĞLU 1/ Doç. Dr. Nermin BAHŞİ 2

1 Bağımsız Araştırmacı, Kayseri, Türkiye, kastanoglu38@gmail.com - ORCİD: 0009-0005-9097-7126

2Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, nerminbahsi@osmaniye.edu.tr – ORCİD: 0000-0003-1630-7720

Özet

Bu çalışma, Kayseri'nin Yeşilhisar ve Yahyalı ilçelerinde üreticilerin tarımsal desteklerden yararlanma, desteklerin yeterliliği ve ödeme zamanına ilişkin memnuniyet, kullanım biçimleri ve üretim kararlarına etkisini incelemektedir. Üreticilerin %94,6'sı en az bir destekten yararlanırken, destekleri yeterli bulanların oranı %32,1, ödeme zamanından memnun olanların oranı ise %24,5'tir. Mazot-gübre-toprak analizi, fark ödemesi, yem bitkisi ve tarım sigortası en yaygın desteklerdir; hayvancılık ödemelerinin önemli kısmı borç ve hane ihtiyaçlarına yönelmektedir. Katılımcıların tamamı desteklerin ve taban fiyatların üretim kararlarını etkilediğini belirtirken, algılanan destek performansı/yeterliliği indeksi düşük (ort.=2,13/5), üretim kararı etkisi indeksi ise çok yüksektir (ort.=4,89/5). Destekleri yeterli bulanlarda ödeme zamanı memnuniyeti belirgin biçimde daha yüksektir (Fisher $p<0,001$; $V=0,676$). Bulgular, desteklere erişimin tek başına politika başarısı göstergesi olmadığını; miktar, zamanlama ve öngörülebilirliğin üretici memnuniyetinin odak noktası olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Tarımsal desteklemeler; çiftçi memnuniyeti; ödeme zamanı; üretim kararları; tarım politikası

AGRICULTURAL SUPPORT UPTAKE, PERCEIVED ADEQUACY, AND EFFECTS ON PRODUCTION DECISIONS IN THE YEŞILHISAR AND YAHYALI DISTRICTS OF KAYSERI PROVINCE, TÜRKIYE

Abstract

This study examines how producers in the Yeşilhisar and Yahyalı districts of Kayseri utilize agricultural support measures, as well as their satisfaction regarding the adequacy and timing of payments, the ways in which the support is utilized, and the impact of these measures on production decisions. While 94.6% benefited from at least one support programme, only 32.1% considered supports adequate and 24.5% were satisfied with payment timing. Fuel-fertiliser-soil analysis, deficiency payments, forage-crop, and agricultural insurance supports were most common; livestock-related payments were often directed toward debt and household needs. Nearly all respondents reported that support payments and floor prices affected their production decisions. The perceived support adequacy index was low (mean=2.13/5), whereas the production-decision influence index was very high (mean=4.89/5). Satisfaction with payment timing was substantially higher among respondents regarding supports as adequate (Fisher $p<0.001$; $V=0.676$). Access alone is thus an insufficient indicator of policy success; amount, timing, and predictability are focus to farmers' evaluations.

Keywords: Agricultural support; farmer satisfaction; payment timing; production decisions; agricultural policy

1. GİRİŞ

Tarım sektörünün doğal koşullara, fiyat dalgalanmalarına ve dönemsel finansman gereksinimine duyarlı yapısı, üretimin sürekliliğini ve gıda arz güvenliğini desteklemek amacıyla çeşitli kamu müdahalelerini gerekli kılmaktadır. Bununla birlikte, bir destek programının kapsamına giren üretici sayısı veya yapılan ödeme tutarı, politikanın üretici bakımından ne ölçüde işlevsel olduğunu tek başına açıklayamaz. Desteklerin üretim takvimiyle uyumu, miktarının girdi maliyetleri karşısındaki yeterliliği, başvuru süreçlerinin erişilebilirliği ve üretici kararları üzerindeki etkisi birlikte değerlendirilmelidir.

Türkiye'de üretici desteğinin bileşimi ve politika araçları dönüşmeye devam etmektedir. OECD (2025), 2022-2024 döneminde üretici destek tahmininin brüt çiftlik hasılasının yaklaşık %9'una karşılık geldiğini ve üretici desteğinin önemli bölümünün piyasa fiyat desteğinden (% 68) oluştuğunu bildirmektedir. Üretim planlamasıyla birlikte temel, planlı üretim ve üretimi geliştirme ödemelerini bir araya getiren yeni destek yaklaşımı uygulanmaya başlanmış (OECD, 2025), 2025-2027 dönemine ilişkin desteklemelerin çerçevesi yayımlanmıştır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025).

Türkiye'de üretici memnuniyetine odaklanan çalışmalar, desteklerden yararlanma ile desteklerin yeterli ve zamanında bulunması arasında belirgin bir ayrışma olabileceğini göstermektedir. Topçu (2008), Erzurum ilinde çiftçilerin tarımsal destekleme politikalarından yararlanma istekliliğini etkileyen faktörleri incelemiş ve desteklere erişimin işletme ve üretici özelliklerine göre farklılaştığını ortaya koymuştur; bu bulgu, desteklerden yararlanmanın kendiliğinden homojen bir süreç olmadığına işaret etmesi bakımından güncel tartışmayla ilişkilidir. Demirtaş (2021), 426 üreticiye dayalı doğrulayıcı faktör analizinde finansal yapıyı koruyan destekler ile hayvancılık desteklerinin memnuniyet açısından güçlü boyutlar olduğunu; üreticilerin girdi kullanımı ve bitkisel üretim yönünden daha fazla desteğe ihtiyaç duyduğunu belirlemiştir. Kızıl ve Akten Çürük (2021), katılımcıların %85'inin destek tutarlarının maliyetleri yeterince yansıtmadığı, ödemelerin finansmana ihtiyaç duyulan zamanda yapılmadığı ve destek açıklamalarının ekim kararlarından sonra geldiği görüşünde olduğunu bildirmiştir. Tokat'ta yem bitkisi üreticilerinin %56,25'i destekten memnun olmakla birlikte %75'i miktarı yetersiz bulmuştur (Ayyıldız ve Çiçek, 2023). TRA1 Bölgesi'nde 570 işletmenin yalnızca %20'si desteklerden memnun veya çok memnun olduğunu belirtmiş; gecikmiş ödemeler ve karmaşık başvuru süreçleri başlıca sorunlar arasında yer almıştır (Aksoy ve ark., 2025).

Literatürde desteklere erişim, belirli destek türlerinden yararlanma ve memnuniyet ayrı ayrı incelenmiş olsa da, desteklerin fiilen hangi harcama kalemlerine yöneldiğini, üretim kararları üzerindeki algılanan etkisini ve yeterlilik-zamanlama ilişkisini aynı yerel veri setinde birlikte ele alan çalışmalar sınırlıdır. Bu araştırmanın amacı, Yeşilhisar ve Yahyalı ilçelerindeki üreticiler için (i) sosyoekonomik ve işletme özelliklerini tanımlamak, (ii) desteklerden yararlanma düzeyi ile yararlanılan destek türlerini ve bilgi kaynaklarını belirlemek, (iii) desteklerin

yeterliliği, ödeme zamanı ve kullanım biçimlerini incelemek ve (iv) memnuniyetle ilişkili temel düşünceleri ortaya koymaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Veri kaynağı ve çalışma grubu

Araştırmanın ana materyalini, 2023 yılında Kayseri ilinin iki ilçesinde (Yeşilhisar, Yahyalı) tarımsal faaliyette bulunan çiftçilerden anket yoluyla toplanan birincil veriler oluşturmaktadır. Katılımcıların 43'ü Yeşilhisar, 13'ü Yahyalı ilçesindendir; köy dağılımı Musahacılı (n=43), Kopçu (n=8), İlyaslı (n=4) ve Yerköy (n=1) biçimindedir. Veri tabanında 98 değişkene ilişkin 56 gözlem bulunmaktadır.

Kayseri Tarım ve Orman İl Müdürlüğü kayıtlarına göre 2026 yılında Kayseri ilinde 453.073 ha tarım alanında 32.503 çiftçinin, Yahyalı ilçesinde 12.282 ha tarım alanında 2.419 çiftçinin ve Yeşilhisar ilçesinde 27.840 ha tarım alanında 2.813 çiftçinin tarımsal faaliyet yürüttüğü bildirilmektedir. Araştırmaya katılan çiftçi sayısının düşük olması nedeniyle bu çalışma sınırlı kesitsel bir durum incelemesi olarak yorumlanmıştır.

2.2. Anket yapısı ve değişkenler

Anket formunun hazırlanmasında Türkiye'de tarıma verilen destekleri ve çiftçilerin memnuniyet durumunu değerlendiren literatürdeki çalışmalardan (Erdal vd., 2013; Daldal, 2016; Peker, 2019; Torgut vd., 2019; Günay vd., 2020; Yüzbaşıoğlu ve Kızılaslan, 2020) yararlanılmıştır; anket formu daha sonra araştırmanın amacına uygun olarak düzenlenmiştir.

Anket; cinsiyet, yaş, eğitim, hane büyüklüğü, tarımsal faaliyet türü, arazi ve hayvan varlığı, gelir, çiftçilik deneyimi, aile işgücü, örgüt üyeliği ve kredi kullanımı gibi üretici-işletme özelliklerini; desteklerden yararlanma, yararlanılan destek türleri, destekleri öğrenme kaynakları, desteklerin yeterliliği, ödeme zamanı, tarıma yeniden yatırım, gelir etkisi ve genel tarım politikası değerlendirmesini kapsamaktadır. Üretici görüşleri 1= Kesinlikle Katılmıyorum ile 5= Kesinlikle Katılıyorum arasında puanlanan 10 ifade ile ölçülmüştür.

2.3. Ölçüm yaklaşımı

Üretici görüşlerini ölçen 10 maddelik bir ölçek bulunmasına rağmen bu ölçekteki 5. Maddenin koşullu bir soru (sadece hayvancılık destekleri ile ilgili) olması ve yalnızca 28 katılımcı tarafından yanıtlanması nedeniyle dokuz genel görüş maddesi için Cronbach alfa 0,751 olarak hesaplanmıştır. Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterliliği ölçütü 0,649 ve Bartlett küresellik testi anlamlıdır (ki-kare (36)=274,93; $p<0,001$) (Kaiser, 1974). Horn'un (1965) paralel analizi, kullanılan ölçüte bağlı olarak bir veya iki boyuta işaret etmektedir. Kavramsal içerik ve birbirleriyle aynı faktörde kümelenip kümelenmedikleri, birlikte değerlendirilerek (Hair ve ark., 2019) 1, 2, 4, 6 ve 7. maddelerden "Algılanan Destek Performansı/Yeterliliği İndeksi", 9 ve 10. maddelerden "Üretim Kararı Üzerindeki Etki İndeksi" oluşturulmuştur. Üçüncü ve sekizinci maddeler bağımsız göstergeler olarak korunmuştur.

2.4. İstatistiksel analiz

Kategorik değişkenler sayı ve yüzdeyle; sürekli değişkenler dağılıma göre ortalama-standart sapma ve/veya medyan-çeyrekler arası aralıkla özetlenmiştir. Likert maddeleri 1-2 “katılmıyor”, 3 “kararsız”, 4-5 “katılıyor” biçiminde üçlü ölçeğe indirgenmiştir. Küçük örneklem nedeniyle parametrik olmayan yöntemler tercih edilmiştir. Sıralı değişken ilişkilerinde Spearman korelasyonu, iki bağımsız grubun karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testi, 2x2 tablolarda Fisher kesin testi kullanılmıştır. Etki büyüklükleri sırasıyla Spearman rho, sıra çift-serili korelasyon ve Cramer V/olasılık oranı ile verilmiştir. Hata oranını sınırlamak için Holm düzeltmesi uygulanmıştır (Holm, 1979).

3. BULGULAR

3.1. Üretici ve işletme özellikleri

Üretici ve işletme özelliklerine ait bulgular Çizelge 1’de verilmiştir. Katılımcıların yaş ortalaması 40,77 yıl, ortalama hane büyüklüğü 5,39 kişidir. İşletmelerin %64,3'ü bitkisel ve hayvansal üretimi birlikte yürütmektedir. Ekilen arazi büyüklüğünün medyanı 280 da'dır. Aile işgücü kullanımı (%89,3), örgüt üyeliği (%85,5) ve kredi kullanımı (%69,6) yaygındır. Üyelik türlerinde Tarım Kredi Kooperatifi (%82,1), Ziraat Odası (%80,4) ve Sulama Birliği (%62,5) öne çıkmaktadır.

Çizelge 1. Katılımcıların sosyo-ekonomik ve işletme özellikleri

Değişken	**Kategori / özet**	**n**	**% / ek bilgi**
İlçe	Yeşilhisar	43	76,8
	Yahyalı	13	23,2
Cinsiyet	Erkek	56	100,0
Yaş (yıl)	Ortalama ± SS: 40,77 ± 15,15	56	Medyan: 41,5
Eğitim	İlkokul	17	30,4
	Ortaokul	22	39,3
	Lise	15	26,8
	Üniversite	2	3,6
Hane büyüklüğü	Ortalama ± SS: 5,39 ± 1,49	56	-
Tarımsal faaliyet	Bitkisel üretim	19	33,9
	Hayvansal üretim	1	1,8
	Bitkisel + hayvansal	36	64,3
Ekilen arazi (da)	Medyan (ÇAA): 280,0 (196,2-385,0)	56	Ort.: 321,2 (uç değer hariç, n=55)
Yıllık tarımsal gelir (TL)	Medyan (ÇAA): 750.000 (537.500-1.140.000)	56	-
Çiftçilik süresi (yıl)	Ortalama ± SS: 24,05 ± 14,87	55	-
Aile işgücü kullanımı	Evet	50	89,3
Kooperatif/birlik üyeliği	Evet	47	85,5
Kredi kullanımı	Evet	39	69,6

Not. ÇAA: çeyrekler arası aralık. Kooperatif/birlik üyeliğinde geçerli n=55'tir. Ekilen arazide 5.000 da değerinde tek bir uç gözlem bulunmaktadır; tüm örneklem ortalaması (n=56) 404,7 da, bu gözlem hariç tutulduğunda (n=55)

321,2 da'dır (SS=208,6); uç değer hariç maksimum 1.000 da'dır. Bu duyarlılık nedeniyle merkezi eğilim ölçüsü olarak medyan esas alınmıştır. Gelir değeri Türk Lirası (TL) cinsinden olup 2023 yılına aittir; enflasyon nedeniyle farklı yıllara ait rakamlarla doğrudan karşılaştırılmamalıdır.

3.2. Desteklerden yararlanma, bilgi kaynakları ve memnuniyet

Katılımcıların %98,2'si tarımsal desteklerden yararlandığını belirtmiştir. En yaygın araçlar mazot-gübre-toprak analizi desteği (%98,2), fark ödemesi (%94,6), yem bitkisi desteği (%78,6) ve tarım sigortası desteğidir (%75,0) (Çizelge 2). Hayvancılık bağlantılı desteklerde çiğ süt (%42,9), buzağı (%41,1), besilik et (%41,1), anaç sığır (%39,3) ve suni tohumlama (%30,4) izlenmektedir. Desteklerden yararlanmayan iki üreticiden biri desteğe ihtiyaç duymadığını, biri "diğer" nedenleri bildirmiştir.

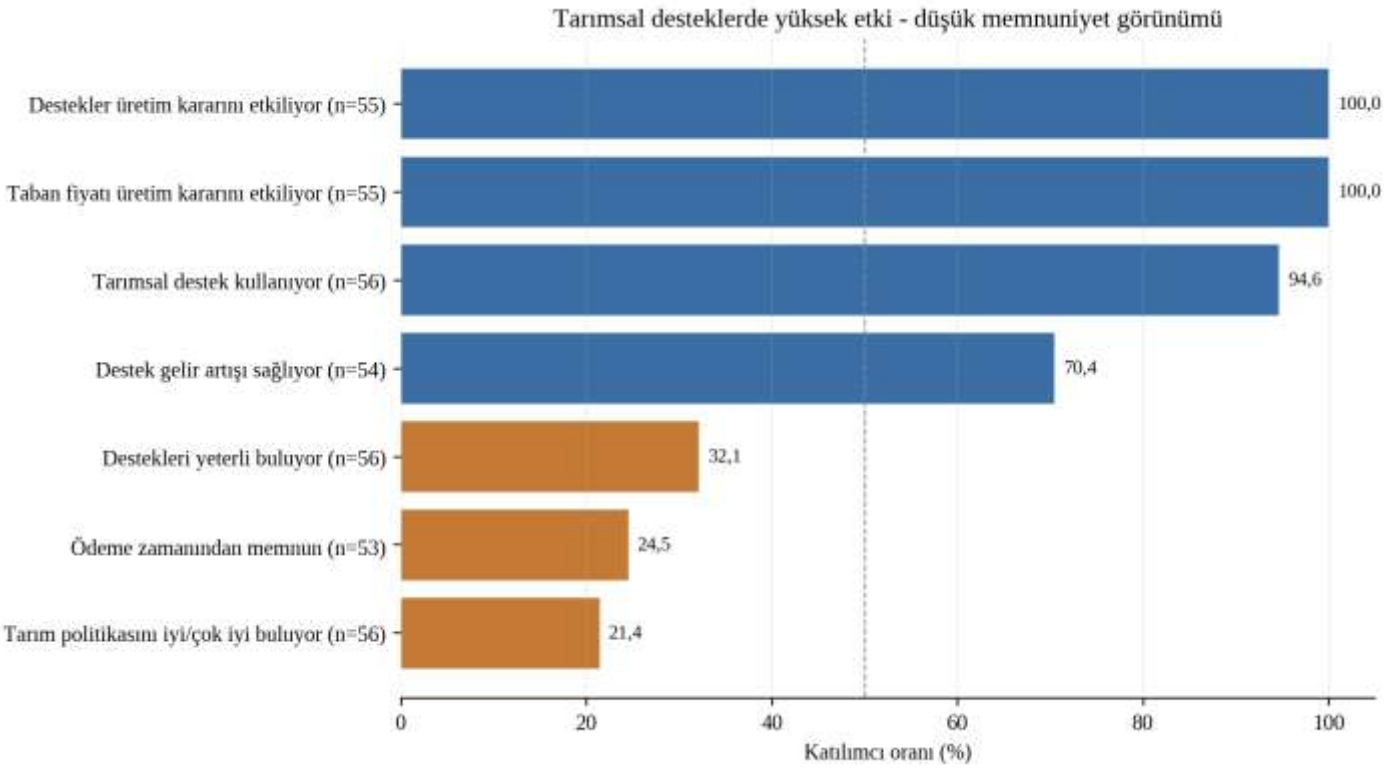
Çizelge 2. Yararlanılan başlıca tarımsal destek türleri

Destek türü	n	%
Mazot, gübre ve toprak analizi	55	98,2
Fark ödemesi	53	94,6
Yem bitkisi	44	78,6
Tarım sigortası	42	75,0
Çiğ süt	24	42,9
Besilik et	23	41,1
Buzağı	23	41,1
Anaç sığır	22	39,3
Suni tohumlama	17	30,4
Damızlık koyun-keçi	1	1,8

Not. Çok yanıtlı sorudur; yüzdeler toplamı 100'ü aşabilir. Tüm çalışma grubu için N=56'dır.

Destekleri öğrenmede akraba ve komşular (%73,2) ile televizyon (%60,7) ilk iki sıradadır. Köye asılan afiş/broşür %26,8, diğer kaynaklar %28,6 oranında belirtilmiştir. Veri setinde köye gelen Bakanlık personeli veya diğer uzmanlar seçeneğini işaretleyen katılımcı bulunmamaktadır. Bu sonuç, çalışma grubunda bilginin ağırlıkla gayri resmî ağlar ve kitle iletişim kanalları üzerinden dolaştığını göstermektedir.

Yüksek yararlanma oranına karşılık, destekleri yeterli bulanların oranı yalnızca %32,1'dir (Şekil 1). Ödeme zamanından memnuniyet geçerli 53 yanıt içinde %24,5, desteklerin geliri artırdığını belirtenlerin oranı ise geçerli 54 yanıt içinde %70,4'tür. Tarım politikalarını "iyi" değerlendiren 12 kişi bulunurken "çok iyi" yanıtı yoktur; kötü/çok kötü değerlendirme %42,9, kararsızlık %35,7'dir.



Şekil 1. Desteklerden yararlanma ve karar etkisi ile yeterlilik/memnuniyet göstergeleri arasındaki ayrışma.

Destekleri yetersiz bulan 38 üreticinin tamamı mazot-gübre-toprak analizi desteğini; %94,7'si fark ödemesini, %76,3'ü tarım sigortasını ve %71,1'i yem bitkisi desteğini yetersiz görmüştür. Tarımdan elde edilen gelirin yeniden tarıma ayrılan payında en yaygın kategori %15-25'tir (%56,4); %25 ve üzeri yatırım ayıranların oranı %10,9'da kalmıştır.

3.3. Desteklerin kullanım biçimi

Mazot-gübre-toprak analizi desteğine kullanım yanıtı veren 55 katılımcının tamamı ödemeyi gübre ve mazot alımında kullandığını belirtmiştir (Çizelge 3). Hububat ve yağlı tohumlu bitkiler fark ödemelerinde ilk kullanım alanı, ödeme döneminde ihtiyaç duyulan tarımsal girdidir; borç ödeme ikinci sıradadır. Buna karşılık yem bitkisi desteğinde borç ödeme %55,8 ile ilk sıraya çıkmıştır. Anaç sığır desteği ağırlıkla borç ödemeye (%62,5); suni tohumlama (%66,7), buzağı (%63,6) ve çiğ süt (%54,2) destekleri ise öncelikle ev ihtiyaçlarına yönelmiştir. Bu durum, özellikle hayvancılık ödemelerinin üretim girdisine doğrudan dönüşmeden önce hane ve borç ödemelerine aktarıldığına işaret etmektedir.

Çizelge 3. Destek türlerinde başlıca kullanım biçimleri

Destek	Geçerli n	En yaygın kullanım	%	İkinci kullanım	%
Mazot, gübre ve toprak analizi	55	Gübre/mazot alımı	100,0	-	-
Hububat fark ödemesi	54	O dönemde ihtiyaç duyulan tarımsal girdi	48,1	Borç ödeme	33,3
Yağlı tohumlu bitkiler fark ödemesi	54	O dönemde ihtiyaç duyulan tarımsal girdi	55,6	Borç ödeme	27,8
Yem bitkisi	43	Borç ödeme	55,8	İşçilik giderleri	20,9
Anaç sığır	24	Borç ödeme	62,5	Ev ihtiyaçları	29,2
Suni tohumlama	18	Ev ihtiyaçları	66,7	Borç ödeme	27,8
Buzağı	22	Ev ihtiyaçları	63,6	Borç ödeme	36,4
Çiğ süt	24	Ev ihtiyaçları	54,2	Borç ödeme	45,8

Not. Yüzdeler her destek türüne verilen geçerli yanıtlar üzerinden hesaplanmıştır.

3.4. Tarımsal desteklemelere ilişkin görüşler

Katılımcıların %92,7'si desteklerin üreticilerin piyasa koşullarında faaliyetlerini sürdürmesini sağladığı görüşüne katılmıştır (Çizelge 4). Buna karşın desteklerin öncelikli sorunların çözümüne katkı sağladığı (%16,4), politika etkinliğini artırdığı (%3,6), yerinde kullanıldığı (%20,0) ve miktar bakımından yeterli olduğu (%20,0) ifadelerine katılım düşüktür. Nakit ödeme yerine girdi fiyatlarının düşürülmesini destekleyenlerin oranı %78,2'dir. Üretim kararına etki ve açıklanan taban fiyatının karara etkisi maddelerinde katılım %100'dür.

Çizelge 4. Tarımsal desteklemelere ilişkin görüşlerin dağılımı

No	İfade	n	Ort. ± SS	Katılmıyor %	Kararsız %	Katılıyor %
1	Destekler tarım sektörünün öncelikli problemlerinin çözümüne katkı sağlar	55	2,13 ± 1,12	63,6	20,0	16,4
2	Destekler uygulanan politikaların etkinliğini artırır	55	2,05 ± 0,95	60,0	36,4	3,6
3	Destekler üreticilerin piyasa koşullarında faaliyetini sürdürmesini sağlar	55	4,13 ± 0,58	1,8	5,5	92,7
4	Fark ödemesi öncelikle arz açığı olan ürünleri kapsar	55	2,45 ± 0,77	41,8	56,4	1,8
5	Hayvancılık destekleri ırk ıslahı, kaba yem, verimlilik ve ihtisaslaşmaya faydalıdır	28	2,21 ± 0,99	67,9	17,9	14,3
6	Alınan tarımsal destekler yerinde kullanılmaktadır	55	2,04 ± 1,20	67,3	12,7	20,0
7	Destek miktarı yeterlidir	55	1,98 ± 1,18	72,7	7,3	20,0
8	Nakit ödeme yerine girdi fiyatları düşürülmelidir	55	3,84 ± 0,66	1,8	20,0	78,2
9	Destekler üretim kararlarını etkiler	55	4,85 ± 0,36	0,0	0,0	100,0
10	Açıklanan ürün taban fiyatı üretim kararlarını etkiler	55	4,93 ± 0,26	0,0	0,0	100,0

Not. Ölçekteki beşinci madde koşullu yanıt yapısı nedeniyle n=28'dir; diğer maddelerde n=55'tir

3.5. Ölçüm denetimi ve indeksler

Algılanan destek performansı/yeterliliği indeksinin ortalaması 2,13 (SS=0,88), medyanı 2,0; üretim kararı üzerindeki etki indeksinin ortalaması ise 4,89 (SS=0,28), medyanı 5,0'tır (Çizelge 5). Böylece desteklerin karar mekanizmasındaki ağırlığı ile desteklerin yeterliliği ve etkinliğine ilişkin değerlendirmeler arasında belirgin bir düzey farkı ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5. Ölçek ve indekslerin güvenirlik/özet sonuçları

Yapı	Maddeler	n	Cronbach alfa	Ort. ± SS	Açıklama
Dokuz genel madde	9	55	0,751	-	Heterojen içerik; toplam puan kullanılmadı
Algılanan destek performansı/yeterliliği	1, 2, 4, 6, 7	55	0,891	2,13 ± 0,88	Düşük puan=düşük performans/yeterlilik algısı
Üretim kararı üzerindeki etki	9, 10	55	0,787	4,89 ± 0,28	Maddeler arası r=0,679

Not. Beşinci madde koşullu olduğu için genel boyutluluk incelemesinden çıkarılmıştır. İndeksler ilgili maddelerin aritmetik ortalamasıdır ve 1-5 aralığındadır.

3.6. Temel ilişkiler

Performans/yeterlilik algısı ile genel tarım politikası değerlendirmesi arasında güçlü pozitif ilişki vardır (rho=0,690; Holm p<0,001). İlçe karşılaştırmasında Yahyalı grubunun performans indeksi Yeşilhisar grubundan daha yüksektir (Holm p=0,011); ancak Yahyalı için geçerli indeks sayısı 12 olduğundan sonuç keşifsel kabul edilmelidir.

Ödeme zamanı memnuniyeti, desteklerin yeterli bulunmasıyla yakından ilişkilidir. Ödeme zamanı bilgisi bulunan katılımcılar içinde, desteği yeterli bulanların %68,8'i ödeme zamanından memnunken, desteği yetersiz bulanlarda bu oran %5,4'tür. Gelir etkisi bilgisi bulunanlarda, desteği yeterli bulanların %94,1'i, yetersiz bulanların ise %59,5'i desteklerin geliri artırdığını belirtmiştir. Ödeme zamanından memnun 13 katılımcının tamamı gelir artışı bildirirken, memnun olmayanlarda bu oran %61,5'tir. Bu ilişkiler kesitsel olduğundan yön ve nedensellik belirlenemez.

Çizelge 6. Ölçek ve indekslerin güvenirlik/özet sonuçları

İlişki/karşılaştırma	Test	İstatistik ve etki	p	Holm p	Yorum
Performans indeksi - genel politika değerlendirmesi	Spearman	rho=0,690	<0,001	<0,001	Güçlü pozitif ilişki
Performans indeksi - ilçe	Mann-Whitney U	U=400,0; r_rb=0,550	0,004	0,011	Yahyalı ort.=2,72; Yeşilhisar ort.=1,97
Destek yeterliliği - ödeme zamanı memnuniyeti	Fisher kesin	OR=38,5; V=0,676	<0,001	<0,001	Büyük ilişki
Destek yeterliliği - gelir artışı algısı	Fisher kesin	OR=10,91; V=0,353	0,011	0,021	Orta ilişki
Ödeme zamanı memnuniyeti - gelir artışı algısı	Fisher kesin	V=0,368	0,011	0,021	Memnun grupta gelir artışı yanıtı %100

Not. Tüm testler iki yönlüdür. OR: olasılık oranı; V: Cramer V; r_rb: sıra çift-serili korelasyo

4. TARTIŞMA

Çalışmanın temel bulgusu, desteklerden yararlanma ve karar etkisinin yüksek; miktar, zamanlama ve genel performans değerlendirmesinin ise düşük olmasıdır. Bu durum, desteklerin çiftçi davranışında güçlü bir politika kaldıraç işlevi görmesine karşın üretici nezdinde yeterli, zamanında veya etkin kabul edilmediğini göstermektedir. Dolayısıyla "yararlanıyor olmak", "memnun olmak" veya "politikayı başarılı bulmak" ile eş anlamlı değildir.

Desteklerin üretim kararlarını ve taban fiyat beklentilerini bütünüyle etkilediğinin bildirilmesi, politika duyarlılığını ortaya koyarken; düşük performans indeksi, bu etkinin olumlu politika değerlendirmesine dönüşmediğini göstermektedir.

Bulgular, Türkiye'deki önceki yerel araştırmalarla büyük ölçüde uyumludur. TRA1 Bölgesi'nde memnun/çok memnun işletme oranının %20 ile sınırlı kalması ve gecikmiş ödemelerin başlıca sorunlardan biri olması (Aksoy ve ark., 2025), bu çalışmadaki %24,5 ödeme zamanı memnuniyetiyle benzer bir görünüm sunmaktadır. Kızıl ve Akten Çürük'ün (2021) üretim maliyetlerinin yeterince gözetilmediği ve ödemenin finansman ihtiyacıyla örtüşmediği yönündeki bulguları da, mazot-gübre-toprak analizi ve fark ödemelerinin neredeyse tüm yetersizlik bildirimlerinde yer almasıyla örtüşmektedir. Aydın ve Özkan (2017, s. 307-308), Kırklareli ilinde gübre desteği alan üreticilerin %77,78'inin, gübre ve toprak analizi desteğini birlikte alanların ise %93,33'ünün destek miktarını yeterli bulmadığını; üreticilerin %95,56'sının gübre desteğini gübreyi satın aldığı tarihte alamadığını ve %93,02'sinin bu desteği gübre alımında fiilen kullanamadığını belirlemiştir. Bu bulgu, bu çalışma grubunda mazot-gübre-toprak analizi desteğinin en yüksek yararlanma oranına (%96,4) sahip olmasına karşın yetersizlik bildirimlerinin tamamında yer almasıyla ve desteğin miktar/zamanlama bakımından eleştirilmesiyle doğrudan örtüşmekte; erişilebilirliğin yüksek olmasının miktar ve zamanlama yeterliliği algısını garanti etmediğini göstermektedir. Ayyıldız ve Çiçek (2023) yem bitkisi desteğinde memnuniyet görece yüksek olsa bile üreticilerin dörtte üçünün miktarı yetersiz bulduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, bu çalışma grubunda yem bitkisi desteği yaygın kullanılmasına rağmen, desteği genel olarak yetersiz bulanların %71,1'i bu kalemi de yetersiz görmüştür. Hayvancılık bağlantılı desteklerin önemli bölümünün borç ve ev ihtiyaçlarına yönelmesi, ödeme anındaki likidite baskısını düşündürmektedir. Bu sonuç desteklerin “yanlış kullanıldığı” biçiminde doğrudan yorumlanmamalıdır; çünkü çiftlik ve hane bütçeleri özellikle aile işletmelerinde iç içe geçebilir ve borç ödemesi de üretimin sürdürülmesi için zorunlu olabilir. Bununla birlikte, mazot-gübre desteğinin tamamının hedeflenen girdilere yönelmesine karşılık suni tohumlama, buzağı ve çiğ süt desteklerinin ağırlıkla hane ihtiyaçlarında kullanılması, ödeme takvimi ve ödeme biçiminin destek türüne göre farklılaştırılmasının gerekli olabileceğini göstermektedir. Özdemir ve ark. (2022) süt sığırcılığı işletmelerinin çoğunluğunun hayvancılık destek politikalarını başarılı bulmadığını; Demirtaş (2021) ise girdi ve bitkisel üretim desteklerinin güçlendirilmesi gereğini bildirmiştir. Mevcut bulgular bu iki çalışmanın bulgularını, destek ödemelerinin kullanım kanalları üzerinden birleştirmektedir.

Bilgi kaynaklarında akraba-komşu ve televizyonun baskın olması, resmî yayım sisteminin çalışma grubundaki görünürlüğünün sınırlı olabileceğine işaret etmektedir. Yeni üretim planlaması ve çok yıllı destek sistemlerinin beklenen davranış etkisini yaratabilmesi için yalnızca kararların yayımlanması değil, destek ölçütlerinin üretim öncesinde anlaşılır biçimde açıklanması ve köy düzeyinde güvenilir danışmanlıkla desteklenmesi gerekir. Üretim

kararı etkisinin çok yüksek olması, doğru zamanlanmış ve açık biçimde iletilmiş desteklerin ürün deseni üzerinde önemli sonuçlar doğurabileceğini düşündürmektedir; aynı nedenle geç, belirsiz veya maliyetlerden kopuk destekler de istenmeyen karar tepkileri yaratabilir.

Yahyalı ve Yeşilhisar arasındaki performans indeksi farkı, yerel uygulama, üretim deseni, kurumlara erişim veya beklenti farklılıklarından kaynaklanabilir. Ancak Yahyalı grubunun küçük olması ve veri setinde bu mekanizmaları doğrudan ölçen değişkenlerin bulunmaması nedeniyle ilçeler arası fark açıklayıcı değil, keşifsel bir bulgu olarak değerlendirilmelidir. Benzer şekilde, tüm katılımcıların erkek olması kadın üreticilerin destek deneyimlerinin görünür olmasını engellemekte ve örneklem çerçevesinin işletme karar vericilerine nasıl uygulandığının açıklanmasını gerekli kılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeşilhisar ve Yahyalı ilçelerindeki 56 üreticiye dayalı bu çalışma, tarımsal destek sisteminin çalışma grubunda geniş erişime sahip olduğunu; ancak yeterlilik, ödeme zamanı ve genel politika başarısı bakımından zayıf değerlendirildiğini ortaya koymuştur. Desteklerin üretim kararları üzerinde çok güçlü bir etkisinin bulunması, memnuniyetsizliğin desteklerin önemsizliğinden değil, tasarım ve uygulama koşullarından kaynaklandığını düşündürmektedir. En kritik politika alanları, destek miktarlarının üretim maliyetleriyle uyumu, ödemelerin üretim öncesi finansman gereksinimine göre zamanlanması, destek takviminin öngörülebilirliği ve köy düzeyindeki resmî bilgilendirmedir.

Bulgular doğrultusunda, desteklerin yıllık üretim takvimi başlamadan önce ilan edilmesi ve ödemelerin girdi temin dönemlerine bağlanması; birim tutarların şeffaf bir maliyet endeksleme mekanizmasıyla güncellenmesi; bitkisel üretim ve hayvancılığın farklı nakit akışlarına uygun ödeme modellerinin geliştirilmesi; Bakanlık personeli, tarımsal örgütler ve dijital kanallar üzerinden aynı mesajı veren yerel bilgilendirme programlarının kurulması; politika performansının yalnızca yararlanıcı sayısıyla değil, zamanında ödeme, yeterlilik, kullanım amacı ve üretici geri bildirimi göstergeleriyle izlenmesi önerilmektedir. Desteklerin girdi fiyatlarını düşürme yönündeki güçlü üretici tercihinin, piyasa bozucu etkiler ve uygulama maliyetleri de dikkate alınarak, doğrudan girdi kuponu, hedefli indirim veya üretim dönemine bağlı ödeme seçenekleriyle pilot olarak sınanması daha uygun olacaktır.

Bu sonuçlar, çalışma grubuna özgü olup evrene genellenmemelidir. Daha geniş ve olasılıklı örneklemlerle, kadın üreticileri ve farklı işletme ölçeklerini kapsayan; ödeme tarihleri, destek tutarları, üretim maliyetleri ve gerçekleşen ürün deseniyle anket verisini eşleştiren panel araştırmalar, desteklerin memnuniyet ve üretim kararları üzerindeki etkisini daha güçlü biçimde değerlendirebilir.

KAYNAKLAR

Aksoy, A., Özdemir, F. N., & Arslan, M. (2025). Tarımsal desteklerden yararlanma durumu üzerine araştırma: TRA1 Bölgesi örneği. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 11(1), 1-11. https://doi.org/10.61513/tead.1626850

Aydın, B., & Özkan, E. (2017). Gübre ve toprak analizi desteğinin üreticiler açısından değerlendirilmesi: Kırklareli ili örneği. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4(3), 302-310.

Ayyıldız, M., & Çiçek, A. (2023). Üreticilerin yem bitkileri desteğine ilişkin memnuniyet düzeyini etkileyen faktörlerin belirlenmesi: Tokat ili Merkez ilçe örneği. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 10(1), 143-151. https://doi.org/10.30910/turkjans.1193620

Daldal, N. 2016. Tarımsal Desteklemelere Üreticilerin Yaklaşımı: Tekirdağ İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı. 120 s.

Demirtaş, B. (2021). Agricultural supports and farmers' satisfaction: A latent variable application in Turkey. Revista de la Facultad de Agronomía, 38(1), 151-175. https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n1.08

Erdal, G., Erdal, H., & Gürkan, M. (2013). Türkiye'de uygulanan tarımsal desteklerin üretici açısından değerlendirilmesi (Kahramanmaraş ili örneği). Uluslararası Sosyal ve Ekonomik Bilimler Dergisi, 3(2), 92-98.

Günay, H. F., Uyğun, U., & Yardımcıoğlu, F. (2020). Fındık üretimine yönelik mali desteklerin yeterlilik ve çiftçi memnuniyeti yönünden değerlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi İktisat Dergisi, 9(4), 299-332.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate data analysis (8th ed.). Cengage.

Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. Scandinavian Journal of Statistics, 6(2), 65-70.

Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. Psychometrika, 30, 179-185. https://doi.org/10.1007/BF02289447

Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. Psychometrika, 39, 31-36. https://doi.org/10.1007/BF02291575

Kayseri İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2026). Çiftçi Kayıt Sisteminde Kayıtlı Çiftçi Sayıları. Bireysel görüşme.

Kızıl, E., & Akten Çürük, S. (2021). Türk tarımsal teşvik sistemi: Sorunlar ve çözüm önerileri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 8(4), 956-967. https://doi.org/10.30910/turkjans.904817

OECD. (2025). Agricultural policy monitoring and evaluation 2025: Addressing the challenges facing food systems. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/a80ac398-en

Özdemir, Y., Kınıklı, F., & Engindeniz, S. (2022). Süt sığırcılığı işletmelerinin hayvancılık desteklerinden yararlanma ve memnuniyet düzeyinin saptanması: Balıkesir ili Gönen ilçesi örneği. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(1), 1-10. https://doi.org/10.25308/aduziraat.959046

Peker, T. (2019). Şanlıurfa ilinde pamuk üretim desteklemelerine yönelik üretici beklentilerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=aEzj_IdWAsjiSAfK3qwrBm1EnfI1vS2a8NPZS1IPc755nFxi7FDHCiDkB2uFV6U9

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024, 31 Aralık). 2025-2027 yıllarında yapılacak bitkisel üretime yönelik desteklemeler ile diğer bazı tarımsal desteklemelere ödeme yapılmasına dair Tebliğ (Tebliğ No: 2024/39). Resmî Gazete, Sayı 32769 (5. Mükerrer).

Topçu, Y. (2008). Çiftçilerin tarımsal destekleme politikalarından faydalanma istekliliğinde etkili faktörlerin analizi: Erzurum ili örneği. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(2), 205-212.

Torgut, E., Annayev, S., Türkekul, B., & Örmeci Kart, M. Ç. (2019). Türkiye'de uygulanmakta olan hayvancılık desteklemelerinin süt sığırcılığı yapan işletmelere etkisi: İzmir ili örneği. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 14(1), 29-45.

Yüzbaşıoğlu, R., & Kızılaslan, H. (2020). Tokat ili Turhal ilçesi hayvansal destekleme kullanan üretici memnuniyetini etkileyen faktörlerin belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 9(1), 1-12.

TÜRKİYE'DE TARIMSAL NÜFUSUN YAŞLANMASI, İŞGÜCÜ KITLIĞI VE MEKANİZASYON: GIDA GÜVENLİĞİ ÜZERİNE BİR DERLEME ÇALIŞMASI

Doç. Dr. Nermin BAHŞİ [1]

[1] Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, nerminbahsi@osmaniye.edu.tr – ORCİD: 0000-0003-1630-7720

Özet

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, tarımsal işgücünün demografik yapısıyla yakından ilişkilidir. Türkiye'de kırsal nüfusun azalması ve genç nüfusun tarım sektöründen uzaklaşması, üretim süreçlerinde işgücü arzını sınırlandıran yapısal sorunlar arasında yer almaktadır; bu durum özellikle emek yoğun üretim desenine sahip faaliyetlerde maliyetleri artırma ve uzun vadede gıda güvenliği üzerinde risk oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Tarımsal mekanizasyon ve dijital tarım teknolojileri işgücü açığının azaltılmasında stratejik araçlar olarak öne çıkmakta; ancak küçük aile işletmelerinde yüksek yatırım maliyetleri ve finansmana erişim güçlükleri bu teknolojilerin yaygınlaşmasını sınırlayabilmektedir. Bu çalışma, Türkiye'de tarımsal nüfusun yaşlanması ile işgücü kıtlığı arasındaki ilişkiyi mekanizasyon perspektifinden değerlendirerek gıda güvenliği üzerindeki olası etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır; araştırma, nitel araştırma yaklaşımına dayanan anlatısal derleme (narrative review) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bulgular, tarımsal yaşlanmanın teknoloji benimseme sürecini doğrudan yaş üzerinden değil; eğitim düzeyi, işletme ölçeği ve krediye erişim gibi dolaylı mekanizmalar aracılığıyla etkilediğini, mekanizasyonun ise işgücü açığını kısmen telafi edebilecek stratejik bir araç olduğunu göstermektedir. Mekanizasyonun yaygınlaştırılması, dijital tarım uygulamalarının desteklenmesi ve genç nüfusun sektöre kazandırılmasına yönelik bütüncül politikaların geliştirilmesi, sürdürülebilir bir tarımsal üretim sistemi için kritik öneme sahiptir.

Anahtar kelimeler: Tarımsal nüfusun yaşlanması, işgücü kıtlığı, tarımsal mekanizasyon, gıda güvenliği, Türkiye

AGEING OF THE AGRICULTURAL POPULATION, LABOR SHORTAGE, AND MECHANIZATION IN TURKEY: A REVIEW STUDY ON FOOD SECURITY

Abstract

The sustainability of agricultural production is closely linked to the demographic structure of the agricultural labour force. In Türkiye, the decline of the rural population and the withdrawal of young people from the agricultural sector are among the structural problems limiting labour supply in production processes; this situation carries the potential to raise costs, particularly in labour-intensive production patterns, and to pose a risk to food security in the long run. Agricultural mechanization and digital farming technologies stand out as strategic tools for reducing the labour gap; however, high investment costs and limited access to financing in small family farms may restrict the diffusion of these technologies. This study aims to evaluate the relationship between the ageing of the agricultural population and labour shortage in Türkiye from a mechanization perspective, and to examine its possible implications for food security; the research was conducted using a narrative review method based on a qualitative research approach. The findings show that agricultural ageing affects the technology adoption process not directly through age, but through indirect mechanisms such as education level, farm scale, and access to credit, and that mechanization is a strategic tool that can partially offset the labour gap. Expanding mechanization, supporting digital agricultural applications, and developing comprehensive policies to attract young people to the sector are of critical importance for a sustainable agricultural production system.

Keywords: Ageing agricultural population, labour shortage, agricultural mechanization, food security, Türkiye

1. GİRİŞ

Tarım, gıda üretiminin temelini oluşturmasının ötesinde kırsal kalkınma, istihdam ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından stratejik bir sektördür. Günümüzde tarım sektörü, dijital dönüşüm baskısı, artan üretim maliyetleri ve kırsal nüfusun yaşlanması gibi çok boyutlu yapısal sorunlarla karşı karşıyadır. FAO'nun (2022) "Gıda ve Tarımın Durumu 2022" raporuna göre üreticilerin dijital otomasyon teknolojilerini benimsemesinin önündeki temel engellerden biri, genel olarak yaşlanan çiftçi nüfusuyla ilişkilendirilen değişime karşı isteksizliktir. Rapor bu durumun dünya genelindeki farklı vaka çalışmalarında gözlendiğini ve yalnızca düşük ya da orta gelirli ülkelerle sınırlı olmadığını özellikle vurgulamaktadır (FAO, 2022).

Avrupa Birliği'nde de tablo farklı değildir. Eurostat'ın çiftlik yapı istatistiklerine göre 2023 itibarıyla AB genelinde işletme yöneticilerinin yalnızca %10,7'si 40 yaşın altındadır; 35 yaş altındaki yönetici oranı ise 2010'da %7,5 iken 2023'te %5,6'ya gerilemiştir (Eurostat, 2024). Tekil ülke örnekleri de bu tabloyu doğrulamaktadır: OECD'nin (2019b) Letonya değerlendirmesine göre ülkedeki işletme yöneticilerinin %50'si 55 yaşın üzerindedir. OECD'nin (2019a) ülke incelemeleri sentez raporu da yapısal ve kuşaklararası yenilenmeyi tarım politikalarının öncelikli gündem maddelerinden biri olarak tanımlamaktadır.

Türkiye de bu küresel eğilimden bağımsız değildir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) İşgücü İstatistiklerine göre tarım, 2025 yılında toplam istihdamın %14'ünü oluşturmuştur (TÜİK, 2026a). Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın 12. Kalkınma Planı kapsamında hazırlanan Tarımda Teknoloji Kullanımı özel ihtisas komisyonu raporuna göre ortalama çiftçi yaşı dünyada 58, Türkiye'de ise 52 olarak bildirilmektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Bu genel tablo, Türkiye'ye özgü saha araştırmalarıyla da desteklenmektedir: Akdemir vd. (2021), beş ilde (Kars, Erzurum, Sivas, Çorum, Bolu) 40 yaş ve üzerindeki 312 üreticiyle yürüttükleri anket çalışmasında, yaş ilerledikçe üreticilerin tarımsal faaliyete yatırım yapma eğiliminin azaldığını ve emek yoğun üretim kollarından giderek uzaklaşıldığını tespit etmiştir.

Tarımsal nüfusun yaşlanması yalnızca işgücü miktarını değil, sektörde teknolojik yeniliklerin benimsenme hızını da etkileyebilmektedir; ancak bu ilişkinin mekanizması genellikle sanıldığından daha dolaylıdır. Rogers'ın (1983) yeniliklerin yayılımı kuramı, 228 araştırmanın sentezine dayanarak erken benimseyicilerin sonraki benimseyicilerden yaş bakımından tutarlı bir biçimde farklılaşmadığını; buna karşılık eğitim düzeyi, okuryazarlık, sosyal statü, işletme ölçeği ve krediye yönelik olumlu tutum bakımından anlamlı ölçüde ayrıştığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, tarımsal yaşlanmanın teknoloji benimsemeyi doğrudan yaş üzerinden değil, yaşla ilişkili eğitim ve ölçek farklarının dolaylı etkisiyle yavaşlatabileceğine işaret etmekte; nitekim Akdemir vd. (2021) de Türkiye örnekleminde eğitim düzeyinin yaş ilerledikçe belirgin biçimde gerilediğini göstermektedir.

Diğer yandan azalan işgücü arzı, üretim faktörleri arasındaki dengeyi de değiştirmektedir. Dünyanın birçok yerinde, kırsal işgücü arzındaki azalma, tarımsal ücretlerde artışa yol açarak, emek tasarrufu sağlayan

teknolojilerin daha fazla benimsenmesini teşvik etmiştir (FAO, 2022). Nitekim FAO (2022) da otomasyonun, yaşlanan işgücünün yol açtığı üretim kayıplarını azaltmada ve üretim sürekliliğini sağlamada kritik bir araç olduğunu vurgulamaktadır.

Bu çerçevede çalışma, Türkiye'de tarımsal nüfusun yaşlanmasının işgücü arzı üzerindeki etkilerini, mekanizasyonun bu süreçteki ikame edici rolünü ve söz konusu dönüşümün gıda güvenliği üzerindeki olası yansımalarını incelemektedir.

2. TARIMSAL NÜFUSUN YAŞLANMASI: KÜRESEL EĞİLİMLER VE TÜRKİYE

2.1. Demografik Dönüşüm: Dünyada ve Türkiye'de Yaşlı Nüfus ve Tarımsal İşgücü

Dünya demografik dönüşümlerin yaşandığı bir dönemden geçmektedir ve bu dönemde, doğum oranlarının azalması, nüfus artışının yavaşlaması, ortalama yaşam süresinin artmasına bağlı olarak toplam nüfus içindeki yaşlı nüfus oranı artış göstermektedir (Eser ve Küçük Aksu, 2021; Özkaya ve Demir, 2022). Çalışma ekonomisi kuramında, 15-64 yaş arasındakiler çalışma çağındaki nüfusu ifade etmekte, 65 ve daha üzeri yaşta olanlarsa ekonomik olarak faal olamayacakları gerekçesiyle işgücü piyasası dışında tutulmakta ve yaşlı nüfus olarak tanımlanmaktadırlar (Eser ve Küçük Aksu, 2021). Son 100 yılda dünya nüfusu 4 kat, yaşlı nüfusu 10 kat artış göstermiştir (Tepecik, 2023). Dünyada yaşlı nüfus oranı 2025 yılında %10,4'tür (TÜİK, 2026b). Yakar ve Özgür'ün (2022) Birleşmiş Milletler'den (2019) aktardığına göre; tahminler, dünya nüfusunun önümüzdeki on yıllarda önemli ölçüde yaşlanacağına ve 2050 yılına kadar 65 ve üzeri yaştakilerin oranının %16,5 olacağına (sayısal olarak 1,5 milyar kişiyi aşacağına) işaret etmektedir. Kırsal nüfustaki toplam değişime bakıldığında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün verilerine göre dünya genelinde, kırsal nüfus oranı zamanla azalmaktadır -1950'de kırsal nüfus oranı %70 iken 2007'de %49,88'e, 2017 yılında ise bu oran %45'e düşmüştür (Tepecik, 2023).

TÜİK (2026c) verilerine göre Türkiye'de yaşlı nüfusun toplam nüfus içindeki oranı ise 2020 yılında %9,5 iken, 2025 yılında %11,1'e yükselmiştir. Nüfus projeksiyonlarının demografik göstergelerdeki mevcut yapının devam edeceğini varsayan ana senaryosuna göre yaşlı nüfus oranının 2030 yılında %13,5, 2040 yılında %17,9, 2060 yılında %27,0, 2080 yılında %33,4 ve 2100 yılında %33,6 olacağı öngörülmektedir (TÜİK, 2026c). Türkiye'de nüfus yaşlanması 2000'li yıllardan itibaren hız kazanmış, bu süreç kırsal alanlarda çok daha ileri boyutlara ulaşmıştır (Özgür ve Yakar, 2026). Toplam nüfus içerisinde kırsalda yaşayan yaşlı nüfus oranı %25,17 olmuştur (TÜİK, 2026d). Demografik dönüşüm ile birlikte nüfusun yaşlı oranı hızla artarken, aynı zamanda üretim faktörlerinden emeğin de yaşlanmasına ve üretim sürecinden uzaklaşmasına neden olmaktadır (Günaydın, 2018). Nüfusun yaşlanması iş gücü arzı açığına (işgücü kıtlığı) ve büyüme hızında yavaşlamaya yol açmaktadır (Özkaya ve Demir, 2022).

Tarım, bir ülkenin gıda güvencesini, ekonomik gücünü ve toplumsal sürekliliğini belirleyen stratejik sektördür (Karahan vd, 2025). Yaşlanan nüfusun en önemli etkilerinin tarım sektöründe ortaya çıkacağı ifade edilmektedir (Tepecik, 2023). Kırsal demografik dönüşümler, işgücü arzında azalma, tarımsal verimlilikte düşüş, yatırım önceliklerinde farklılaşma ve emeklilik sistemleri üzerinde artan mali yük gibi ekonomik değişimlere neden olmaktadır (Özdinç ve Şentürk, 2026). Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO, 2023) "Dünya İstihdam ve Sosyal Görünüm: Eğilimler 2023" raporuna göre, demografik olarak tetiklenen işgücü kıtlıkları yalnızca gelişmekte olan ülkelerde değil, gelişmiş ekonomilerde de belirgin bir sorun hâline gelmiştir. Rapor özellikle yaşlanan nüfusa sahip yüksek gelirli ülkelerdeki işletmelerin işgücü kıtlığına, ellerindeki işgücünü elde tutma stratejileriyle yanıt verme eğiliminde olduğunu belirtmektedir (ILO, 2023). Bu bulgu, tarımsal işgücü kıtlığının yaşlanan nüfus yapısına sahip ülkelerin ortak bir yapısal sorunu olduğuna işaret etmektedir.

Türkiye'de tarımın toplam istihdam içindeki payı, 2025 yılında %14 düzeyinde gerçekleşmiştir (TÜİK, 2026a). Bu oran, sektörün istihdam içindeki ağırlığının hâlâ önemli olmakla birlikte diğer sektörlere kıyasla sınırlı kaldığını göstermektedir. Ortalama çiftçi yaşına ilişkin olarak Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın (2023) 12. Kalkınma Planı özel ihtisas komisyonu raporunda, TÜİK verilerine dayanılarak Türkiye'de ortalama çiftçi yaşının 52, dünya ortalamasının ise 58 olduğu bildirilmektedir. İşgücü istatistiklerine göre, Türkiye'de istihdam edilen yaşlı nüfusun sektörel dağılımı incelendiğinde, 2024 yılında yaşlı nüfusun %56,9'unun tarım, %32,0'ının hizmetler, %7,7'sinin sanayi, %3,4'ünün ise inşaat sektöründe yer aldığı görülmektedir (TÜİK, 2026c). Bu veriler yaşlı nüfusun en fazla istihdam edildiği sektörün tarım olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

2.2. Yaşlanmanın Üretkenlik ve Teknolojiye Erişime Etkisi

Yaşlı nüfusun fiziksel kapasitelerinin azalmasıyla birlikte tarımsal üretkenlikte bir düşüş yaşanırken, kuşaklararası bilgi aktarımının kopması veya zayıflaması sonucu geleneksel tarım bilgisinin kaybı ve modern tarım tekniklerinin sınırlı düzeyde benimsenmesi gibi faktörler, tarımsal arazilerin yetersiz kullanılmasına veya tamamen atıl kalmasına (arazi terkleri) yol açmaktadır (Özdinç ve Şentürk, 2026).

Yaşlanan iş gücünün verimlilik üzerindeki olumsuz etkilerinin teknolojik gelişmelere uyumlu nitelikli iş gücüyle aşılması mümkünken, Türkiye'de yaşlı nüfusun düşük eğitim seviyesi ve genel olarak yeniliklere karşı gelişim konusundaki isteksizliği (Günaydın, 2018) teknolojik üretim süreçlerine entegrasyonlarını zorlaştırmaktadır. Günümüzde tarım; sensörler, dronlar, yapay zeka ve veriyle yönetilen dijital bir çağa girmiş olmasına rağmen, bu dönüşümün merkezinde kritik bir sorun yer almaktadır: Tarım teknolojisi büyürken, üretici nüfus hızla yaşlanmakta ve gençler üretimden uzaklaşmaktadır (Karahan vd., 2025).

Yaşlı nüfus eğitim durumuna göre incelendiğinde, 2024 yılında yaşlı nüfusun %46,7'sinin ilkokul mezunu, %10,4'ünün ortaokul veya dengi okul/ilköğretim mezunu, %10,4'ünün lise veya dengi okul mezunu, %9,0'unun yükseköğretim mezunu olduğu görülmektedir (TÜİK, 2026c).

Karahan vd, (2025) tarım politikaları ve akademik çalışmalarda genç çiftçi tanımının çoğunlukla 40 yaş ve altındaki bireyleri kapsadığını, yürütmüş oldukları çalışmada katılımcıların %74,4'ünün 40 yaş ve altındaki bireylerden oluştuğunu ifade etmektedir.

2.3. Emek Yoğun Faaliyetlerden Çekilme ve Kuşaklararası Süreklilik Sorunu

Türkiye'de kırsal nüfusun yaşlanması ve tarımsal faaliyetlere yansıması konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde bu çalışmaların sonuçları emek yoğun faaliyetlerden çekilme ve kuşaklararası süreklilik sorununa açıklık getirmek amacıyla değerlendirilmiştir.

Yılmaz vd.'nin (2020) İzmir ilinin Ödemiş ve Bayındır ilçelerinde 118 çiftçi ile yürüttükleri çalışmaya göre, tarımla uğraşan kesimin yaşlanma eğiliminde olması çiftçilerin tarımsal faaliyetlere katılımını azaltmakta, çiftçilerin yaklaşık %56'sı tarımsal faaliyetlere devam etmek istememektedir; görüşülen çiftçilerin yaklaşık %75'i yaş ortalamasının arttığını ve bunun esas nedeninin genç nüfusun kırsal alandan göç etmesi olduğunu belirtmiş, örneklemin ortalama yaşı yaklaşık 58, eğitim süresi ise yaklaşık altı yıl olarak saptanmıştır. Akdemir vd.'nin (2021) çalışmasında ise üreticilerin %57,7'si son on yılda çiftliklerinde "yatırımdan çekilme" (disinvestment) davranışı sergilemiştir. Bu oranın %60'ı yeni ekipman veya traktör alımından kaçınmayı içermektedir.

Yılmaz vd. (2020) katılımcıların yaklaşık %58'inin kendilerinden sonra çocuklarının ve/veya yakınlarının tarımsal faaliyete devam etmeyeceğini ifade ederken, Akdemir vd. (2021) katılımcıların %45,6'sının çocuklarının tarımsal faaliyeti sürdüreceğini düşünmediğini belirtmektedir. Karahan vd, (2025) Türkiye genelinde farklı sosyo-demografik özelliklere sahip 160 bireyle yürüttükleri çalışmada, katılımcıların %87,5'inin gençlerin tarıma katılımını ülkenin geleceği için hayati gördüğünü, %90,7'sinin çiftçi nüfusunun yaşlanmasını kritik bir risk olarak değerlendirmesine rağmen, tarımı kendisi için bireysel bir gelecek alanı olarak görenlerin oranının %51,9'da kaldığını belirtmektedir. Akdemir vd., (2021) çalışmasında çocuklarının tarıma devam etmeyeceği beklentisinin temel gerekçeleri arasında tarımdan elde edilen gelirin yetersizliği (%78,8) ve diğer sektörlerdeki daha iyi yaşam standartları (%79,4) yer alırken, Karahan vd, (2025) gençlerin sektöre mesafeli durmasındaki temel bariyerleri düşük gelir (%24,4), zor çalışma koşulları (%21,3) ve toplumda çiftçilere hak ettikleri değerin verilmemesi (%86,9) olarak belirlemiştir. Bu bulgular, Türkiye'de gençlerin tarıma ilişkin farkındalığının yüksek olduğunu; ancak tarımsal kariyer niyetinin ekonomik ve sosyal güvencesizlik nedeniyle sınırlı kaldığını göstermektedir. Yılmaz vd. (2020) katılımcıların yaklaşık %40'ının tarım sektörünü gelecek nesillere tavsiye edeceğini, yaklaşık %60'ı ise etmeyeceğini ve sektörün çocukları için bir gelecek oluşturmadığını (2,35) düşündüğünü ifade etmiştir. Karahan vd (2025) tarımın teknolojiyle bütünleşmesi hâlinde gençler için cazip bir meslek olacağına dair inancın, görüşülen kesimde %81,3 gibi yüksek bir oranda olduğunu; kararsızların oranının %11,3'te kalmasının, teknoloji temelli dönüşümün gelir artışı, iş kolaylığı ve verimlilik gibi somut faydalarının daha görünür hâle getirilmesi durumunda bu grubun da olumlu yönde yönlendirilebileceğini düşünmektedir.

Araştırmacılar ayrıca, işletmenin çocuklar tarafından devralınma olasılığının üreticinin yatırım ve üretim kararlarında belirleyici bir rol oynadığını; bu bulgunun tarımsal politikaların yaş gruplarına göre farklılaştırılması gerekliliğine işaret ettiğini vurgulamaktadır (Akdemir vd., 2021). Bu sonuçlar, tarımsal yaşlanmanın yalnızca demografik bir olgu olmadığını, aynı zamanda sürdürülebilir üretim ve kırsal kalkınma üzerinde doğrudan etkileri bulunan yapısal bir dönüşüm olduğunu ortaya koymaktadır. Tarımın teknolojiyle dönüşebileceğine dair umut güçlü olmakla birlikte, bu umut gelir istikrarı ve yaşam kalitesiyle birleşmediğinde davranışa dönüşmemektedir (Karahan vd, 2025).

Özellikle meyve, sebze, bağcılık ve fındık gibi emek yoğun üretim sistemlerinde hasat dönemlerinde yeterli işgücünün bulunamaması, üretim sürecinde aksamalara yol açabilmektedir. Akdemir vd. (2021) araştırmalarında, ileri yaş grubundaki üreticilerin daha genç üreticilere kıyasla emek yoğun ürünlerden (sebze, meyve, hayvancılık) belirgin biçimde daha fazla kaçındığını tespit etmiştir: 65 yaş üzerindeki üreticilerin %60,6'sı bu tür faaliyetlerden kaçındığını belirtirken, bu oran 65 yaş altındaki üreticilerde %23,8 daha düşük gerçekleşmiştir. Yılmaz vd. (2020), yaşlanmanın tarımsal faaliyetlere etkisine ilişkin görüşleri de değerlendirmiştir: çiftçiler yaşlılık nedeniyle çalışılan saatin azalması ifadesine (4,06) katılırken, işlenen alanın azalması (3,04), hayvan varlığının azalması (2,52), dışarıdan işgücü temini (3,02) ve makine kullanımının artması (3,20) ifadelerinde kararsız kalmıştır; yaş gruplarına göre bu ifadelere katılım düzeyi istatistiksel olarak anlamlı biçimde artmaktadır. Bu bulgular, işgücü kıtlığı ile üretici yaşlanması arasındaki ilişkinin yalnızca dışsal bir işgücü arzı sorunu değil, aynı zamanda üreticilerin kendi emek yoğun faaliyetlerden çekilme kararlarıyla da şekillendiğini göstermektedir. Nitekim tarımın teknolojiyle gelişmesine rağmen üretici nüfusun yaşlanması ve gençlerin sektöre sınırlı katılımı, tarımsal sürdürülebilirlik açısından önemli bir risk oluşturmaktadır; gençler tarıma katılmadığında yalnızca işgücü değil, tarımın öğrenme kapasitesi, yenilik üretme potansiyeli ve teknolojiyi sahaya indirme gücü de zayıflamaktadır (Karahan vd, 2025).

3. İŞGÜCÜ KITLIĞINA KARŞI STRATEJİK ARAÇ: TARIMSAL MEKANİZASYON

3.1. Mekanizasyonun Tanımı, Kapsamı ve Türkiye'deki Mevcut Durumu

Tarımsal mekanizasyon, üretim sürecinde insan ve hayvan gücünün makine gücüyle desteklenmesi veya ikame edilmesi olarak tanımlanabilir. Günümüzde mekanizasyon, yalnızca traktör ve tarım makinelerinin kullanımını değil; hassas tarım teknolojilerini, küresel konumlandırma sistemlerini (GNSS/GPS), sensörleri, insansız hava araçlarını ve otomatik dümenleme sistemlerini de kapsayan geniş bir teknolojik dönüşüm sürecini ifade etmektedir (FAO, 2022). Nitekim birim alana ve nüfusa düşen üretimin arttırılabilmesi için sulama, gübreleme, hastalık ve zararlılara karşı mücadele gibi önlemlerin yanında çeşitli mekanik araçlarla donatılma gereksinimi de bu kavramda birleşmektedir (Kubilay ve Dilber, 2025).

Kırsal nüfusun azalması, tarım yapan nüfusun yaşlanması, göçlerin artması, israf ve kayıpların çoğalması, toprak bozulumu, iklim değişikliği ve tarımsal suların kirlenmesi gibi nedenlerle alışılagelmiş üretim teknikleri ve araçlarının terk edilerek çağdaş üretim teknolojilerine geçilmesi zorunlu hâle gelmiştir (Pakdemirli vd., 2021). Dünya nüfusunun hızla artması ve tarım alanlarının yapılaşmayla daralması da birim alandan elde edilen ürün miktarının artırılmasını gerekli kılmakta; sınırlı kaynaklarla üretim yapmaya zorlanan tarımsal nüfusun azalması işleri daha da zorlaştırmaktadır (Özkan ve Dilay, 2024). Tarımsal mekanizasyon, yürütülecek faaliyetlerin kolay gerçekleştirilmesini ve kısa sürede geniş alanlarda iş yapılmasını sağlamakta; yeni iş kollarını açarak üretim faaliyetlerine yeni prosesler kazandırmakta, üretim maliyetlerini düşürüp kaliteli ürün yetiştirilmesine imkân tanımaktadır (Kubilay ve Dilber, 2025).

Tarımsal mekanizasyonun en önemli katkılarından biri, üretim faaliyetlerinin zamanında gerçekleştirilebilmesini sağlamasıdır. FAO (2022), otomasyon teknolojilerinin yalnızca fiziksel emeği azaltmadığını, aynı zamanda su ve gübre kullanımını optimize ederek kaynak kullanım etkinliğini de artırdığını belirtmektedir; rapora göre hassas sulama teknolojileri su kullanımında tasarruf sağlarken işçilik maliyetlerini de düşürmekte, değişken oranlı uygulama teknolojileri ise gübre maliyetlerinin optimize edilmesine katkı sunmaktadır (FAO, 2022). Hassas tarım uygulamaları sayesinde üretim girdileri yalnızca ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılabilmekte; böylece hem maliyetler düşmekte hem de çevresel sürdürülebilirlik desteklenmektedir. Otonom araçlar ve hassas tarım teknolojilerinin kullanımı, üretimdeki kayıpları en aza indirirken işgücü ihtiyacını da azaltmaktadır (Özkan ve Dilay, 2024).

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü istatistiklerine göre Türkiye'de 2025 yılında toplam traktör sayısı önceki yıla göre %0,7 oranında artarak 1.610.133 olmuştur (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2026). 2025 yılında biçerdöver sayıları 21.116 ve diğer alet ve makine sayısı 11.829.090 olarak gerçekleşmiştir. Traktör sayısı son 10 yılda %28 artarken, biçerdöver sayısı %32 oranında artmıştır. Ülkemizde 10 yaş ve altı biçerdöver sayıları toplam biçerdöver sayılarının %49,3'ünü oluşturmaktadır. Bu veriler, Türkiye'de tarımsal alet ve makinelerin niceliksel olarak genişlemeye devam ettiğini göstermektedir.

Mekanizasyonun bir diğer önemli katkısı, üretimde sürekliliğin sağlanmasıdır. FAO (2022), mekanize hasat sistemlerinin ve otomasyon teknolojilerinin üretim sürekliliğini artırdığını ve işgücü yetersizliğinin neden olduğu verim kayıplarını azaltabildiğini vurgulamaktadır.

3.2. Mekanizasyon Benimsemesini Sınırlayan Yapısal Engeller ve Kuramsal Çerçeve

Mekanizasyon, işgücü kıtlığına karşı önemli bir çözüm aracı olarak görülse de, Türkiye'de bu dönüşümün yaygınlaşmasını sınırlandıran çeşitli yapısal sorunlar bulunmaktadır. Bunların başında arazi parçalılığı gelmektedir. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın (2023) Tarımda Teknoloji Kullanımı Özel İhtisas Komisyonu raporunda aktarılan ve TÜİK'in 2001 Genel Tarım Sayımı'na dayanan verilere göre, Türkiye'de

ortalama tarımsal işletme büyüklüğü 5,9 hektar olup bu değer Avrupa Birliği ortalamasının (17,4 hektar) ve Fransa (52,1 ha), Almanya (45,7 ha) ile İspanya (23,8 ha) gibi ülkelerin çok altında kalmaktadır. Aynı kaynağa göre işletmelerin %80,7'si 10 hektardan küçük arazilere sahiptir ve bu işletmeler toplam tarım arazisinin yalnızca %29,1'ini kullanmaktadır; işletme başına düşen parsel sayısı ortalama 5,9 olup, ortalama parsel büyüklüğü 1,29 hektardır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023)[1] . Bu veriler, büyük ölçekli makinelerin etkin kullanımını zorlaştıran ve mekanizasyon yatırımlarının ekonomik geri dönüş süresini uzatan yapısal bir parçalılık sorununa işaret etmektedir.

Yüksek yatırım maliyetleri ikinci önemli sorundur. Traktör, biçerdöver ve diğer tarım makinelerinin edinim maliyetleri, özellikle küçük aile işletmeleri için önemli bir finansman engeli oluşturmaktadır. Rogers'ın (1983) yeniliklerin yayılımı kuramında ortaya konan ve alan yazınında tutarlı biçimde doğrulanan bir bulgu da bu noktayla örtüşmektedir: erken benimseyiciler geç benimseyicilere kıyasla daha büyük ölçekli işletmelere sahiptir ve krediye karşı daha olumlu bir tutum sergilemektedir. Türkiye'de tarım işletmelerinin büyük bölümünün küçük ölçekli aile işletmelerinden oluşması, bu genellemeler ışığında değerlendirildiğinde, mekanizasyon yatırımlarının işletme ölçeğine göre farklılaşan bir hızda yaygınlaşacağını düşündürmektedir.

Son olarak, yaşlanan üretici profilinin sektördeki dijital ve otomasyon teknolojilerine erişim ve bu teknolojilerden yararlanma kapasitesini sınırlayabileceği düşünülmektedir. FAO (2022), dijital tarım teknolojilerine erişimin özellikle küçük ölçekli üreticiler için sınırlı kaldığını; bu nedenle mekanizasyon politikalarının yalnızca teknoloji sunumuyla değil, finansman ve eğitim destekleriyle birlikte tasarlanması gerektiğini vurgulamaktadır.

FAO'nun (2022) aynı raporunda üreticilerin dijital otomasyon teknolojilerini benimsemesinin önündeki başlıca engeller arasında dijital okuryazarlık eksikliği ve genel olarak yaşlanan çiftçi nüfusuyla ilişkilendirilen değişime karşı isteksizlik yer almakta; bu örüntü Avrupa'dan Güney Kore'ye, Nepal'den Pasifik ülkelerine kadar farklı vaka çalışmalarında gözlemlenmekte ve düşük-orta gelirli ülkelerle sınırlı kalmamaktadır.

Bu kuramsal çerçeve, Rogers'ın (1983) yeniliklerin yayılımı kuramıyla tamamlanmaktadır. Rogers, benimseyici kategorileri arasındaki sosyoekonomik farklılıklara ilişkin 228 araştırmayı sentezleyerek bir dizi genelleme geliştirmiştir. Bu genellemelerden en dikkat çekici olanı, erken benimseyicilerin yaş bakımından geç benimseyicilerden tutarlı bir biçimde farklılaşmadığıdır: incelenen çalışmaların yaklaşık yarısı yaşla yenilikçilik arasında herhangi bir ilişki bulmazken, %19'u erken benimseyicilerin daha genç, %33'ü ise daha yaşlı olduğunu göstermektedir (Rogers, 1983). Buna karşılık Rogers, erken benimseyicilerin geç benimseyicilere kıyasla tutarlı biçimde (a) daha fazla yıl eğitim aldığını, (b) okuryazarlık oranının daha yüksek olduğunu, (c) daha yüksek sosyal statüye sahip olduğunu, (d) daha büyük ölçekli işletmelere (çiftlik, firma vb.) sahip olduğunu, (e) pazara yönelik

[1] Bu rakamların 2001 Genel Tarım Sayımı'na dayandığı ve daha güncel bir genel tarım sayımının Türkiye'de henüz tamamlanmadığı [Not: TÜİK 2025 yılında yeni bir Genel Tarım Sayımı çalışmasını başlatmıştır] belirtilmelidir; bu nedenle mevcut parçalılık düzeyinin günümüzde daha da değişmiş olması olasıdır.

(sübzistans değil ticari) bir üretim yönelimine sahip olduğunu ve (f) krediye karşı daha olumlu bir tutum sergilediğini göstermektedir (Rogers, 1983). Bir başka deyişle, Rogers'ın çalışmasında yeniliklerin benimsenmesi üzerinde yaşın etkisi doğrudan değil; eğitim, işletme ölçeği ve krediye erişim gibi yaşla dolaylı olarak ilişkilenen değişkenler üzerinden desteklenmektedir.

Bu bulgu, Türkiye'ye ilişkin saha verileriyle de örtüşmektedir. Akdemir vd.'nin (2021) araştırmasında eğitim düzeyi, yaş gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde farklılaşmaktadır: ilkokul mezunu veya daha düşük eğitim düzeyine sahip üreticilerin oranı 40-55 yaş grubunda %54,3 iken, 56-65 yaş grubunda %72,5'e ve 65 yaş üzerinde %83,8'e yükselmektedir ($p<0,001$). Aynı çalışmada ileri yaş grubundaki üreticilerin internet kullanım sıklığı da belirgin biçimde düşmektedir: günlük internet kullanıcısı oranı 40-55 yaş grubunda %46,1 iken 65 yaş üzerinde %9,1'e gerilemektedir (Akdemir vd., 2021). Bu bulgular, Rogers'ın kuramsal çerçevesiyle birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye'de tarımsal yaşlanmanın teknoloji benimsemeyi yavaşlatan etkisinin, doğrudan bir "yaş etkisinden" çok, yaşla birlikte kümülatif olarak biriken eğitim ve bilgiye erişim dezavantajından kaynaklandığını düşündürmektedir.

3.3. Politika Perspektifi: Ortak Kullanım ve Hizmet Olarak Mekanizasyon

Uluslararası literatürde işgücü kıtlığına karşı mekanizasyonun yaygınlaştırılmasına yönelik politikalar, yalnızca makine alım destekleriyle sınırlı değildir. FAO (2022), özellikle küçük aile işletmelerinin yoğun olduğu ülkelerde "hizmet olarak mekanizasyon" modellerinin -örneğin traktör kiralama hizmetleri, göçebe/gezici mekanizasyon hizmet sağlayıcıları ve dijital platformlar aracılığıyla erişilen makine kiralama sistemlerinin- küçük ve orta ölçekli işletmeler için etkili çözümler sunduğunu; bu modellerin kadın üreticilerin mekanizasyona erişimini kolaylaştırmada da özellikle yararlı olduğunu belirtmektedir.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, küçük işletmelerin yüksek yatırım maliyetlerini tek başına karşılaması güç görünmektedir. Bu nedenle makine parklarının kooperatifler veya üretici birlikleri aracılığıyla ortak kullanıma açılması, FAO'nun (2022) işaret ettiği hizmet-olarak-mekanizasyon modelleriyle uyumlu bir yaklaşım olarak, mekanizasyon yatırımlarının daha geniş bir üretici kitlesine ulaşmasını sağlayabilir. Ayrıca teknoloji kullanan işletmelerde çalışanların daha az fiziksel güç harcaması yorgunluğu azaltarak sosyal refahı artırmakta; kullanılan teknolojik araçların bakım, tamir ve yedek parça gibi ihtiyaçlarının karşılanması da yeni iş kollarının oluşmasına katkı sağlamaktadır (Özkan ve Dilay, 2024).

4. GIDA GÜVENLİĞİ ÜZERİNDEKİ YANSIMALAR

4.1. Gıda Güvenliğinin Kavramsal Çerçevesi

Gıda güvenliği, yalnızca yeterli miktarda gıda üretimini değil, aynı zamanda bireylerin her zaman güvenli, besleyici ve erişilebilir gıdaya ulaşabilmesini ifade eden çok boyutlu bir kavramdır. FAO'nun (2008) "Gıda Güvenliğinin Temel Kavramlarına Giriş" başlıklı uygulama kılavuzuna göre gıda güvenliği; mevcudiyet

(availability - üretim, stok düzeyleri ve net ticaretle belirlenen arz boyutu), erişim (access - hane düzeyinde gıdaya ekonomik ve fiziksel erişim), kullanım (utilization - besin öğelerinin vücutta etkin biçimde değerlendirilmesi) ve istikrar (stability - önceki üç boyutun zaman içinde sürekliliği) olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden herhangi birinde yaşanan aksama, ulusal gıda sistemlerinin sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyebilmektedir (FAO, 2008).

4.2. Tarımsal Yaşlanma, İşgücü Kıtlığı ve Gıda Güvenliği İlişkisi

FAO, IFAD, UNICEF, WFP ve WHO'nun (2024) ortaklaşa yayımladığı "Dünyada Gıda Güvenliği ve Beslenmenin Durumu 2024" raporuna göre, küresel gıda güvensizliğinin başlıca itici güçleri çatışmalar, iklimsel aşırılıklar ve değişkenlik ile ekonomik yavaşlamalar/durgunluklardır. Raporda bu üç itici gücün genellikle iç içe geçerek ülkelerin gıda sistemlerinin dayanıklılığını zayıflattığı vurgulanmaktadır. Rapor doğrudan bir "işgücü kıtlığı" başlığı taşımamakta, ancak ekonomik yavaşlamaların ve üretim maliyetlerindeki artışların gıda erişimini olumsuz etkileyen dolaylı bir mekanizma olarak ele almaktadır. Bu çalışmanın önceki bölümlerinde ortaya konan bulgular ışığında, tarımsal işgücünün yaşlanması ve buna bağlı üretim maliyeti artışlarının, uluslararası kuruluşların ortak raporunda tanımlanan ekonomik itici güçler kategorisiyle dolaylı biçimde ilişkilendirilebileceği değerlendirilmektedir.

Bulut (2025), tarımsal girdi maliyetlerindeki (gübre, mazot, yem, elektrik, işçilik) hızlı artışın ve döviz kuru dalgalanmalarının ithalata bağımlı girdileri pahalılaştırarak Türkiye'de gıda arzını doğrudan etkilediğini; yüksek dışa bağımlılık, arazi parçalılığından kaynaklanan verimlilik kayıpları, yetersiz sulama altyapısına bağlı kuraklık riski ile soğuk zincir eksikliği ve gıda fiyatlarındaki oynaklığın gıda güvenliğini zayıflatan başlıca yapısal unsurlar olduğunu belirtmektedir. Benzer biçimde Yılmaz vd. (2020), görüşülen çiftçilerin tarımsal faaliyetlere devam etmeme kararında girdi fiyatlarının yüksekliği ve pazarlama güçlüklerinin başlıca ekonomik nedenler arasında yer aldığını saptamıştır.

Tarımsal nüfusun yaşlanması öncelikle üretim kapasitesini etkilemektedir. Akdemir vd.'nin (2021) bulguları, ileri yaş grubundaki üreticilerin emek yoğun ürünlerden kaçınma eğiliminin daha genç üreticilere kıyasla belirgin biçimde yüksek olduğunu göstermiştir; bu eğilim, özellikle mevsimlik işgücüne bağımlı üretim sistemlerinde arz daralmasına ve hasat dönemlerinde ürün kayıplarına yol açabilmektedir. Ayrıca, Yılmaz vd.'nin (2020) yaşlılık nedeniyle çalışılan saatin ve işlenen alanın azalması ile ilgili bulgular da üretim kapasitesini etkileyebilecek başka sonuçlardır. Genç nüfusun tarımsal faaliyetlere yeterince katılmaması ise nesiller arası bilgi aktarımını zayıflatmakta ve aile işletmelerinin devamlılığını riske sokmaktadır; Akdemir vd. (2021) örnekleminde üreticilerin %45,6'sının çocuklarının tarımsal faaliyeti sürdürmeyeceğini düşünmesi bu riski somut biçimde ortaya koymaktadır. Genç nüfusun tarımdan uzaklaşması ve sektörün giderek yaşlanan bir işgücü yapısına sahip

olması, uzun vadede üretimin sürdürülebilirliğini tehdit eden önemli bir demografik risk olarak değerlendirilmektedir (Bulut, 2025).

4.3. Mekanizasyon ve Gıda Güvenliği İlişkisi

Bulut'a (2025) göre Türkiye'de tarım sektörünün büyük ölçüde küçük ölçekli aile işletmelerinden oluşması hem verimlilik hem de teknoloji kullanımında sınırlılık yaratmakta; parçalı arazi yapısı, yetersiz sulama teknikleri, mekanizasyon eksiklikleri ve finansmana erişim güçlükleri üretim kapasitesinin tam kullanılmasını engellemektedir.

Tarımsal mekanizasyon, yaşlanan işgücünün yol açtığı üretim risklerini tümüyle ortadan kaldırmasa da bu riskleri önemli ölçüde azaltabilmektedir. FAO (2022), otomasyon teknolojilerinin üretim sürekliliğini artırdığını, işgücü yetersizliğinin neden olduğu verim kayıplarını azalttığını ve su ile gübre kullanımında kaynak etkinliğini yükselterek sürdürülebilir üretime katkıda bulunduğunu belirtmektedir. Ancak mekanizasyonun gıda güvenliği üzerindeki olumlu etkilerinin gerçekleşebilmesi için teknolojinin tüm üreticiler tarafından erişilebilir olması gerekmektedir; FAO'nun (2022) işaret ettiği gibi küçük ölçekli işletmelerin finansman yetersizlikleri nedeniyle mekanizasyon yatırımlarından yeterince yararlanamaması, üretim farklılıklarının derinleşmesine yol açabilir. Türkiye açısından dijital tarım uygulamalarının, hassas sulama teknolojilerinin ve yapay zekâ tabanlı üretim tahmin modellerinin yaygınlaşması, üretim verimliliğini artırma ve kaynak kullanımını optimize etme potansiyeli taşımaktadır (Bulut, 2025). Aşağıdaki tablo, tarımsal yaşlanma ile mekanizasyonun gıda güvenliğinin dört boyutu üzerindeki olası etkilerini özetlemektedir.

Tablo 1. Tarımsal yaşlanma ile mekanizasyonun gıda güvenliğinin dört boyutu üzerindeki olası etkileri

Gıda Güvenliği Boyutu	Tarımsal Yaşlanmanın Olası Etkisi	Mekanizasyonun Olası Katkısı
Mevcudiyet (Availability)	İşgücü yetersizliği nedeniyle emek yoğun faaliyetlerden kaçınma, hasat kayıpları ve toplam üretimde daralma (Akdemir vd., 2021).	Üretim süreçlerinin zamanında gerçekleştirilmesini sağlayarak verimliliği ve toplam üretimi artırabilir (FAO, 2022).
Erişim (Access)	Artan üretim maliyetleri ve daralan arz nedeniyle gıda fiyatları üzerinde yukarı yönlü baskı oluşabilir (FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO, 2024).	İşçilik maliyetlerini azaltarak üretim maliyetlerinin kontrol altına alınmasına katkı sağlayabilir (FAO, 2022).
Kullanım (Utilization)	Üretim miktarındaki ve çeşitliliğindeki azalma, dengeli beslenmeyi dolaylı biçimde olumsuz etkileyebilir (FAO, 2008).	Daha düzenli ve zamanında üretim süreçleri, ürün kalitesine dolaylı katkı sağlayabilir (FAO, 2022).
İstikrar (Stability)	İşgücü krizleri ve üretim dalgalanmaları, arz sürekliliğini zayıflatabilir (ILO, 2023; FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO, 2024).	Üretim süreçlerini hızlandırarak tedarik zincirinin sürekliliğini destekleyebilir (FAO, 2022).

Kaynak: FAO (2008), FAO (2022), Akdemir vd. (2021), ILO (2023) ve FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO (2024) temel alınarak yazar tarafından geliştirilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımsal nüfusun yaşlanması, Türkiye tarımının önümüzdeki yıllarda karşı karşıya kalacağı önemli yapısal sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada ele alınan kuramsal yaklaşımlar, tarımsal yaşlanmanın ekonomik sonuçlarını açıklamada birbirini tamamlayan bir çerçeve sunmaktadır. Rogers'ın (1983) yeniliklerin yayılımı kuramı, yeni teknolojilerin benimsenmesinde belirleyici olanın doğrudan yaş değil, yaşla dolaylı olarak ilişkilenen eğitim düzeyi, işletme ölçeği ve krediye erişim olduğunu göstermektedir. Türkiye'de tarım sektöründe gözlenen gelişmeler -traktör parkının kümülatif olarak genişlemesi, emek yoğun faaliyetlerden yaşla birlikte artan biçimde kaçınılması- bu kuramsal yaklaşımla büyük ölçüde örtüşmektedir.

Değerlendirmeler, mekanizasyonun yaşlanan işgücünün yerini tamamen alabilecek bir unsur olmadığını, ancak işgücü yetersizliğinin üretim üzerindeki olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltabilecek stratejik bir araç olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte küçük işletme ölçeği, arazi parçalanması, finansmana erişim güçlükleri ve eğitim/bilgiye erişim farkları, mekanizasyonun yaygınlaşmasının önündeki temel yapısal engeller olmaya devam etmektedir. Çalışmada ayrıca tarımsal yaşlanmanın gıda güvenliği üzerindeki etkileri, FAO'nun (2008) dört temel boyutu çerçevesinde değerlendirilmiştir; işgücü kıtlığı ve emek yoğun faaliyetlerden kaçınma eğiliminin üretim miktarı, üretim maliyetleri ve arz sürekliliği üzerinde oluşturduğu baskılar, uzun vadede gıda sistemlerinin sürdürülebilirliğini etkileyebilecek yapısal riskler taşımaktadır. Türkiye'deki tarımın yapısal problemleri literatür çerçevesinde dikkate alınarak, tarımsal dayanıklılığı artırmak için çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

- Küçük aile işletmelerinin yüksek makine yatırım maliyetlerini tek başına karşılaması çoğu zaman mümkün değildir. FAO'nun (2022) işaret ettiği "hizmet olarak mekanizasyon" (Mechanization as a Service) modelleri -traktör kiralama hizmetleri, gezici mekanizasyon hizmet sağlayıcıları ve dijital platform temelli makine paylaşım sistemleri- kooperatifler ve üretici birlikleri aracılığıyla yaygınlaştırılabilir.
- Türkiye'de tarım arazilerinin parçalı yapısı (2001 sayım verilerine göre işletme başına ortalama 5,9 parsel), mekanizasyon yatırımlarının ekonomik etkinliğini sınırlamaktadır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Arazi toplulaştırma projelerinin hızlandırılması ve güncel bir genel tarım sayımıyla parçalılık düzeyinin yeniden ölçülmesi önem taşımaktadır.
- Akdemir vd. (2021) bulguları, üreticilerin önemli bir bölümünün çocuklarının tarımı sürdürmeyeceğini düşündüğünü ve bunun başlıca gerekçesinin gelir yetersizliği ile diğer sektörlerdeki daha iyi yaşam standartları olduğunu göstermektedir. Yatırım hibeleri, düşük faizli krediler ve kırsal yaşam kalitesini artıracak sosyal politikalar bu eğilimi tersine çevirmede belirleyici olabilir. Karahan vd. (2025), tarımda gençleşmenin yalnızca ekonomik desteklerle değil; gelir istikrarı, kırsal yaşam kalitesi ve mesleğin toplumsal itibarını kapsayan bütüncül bir dijital tarım ekosistemiyle mümkün olabileceğini, gençlerin bulunmadığı bir üretim yapısında teknolojik dönüşümün sahaya inmesinin güç olduğunu vurgulamaktadır. Yılmaz vd. (2020) de benzer biçimde, genç nüfusun

kırsalda kalmasının önündeki engellerin belirlenip ortadan kaldırılmasını tarımsal sürdürülebilirlik açısından kritik görmektedir.

- Rogers'ın (1983) genellemeleri ve Akdemir vd.'nin (2021) Türkiye verileri birlikte değerlendirildiğinde, teknoloji benimsemedeki temel belirleyicinin yaş değil eğitim ve bilgiye erişim olduğu görülmektedir. Bu nedenle yaşlı üreticilere yönelik uygulamalı eğitim programları ve dijital okuryazarlık destekleri, mekanizasyon politikalarının ayrılmaz bir parçası olmalıdır.

- Rogers'ın (1983) işletme ölçeğine ilişkin genellemesi dikkate alındığında, mekanizasyon desteklerinin tüm üreticilere aynı biçimde uygulanması yerine işletme büyüklüğü ve bölgesel ihtiyaçlar gözetilerek farklılaştırılması, özellikle küçük ve orta ölçekli emek yoğun işletmelere yönelik hedefli destek mekanizmalarının geliştirilmesi daha etkin sonuçlar sağlayacaktır.

Sonuç olarak, Türkiye'de tarımsal nüfusun yaşlanması yalnızca demografik bir değişim olarak değil; üretim yapısını, teknoloji kullanımını ve gıda güvenliğini etkileyen çok boyutlu bir dönüşüm süreci olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Akdemir, Ş., Kougnigan, E., Keskin, F., Akçaöz, H. V., Boz, İ., Kutlar, İ., Miassi, Y. E., Küsek, G., & Türker, M. (2021). Ageing population and agricultural sustainability issues: Case of Turkey. *New Medit*, 20(4), 49–62. https://doi.org/10.30682/nm2104d

Bulut, M. (2025). Türkiye'de gıda güvenliği sorunları ve stratejik yönetim perspektifi. In A. Kaya & N. Bahşi (Eds.), *Tarımın yeni dönem dinamikleri*. BİDGE Yayınları.

Eser, B., & Küçük Aksu, S. (2021). Yaşlanan nüfus, sorunlar ve politikalar: Türkiye için bir değerlendirme. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 12(2), 541-556.

Eurostat. (2024). Farmers and the agricultural labour force – statistics. *Statistics Explained*. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farmers_and_the_agricultural_labour_force_-_statistics

FAO. (2008). *An introduction to the basic concepts of food security* (Food Security Information for Action, Practical Guides). EC-FAO Food Security Programme.

FAO. (2022). *The state of food and agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. FAO. https://doi.org/10.4060/cb9479en

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2024). *The state of food security and nutrition in the world 2024: Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms*. FAO. https://doi.org/10.4060/cd1254en

Günaydın, D. (2018). Türkiye'nin demografik dönüşümü çerçevesinde işgücünün yaşlanma sorunu. Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi, 11(1), 1-13.

ILO. (2023). *World employment and social outlook: Trends 2023*. International Labour Office. https://doi.org/10.54394/SNCP1637

Karahan, Z. Y. M. A., Biricik, H. S., Fidan, F., & Karaca, İ. (2025). Tarımın geleceğinde gençlerin rolü. In *18th International İstanbul Scientific Research Congress: Proceedings book* (Vol. 3). https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-610-19-2.2025.5114

Kubilay, L. A. E., & Dilber, Y. (2025). Türkiye'de tarımsal mekanizasyon seviyesinin geliştirilmesine yönelik alınacak önlemler ve karar destek sistemleri ile hassas tarım uygulamalarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi. In *V. International Eurasian Scientific Research and Innovation Congress*. Ankara.

OECD. (2019a). *Innovation, productivity and sustainability in food and agriculture: Main findings from country reviews and policy lessons*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/c9c4ec1d-en

OECD. (2019b). *Innovation, agricultural productivity and sustainability in Latvia*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264312524-en

Özdinç, Ö., & Şentürk, M. (2026). Kırsal yaşlanma ve bölgesel kalkınma göstergeleri: Orta Karadeniz Bölgesi örneği. *TESAM Akademi Dergisi*, 13(1), 407-443.

Özgür, E. M., & Yakar, M. (2026). Kırsal Türkiye'deki aşırı yaşlanmanın coğrafi örüntüsü kasvetli demografik bir durumu açığa çıkarıyor. *Senectus*, 4(1), 99-140. https://doi.org/10.26650/senectus.2026.4.1.1034

Özkan, A., & Dilay, Y. (2024). Teknoloji çağında tarımda makineleşme. In *Doğa bilimleri ve matematikte yeni trendler ve sınırlar* (p. 171).

Özkaya, Y., & Demir, O. (2022). Yaşlanmanın büyümeyi yavaşlatan etkisini azaltıcı politikalar. *Journal of International Management Educational and Economics Perspectives*, 10(2), 171-185.

Pakdemirli, B., Birişik, N., Aslan, İ., Sönmez, B., & Gezici, M. (2021). Türk tarımında dijital teknolojilerin kullanımı ve tarım-gıda zincirinde Tarım 4.0. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 78-87.

Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations* (3rd ed.). Free Press.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *Tarımda teknoloji kullanımı özel ihtisas komisyonu raporu (On İkinci Kalkınma Planı 2024-2028)*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2025/08/Tarimda-Teknoloji-Kullanimi-Ozel-Ihtisas-Komiyonu-Raporu_01082025.pdf

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı. (2024). *İstihdamın sektörel dağılımı (1. Çeyrek 2024)*. https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/Belgeler/Veriler/IstihdamIsgucu.pdf

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü. (2026). *Tarımsal alet ve makine istatistikleri bülteni, 2025*. https://istatistik.tarimorman.gov.tr/Sayfa/Detay/2260

Tepecik, A. (2023). Kırsal alanlarda dirençlilik meselesi üzerine bir inceleme. In *5. Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi* (pp. 11-13).

TÜİK. (2026a). *Sektörlere göre istihdam edilenler*. https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/statistical-themes

TÜİK. (2026b). *Seçilmiş ülkelere göre yaşlı nüfus oranı*. https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/58231

TÜİK. (2026c). *İstatistiklerle yaşlılar, 2025* [Haber bülteni]. https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/58231

TÜİK. (2026d). *Kır-kent ayrımı ve yaşa göre nüfus*. https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/databrowser/tuik/categories/11/11_1/11_1_1/TR,DF_ADNKS_T36,1.1

Yakar, M., & Özgür, E. M. (2022). Türkiye'de nüfusun yaşlanması, yerel düzeyde tehlike çanları çalıyor! *Coğrafya Dergisi*, 44, 231-250.

Yılmaz, E., Turğut, U., Tosun, D., & Gümüş, S. (2020). İzmir ilindeki çiftçilerin kırsal nüfusun yaşlanma eğilimi ve tarımsal faaliyetlerin devamlılığına ilişkin görüşleri. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 26(2), 109-119.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAYNAKLI RİSKLERDE SİGORTA KORUMASININ KAPSAMI VE SINIRLARI

Dr. Öğretim Üyesi, Serdar DEMİRCİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Hukuk Fakültesi Ticaret Hukuku Anabilim Dalı

serdardemirci@karatekin.edu.tr; ORCID: 0000-0001-6450-9824

Özet

İklim değişikliğinin yol açtığı veya etkisini ağırlaştırdığı sel, taşkın, fırtına, dolu, kuraklık ve benzeri olaylar, sigorta hukuku bakımından teminatın kapsamı ve sınırlarına ilişkin yeni sorunları beraberinde getirmektedir. Bu rizikoların konut, işyeri, motorlu araç veya diğer malvarlığı değerleri bakımından özel zarar sigortalarına konu edilmesi mümkündür. Bununla birlikte aynı rizikonun geniş bir coğrafyada çok sayıda sigortalıyı eş zamanlı etkilemesi ve katastrofik boyuta ulaşması, bireysel sigorta sözleşmesiyle sağlanan korumanın ötesinde çözümlere ihtiyaç doğurmaktadır.

Çalışmada iklim değişikliği kaynaklı riskler, Türk Ticaret Kanunu'nun sigorta sözleşmesine ilişkin hükümleri çerçevesinde öncelikle riziko ve sigorta teminatının kapsamı yönünden ele alınmaktadır. Katastrofik zararlar bakımından ise özel sigortanın hangi noktaya kadar koruma sağlayabileceği ve zorunlu sigorta ile kamusal risk paylaşımının hangi şartlarda devreye girebileceği üzerinde durulmaktadır. Bu kapsamda 6305 sayılı Afet Sigortaları Kanunu ile Zorunlu Deprem Sigortası uygulamasından edinilen tecrübe; sigorta bedeli, teminatın yeterliliği ve zorunlu sigortanın sınırları bakımından değerlendirilmektedir. Fransa, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki doğal afet ve taşkın sigortası modelleri de katastrofik zararların özel sigorta, reasürans ve kamusal mekanizmalar arasında nasıl paylaştırılabildiğini göstermesi yönüyle karşılaştırmaya dahil edilmektedir. Türk hukuku bakımından temel mesele, iklim kaynaklı her rizikoyu zorunlu sigorta kapsamına almak yerine, özel sigortayla karşılanabilecek zararlarla ortak risk paylaşımını gerektiren katastrofik zararlar arasındaki sınırın belirlenmesidir. Bahse konu ayrımın, zorunlu afet sigortasının kapsamı ile özel sigortanın tamamlayıcı rolünün belirlenmesinde esas alınması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, sigorta hukuku, sigorta teminatı, katastrofik risk, zorunlu afet sigortası.

THE SCOPE AND LIMITS OF INSURANCE COVERAGE FOR CLIMATE CHANGE-RELATED RISKS

Abstract

Climate change and the increasing severity of floods, storms, hail, droughts, and similar events raise significant questions concerning the scope and limits of insurance coverage. Such risks may be covered under private property insurance in relation to homes, businesses, motor vehicles, and other assets. However, when the same risk affects a large number of policyholders simultaneously across a wide geographical area and reaches catastrophic proportions, protection based solely on individual insurance contracts may prove insufficient.

This paper examines climate change-related risks primarily from the perspective of risk and the scope of insurance coverage under the provisions of the Turkish Commercial Code governing insurance contracts. With regard to catastrophic losses, particular attention is given to the extent to which private insurance can provide effective protection and to the circumstances in which compulsory insurance and public risk-sharing mechanisms may become necessary. In this context, the experience gained from Compulsory Earthquake Insurance and Law No. 6305 on Disaster Insurance is considered in terms of the sum insured, adequacy of coverage, and the limits of compulsory insurance. Natural catastrophe and flood insurance schemes in France, the United Kingdom, and the United States are also compared to illustrate different ways of allocating catastrophic losses among private insurance, reinsurance, and public mechanisms. From the perspective of Turkish law, the central issue is not to bring every climate-related risk within the scope of compulsory insurance, but to determine the boundary between losses that can be covered through private insurance and catastrophic losses that require collective risk-sharing. This distinction should provide the basis for defining the scope of compulsory disaster insurance and the complementary role of private insurance.

Keywords: Climate change, insurance law, insurance coverage, catastrophic risk, compulsory disaster insurance.

KENTSEL AÇIK-YEŞİL ALANLARIN İNSAN REFAHI ÜZERİNDEKİ ÇOK BOYUTLU ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ[1]

[1]Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, yucedagc@gmail.com,

0000-0002-5360-4241

Özet

Hızlı kentleşme, yoğun yapılaşma ve yeşil alanların azalması, kent sakinlerinin çevresel sorunlara maruziyetini artırarak yaşam kalitesi ve refahını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu süreç, sağlıklı ve yaşanabilir kentlerin oluşturulmasında kentsel açık-yeşil alanların önemini giderek artırmaktadır. Bu bildirinin amacı, kentsel açık-yeşil alanların insan refahı üzerindeki fiziksel, psikolojik ve sosyal etkilerini güncel bilimsel literatür temelinde bütüncül olarak değerlendirmek ve insan odaklı kentsel planlamaya yönelik temel çıkarımları ortaya koymaktır. Literatür bulguları, kentsel açık-yeşil alanların hava kalitesinin iyileştirilmesi, gürültü ve kentsel ısı etkilerinin azaltılması ve termal konforun desteklenmesi yoluyla daha sağlıklı yaşam çevrelerinin oluşturulmasına katkı sağladığını göstermektedir. Bunun yanında, yürüyüş, rekreasyon ve diğer açık hava etkinliklerine olanak sağlayarak fiziksel aktiviteyi teşvik etmekte ve sedanter yaşam biçiminin azaltılmasını desteklemektedir. Yeşil alanlarla temasın stres, kaygı ve depresif belirtilerin azalması, dikkat restorasyonu, zihinsel yenilenme, yaşam memnuniyeti ve öznel iyi oluşun artmasıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Ayrıca yeşil alanların sosyal etkileşim olanaklarını artırdığı, sosyal bağları güçlendirdiği, yer bağlılığını ve topluluk aidiyetini desteklediği bildirilmektedir. Bu yararların yalnızca yeşil alan miktarı ve erişilebilirliğine değil; algılanan kalite, bitkisel çeşitlilik, doğallık, estetik, güvenlik, bakım ve kullanıcı gereksinimlerine uygunluk gibi niteliksel özelliklere de bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla kentsel açık-yeşil alanlar, insan refahını çok boyutlu olarak destekleyen temel kentsel altyapı unsurları olarak değerlendirilmelidir. Sürdürülebilir ve sağlıklı kentler için yeşil alanların nicelik ve niteliğinin birlikte ele alınması; farklı toplumsal grupların gereksinimlerini gözeten erişilebilir, kapsayıcı, iklime dirençli ve insan odaklı yeşil altyapı yaklaşımlarının planlama ve tasarım süreçlerine bütüncül biçimde entegre edilmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Kentsel açık-yeşil alanlar, insan refahı, yaşam kalitesi, kentsel planlama

ASSESSMENT OF THE MULTIDIMENSIONAL EFFECTS OF URBAN OPEN-GREEN SPACES ON HUMAN WELL-BEING

Abstract

Rapid urbanization, increasing built-up density, and the continuing loss of green spaces can negatively affect the quality of life and well-being of urban residents by increasing their exposure to a range of environmental stressors. Against this background, urban open-green spaces have become increasingly important for creating healthier and more liveable cities. This study aims to provide an overall assessment of the physical, psychological, and social contributions of urban open-green spaces on human well-being, drawing on recent scientific literature, and to discuss their implications for human-centred urban planning. Current evidence suggests that urban open-green spaces can contribute to healthier living environments by improving air quality, mitigating noise and urban heat, and providing better thermal comfort. They also provide settings for walking, recreation, and other outdoor activities, which may encourage physical activity and reduce sedentary behaviour. Contact with green spaces has been associated with lower levels of stress, anxiety, and depressive symptoms, as well as improved attention restoration, mental recovery, life satisfaction, and subjective well-being. Green spaces may also create opportunities for social interaction, strengthen social ties, and foster place attachment and a sense of community. Importantly, these benefits are shaped not only by the quantity and accessibility of green space but also by its quality. Characteristics such as vegetation diversity, naturalness, aesthetics, safety, maintenance, and suitability for users' needs can influence how people experience and benefit from these spaces. Overall, urban open-green spaces represent an important part of urban infrastructure with the potential to support several dimensions of human well-being. Planning for healthier and more sustainable cities should therefore consider both the quantity and quality of green spaces and promote accessible, inclusive, climate-resilient, and human-centred green infrastructure that address the needs of different social groups.

Keywords: Urban open-green spaces, human well-being, quality of life, urban planning

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun giderek daha büyük bir bölümünün kentlerde yaşaması, kentleşmenin insan sağlığı ve refahı üzerindeki etkilerini önemli bir araştırma alanı haline getirmiştir. Hızlı kentleşme; yapı yoğunluğunun artması, doğal ve yarı doğal alanların azalması, geçirimsiz yüzeylerin genişlemesi, trafik yoğunluğu, hava ve gürültü kirliliği ile kentsel ısı adası etkisinin güçlenmesi gibi çevresel sorunlarla birlikte gelişmektedir. Bu değişimler kent sakinlerinin yalnızca fiziksel çevresini değil, fiziksel ve ruhsal sağlıklarını, sosyal ilişkilerini ve genel yaşam kalitelerini de etkileyebilmektedir. Bu nedenle kentlerin planlanmasında ekolojik sürdürülebilirliğin yanı sıra insan sağlığı ve refahının da temel bir planlama hedefi olarak ele alınması giderek önem kazanmaktadır.

Kentsel açık-yeşil alanlar bu bağlamda parklar, kent ormanları, mahalle parkları, rekreasyon alanları, yeşil koridorlar, yol ve cadde ağaçlandırmaları, topluluk bahçeleri ve diğer bitkilendirilmiş kamusal alanları kapsayan önemli bir kentsel altyapı bileşenidir. Bu alanların insan sağlığı üzerindeki etkileri tek bir mekanizmayla açıklanamamaktadır. Yeşil alanlar bir taraftan hava kalitesinin iyileştirilmesi, sıcaklıkların düzenlenmesi ve gürültünün azaltılması gibi ekosistem hizmetleri sağlarken, diğer taraftan fiziksel aktivite, rekreasyon, doğayla temas ve sosyal etkileşim için ortam oluşturmaktadır. Güncel kanıtlar, yeşil alan maruziyetinin çeşitli fiziksel ve ruhsal sağlık göstergeleriyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Wang et al., 2025; Pelizzari et al., 2026).

Bununla birlikte, son yıllardaki çalışmalar “ne kadar yeşil alan vardır?” sorusunun tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Yeşil alanın kalitesi, erişilebilirliği, bitkisel çeşitliliği, estetik özellikleri, güvenliği, bakımı, donatıları ve kullanıcı gereksinimlerine uygunluğu da sağlık ve refah yararlarının ortaya çıkmasında önem taşımaktadır (Xu et al., 2025; Yang et al., 2026). Ayrıca bu yararların toplumun farklı kesimleri arasında eşit dağılıp dağılmadığı, güncel yeşil alan planlamasının temel tartışmalarından biri haline gelmiştir (Rigolon et al., 2024; Martin & Conway, 2025).

Bu bildirinin amacı, kentsel açık-yeşil alanların insan refahı üzerindeki etkilerini güncel bilimsel literatür temelinde fiziksel, psikolojik ve sosyal boyutlarıyla bütüncül olarak değerlendirmek; yeşil alan kalitesi ve erişilebilirliğinin önemini ortaya koymak ve sağlıklı, kapsayıcı ve iklime dirençli kentlerin planlanmasına yönelik temel çıkarımları tartışmaktır.

2. KENTSEL AÇIK-YEŞİL ALANLAR VE İNSAN REFAHI

İnsan refahı yalnızca hastalıkların bulunmamasıyla açıklanabilecek bir kavram değildir. Fiziksel ve ruhsal sağlığın yanı sıra yaşam memnuniyeti, öznel iyi oluş, sosyal ilişkiler, güvenli bir çevrede yaşama ve yaşam çevresinden duyulan memnuniyet gibi birbiriyle ilişkili boyutları içermektedir. Bu nedenle kentsel açık-yeşil alanların insan refahına katkısı da çok boyutlu bir çerçevede değerlendirilmelidir.

Son dönemde gerçekleştirilen geniş kapsamlı sentezler bu çok boyutluluğu desteklemektedir. Wang et al. (2025) tarafından gerçekleştirilen umbrella review, yeşil ve mavi alan maruziyetinin tüm nedenlere bağlı mortalite,

kardiyovasküler mortalite, diyabet ve metabolik sendrom gibi sağlık sonuçlarının yanı sıra ruhsal sağlık göstergeleriyle de ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte kanıtların bütün sağlık sonuçları açısından aynı güçte olmadığı ve bazı ilişkilerde heterojenlik bulunduğu belirtilmektedir. Bu durum yeşil alan–sağlık ilişkisinin bağlama, kullanılan maruziyet göstergesine, bireysel özelliklere ve yeşil alanın niteliğine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir.

Bu ilişkinin değerlendirilmesindeki bir diğer önemli konu "yeşil alana maruziyet" kavramının nasıl ölçüldüğüdür. Freymueller et al. (2024), 338 çalışmayı kapsayan derlemelerinde yeşil alan maruziyeti ve ruhsal sağlık değerlendirmelerinde önemli yöntemsel çeşitlilik bulunduğunu göstermiştir. Coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama göstergeleri, yeşil alanlara uzaklık ve anket temelli algısal değerlendirmeler farklı boyutları ölçmektedir. Dolayısıyla yalnızca konut çevresindeki yeşil alan miktarının ölçülmesi, bireyin o alanı kullanıp kullanmadığını, nasıl algıladığını veya alanın hangi özelliklerinden yararlandığını açıklamakta yetersiz kalabilir (Freymueller et al., 2024).

Bu açıdan güncel yaklaşım, yeşil alanların miktarı, erişilebilirliği, kullanımı ve algılanan kalitesinin birbirinden farklı ancak ilişkili bileşenler olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir.

3. FİZİKSEL REFAH ÜZERİNDEKİ ETKİLER

Kentsel açık-yeşil alanların fiziksel sağlığa katkısı birkaç mekanizma üzerinden gerçekleşebilmektedir. Bunlardan biri çevresel risklerin azaltılmasıdır. Bitkisel örtü gölgeleme ve evapotranspirasyon yoluyla kent mikroiklimini düzenleyebilmekte ve sıcak dönemlerde termal stresi azaltabilmektedir. Özellikle iklim değişikliğine bağlı sıcak hava dalgalarının daha sık ve şiddetli hale gelmesi, kentsel yeşil altyapının bu işlevini daha önemli hale getirmektedir.

Li et al. (2025), kentsel yeşil alanların soğutma etkilerini inceleyen 215 çalışmayı sistematik olarak değerlendirmiş ve bu alandaki araştırmaların özellikle 2021 sonrasında hızla arttığını göstermiştir. Yeşil alanların soğutma kapasitesi yalnızca alanın varlığına değil; bitki örtüsü, peyzaj yapısı, çevredeki yapılı çevre ve kullanılan mekânsal düzenlemelere de bağlıdır. Benzer şekilde, Liu et al. (2025) beş kıtadaki 21 kentin yeşillendirme politikalarını inceleyerek yeşil altyapının kentsel ısı azaltımı ve iklim değişikliğine uyum açısından önemli bir doğa temelli çözüm olduğunu vurgulamıştır.

Parkların mikroiklimi aynı zamanda insanların bu alanları kullanma olasılığını da etkileyebilir. Zheng et al. (2025), kent parklarında termal konforu inceleyen çalışmaların sentezinde, parkların uygun termal koşullar sağlamasının insan sağlığını desteklemenin yanı sıra açık hava etkinliklerine katılımı teşvik edebileceğini belirtmektedir. Bu nedenle gölge sağlayan ağaç örtüsü, bitki kompozisyonu, su öğeleri ve dinlenme alanlarının konumu gibi tasarım özellikleri yalnızca estetik değil, sağlık açısından da değerlendirilmelidir.

Yeşil alanların fiziksel sağlık üzerindeki ikinci temel mekanizması fiziksel aktivitedir. Parklar ve diğer açık-yeşil alanlar yürüyüş, koşu, bisiklete binme, oyun, spor ve rekreasyon için uygun ortamlar oluşturarak günlük fiziksel aktiviteyi destekleyebilir. Amjad et al. (2025) tarafından gerçekleştirilen ve yaklaşık 6,9 milyon kişiyi kapsayan 16 sistematik derlemeyi sentezleyen umbrella review, yeşil alanların mevcudiyeti ve estetik özellikleri ile aktif rekreasyon ve toplam fiziksel aktivite arasında genel olarak olumlu ilişkiler bulunduğunu göstermiştir. Bu bulgu, yeşil alanın yalnızca bulunmasının değil, insanları kullanmaya teşvik edecek nitelikte olmasının da önemli olduğuna işaret etmektedir.

Fiziksel aktivite aynı zamanda yeşil alan ile genel refah arasındaki ilişkide aracı bir mekanizma olabilir. Chen et al. (2025), kentsel yeşil alanların öznel iyi oluş üzerindeki etkilerini inceleyen sistematik derlemelerinde fiziksel aktiviteyi önemli aracı mekanizmalardan biri olarak belirlemiştir. Dolayısıyla kentsel planlamada yeşil alan miktarını artırmanın yanında yürünebilirlik, bağlantılı yaya yolları, güvenli erişim ve rekreasyon olanaklarının geliştirilmesi gerekmektedir.

4. PSİKOLOJİK REFAH ÜZERİNDEKİ ETKİLER

Kentsel açık-yeşil alanların en fazla araştırılan yararlarından biri ruhsal sağlık ve psikolojik refahla ilişkisidir. Kent yaşamındaki yoğun uyaranlar, trafik, gürültü, kalabalık ve gündelik yaşam baskıları zihinsel yorgunluk ve stres yaratabilmektedir. Doğal çevrelerle temas ise bireylerin bu yoğun uyarıcı ortamdan geçici olarak uzaklaşmasına ve psikolojik olarak yenilenmesine olanak sağlayabilir.

Bu ilişkinin açıklanmasında dikkat restorasyonu önemli bir kuramsal mekanizmadır. Doğal çevrelerin istemsiz dikkati harekete geçirerek yönlendirilmiş dikkatin dinlenmesine olanak sağlaması, zihinsel yorgunluğun azalmasına katkıda bulunabilir. Bunun yanında yeşil alanların stres azaltıcı etkileri, fiziksel aktiviteyi desteklemesi ve sosyal etkileşime olanak sağlaması da psikolojik yararların ortaya çıkmasında rol oynayabilir.

Güncel kanıtlar bu mekanizmaların önemini desteklemektedir. Guo et al. (2026), yaklaşık 3,8 milyon kişiyi kapsayan küresel meta-analizlerinde kentsel yeşil alanların ruhsal sağlık açısından genel olarak yararlı olduğunu ve psikolojik restorasyon yolunun sosyal mekanizmalardan daha güçlü bir aracı rol gösterebildiğini bildirmiştir. Bununla birlikte etkilerin coğrafi bölgelere ve yeşil alanın nasıl ölçüldüğüne göre değişmesi, tek tip bir yeşil alan–ruh sağlığı ilişkisinden söz edilmesini güçleştirmektedir.

Yeşil alanlar stres, kaygı ve depresif belirtiler gibi olumsuz ruhsal sağlık göstergelerinin yanı sıra yaşam memnuniyeti ve öznel iyi oluş gibi olumlu sonuçlarla da ilişkilidir. Chen et al. (2025), yeşil alanların öznel iyi oluşa etkisinin tek bir mekanizmaya dayanmadığını; fiziksel aktivite, çevresel risklerin azaltılması ve mahalle düzeyindeki sosyal bütünlük gibi farklı yolların birlikte rol oynayabildiğini göstermektedir. Pelizzari et al. (2026) tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede de yeşil maruziyetini inceleyen çalışmaların büyük bölümünde genel sağlık, ruhsal sağlık ve iyi oluş açısından olumlu ilişkiler rapor edilmiştir.

Bununla birlikte, yeşil alanın varlığı otomatik olarak psikolojik yarar sağlamamaktadır. Kullanıcı tarafından güvensiz, bakımsız veya estetik açıdan düşük kaliteli algılanan bir alanın restoratif potansiyeli sınırlı olabilir. Bu nedenle güncel araştırmalar yeşil alan miktarından giderek daha fazla yeşil alanın niteliğine ve kullanıcı deneyimine yönelmektedir.

5. SOSYAL REFAH ÜZERİNDEKİ ETKİLER

Açık-yeşil alanlar kentlerde insanların yalnızca doğayla değil, birbirleriyle de karşılaştıkları kamusal mekânlardır. Parklar, mahalle yeşil alanları, topluluk bahçeleri ve yeşil koridorlar farklı yaş ve sosyal gruplardan bireylerin bir araya gelmesine olanak sağlayarak sosyal etkileşim, komşuluk ilişkileri ve topluluk bağlarını destekleyebilir.

Yang et al. (2025), mahallelerdeki yeşil açık alanlar ile sosyal etkileşim arasındaki ilişkileri inceleyen 42 çalışmanın sistematik derlemesinde dört temel yeşil alan boyutunun öne çıktığını belirlemiştir: kullanım sıklığı, alanların miktarı ve mekânsal örüntüsü, alan kalitesi ve yaya çevresi. Özellikle yürüyerek erişilebilirlik, yaya yollarının kalitesi, rekreasyon ve spor alanları ile donatıların niteliği sosyal etkileşimin desteklenmesinde önem taşımaktadır. Bu sonuç, sosyal refahın yalnızca "yeşillik" miktarıyla değil, alanın insanları bir araya getirecek şekilde tasarlanmasıyla ilişkili olduğunu göstermektedir.

Yeşil alanlar aynı zamanda yer bağlılığının gelişmesine katkı sağlayabilir. Jiang et al. (2026), kent yeşil alanlarındaki fiziksel özellikler ile yer bağlılığı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve alan büyüklüğü, ağaç örtüsü, rekreasyon olanakları, oturma elemanları, görülebilir su öğeleri ve kültürel peyzaj elemanları gibi özelliklerin yer bağlılığıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, fiziksel tasarım ile insanların mekânla kurdukları duygusal bağ arasında doğrudan bir bağlantı kurulabileceğine işaret etmektedir.

Ancak sosyal etkileşim açısından da bütün yeşil alanların aynı işlevi görmesi beklenmemelidir. Kullanıcı profili, güvenlik algısı, erişim biçimi, donatıların çeşitliliği ve alanın farklı gruplar tarafından paylaşılabilir olması sosyal yararların düzeyini etkileyebilir. Dolayısıyla kapsayıcı tasarım, sosyal refahı destekleyen yeşil alan planlamasının temel unsurlarından biridir.

6. YEŞİL ALAN KALİTESİ, BİYOÇEŞİTLİLİK VE DOĞALLIK

Güncel literatürdeki en önemli değişimlerden biri, yeşil alan miktarının yanında yeşil alan kalitesinin giderek daha fazla önem kazanmasıdır. Özellikle yoğun yapılaşmış kentlerde yeni ve büyük yeşil alanlar oluşturmak için yeterli arazi bulunmaması, mevcut alanların niteliğinin iyileştirilmesini önemli bir planlama stratejisi haline getirmektedir.

Xu et al. (2025), kentsel yeşil alan kalitesi ile ruhsal iyi oluş arasındaki ilişkileri sistematik olarak değerlendirmiş ve bitkisel özellikler, su öğeleri, erişilebilirlik, tesis ve donatılar ile bakım gibi farklı kalite bileşenlerinin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde Yang et al. (2026), 28 sistematik derlemeyi kapsayan

umbrella review çalışmalarında yeşil ve mavi alan kalitesinin genel, fiziksel ve ruhsal sağlık sonuçlarıyla farklı mekanizmalar üzerinden ilişkili olduğunu göstermiştir.

Daha dikkat çekici olarak Guo et al. (2026), algılanan yeşil alan kalitesinin bazı ruhsal iyi oluş göstergelerini objektif yeşil alan miktarından daha güçlü biçimde öngörebildiğini bildirmiştir. Bu bulgu, planlamada yalnızca kişi başına düşen yeşil alan miktarı veya belirli mesafe içerisindeki yeşil alan yüzdesi gibi göstergelere dayanmanın yeterli olmadığını göstermektedir.

Bitkisel çeşitlilik ve biyoçeşitlilik de kalite tartışmasının önemli bir parçasıdır. Wu et al. (2024), 41 çalışmayı kapsayan sistematik derlemelerinde biyoçeşitlilik ile sağlık arasındaki kanıtların henüz tamamen tutarlı olmadığını; yalnızca çalışmaların yaklaşık üçte birinde doğrudan olumlu sağlık ilişkileri bulunduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte algılanan biyoçeşitliliğin sağlık ve refahla ilişkili olabileceğine ilişkin bulgular bulunmaktadır. Pelizzari et al. (2026) da yeşil maruziyeti ile sağlık arasında genel olarak olumlu ilişkiler bulunduğunu, ancak biyoçeşitliliğin bağımsız rolünün ölçüm farklılıkları nedeniyle henüz yeterince açıklığa kavuşmadığını vurgulamaktadır.

Bu nedenle "daha fazla tür her zaman daha fazla sağlık yararı sağlar" şeklinde basit bir çıkarım yerine, bitki çeşitliliği, algılanan doğallık, estetik kalite ve kullanıcı deneyiminin birlikte değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

7. ERİŞİLEBİLİRLİK, EŞİTLİK VE ÇEVRESEL ADALET

Bir kentte yüksek miktarda yeşil alan bulunması, bütün kent sakinlerinin bu alanlardan eşit ölçüde yararlandığı anlamına gelmemektedir. Yeşil alanların mekânsal dağılımı, ulaşım olanakları, fiziksel engeller, güvenlik algısı ve sosyoekonomik koşullar erişim ve kullanım üzerinde belirleyici olabilir.

Endalew Terefe ve Hou (2024), 163 çalışmayı kapsayan derlemelerinde yeşil alan erişimi ve kullanımının bireysel, sosyo-kültürel, fiziksel/çevresel, kurumsal, ulaşım ve psikolojik faktörlerden etkilendiğini göstermiştir. Dikkat çekici olarak, algılanan erişilebilirliğin kullanım açısından yalnızca fiziksel erişilebilirlikten daha önemli olabileceğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla bir parkın konuta belirli bir mesafede bulunması, kişinin o parkı güvenli, ulaşılabilir ve kendisine uygun görmediği durumda gerçek erişimi garanti etmemektedir.

Yeşil alanların dağılımındaki eşitsizlikler de önemli bir çevresel adalet sorunudur. Martin ve Conway (2025), Gini İndeksi kullanılarak gerçekleştirilen yeşil alan eşitliği çalışmalarını incelemiş ve parklar, ağaç örtüsü ve ekosistem hizmetlerinin kent içinde eşitsiz dağılımının nicel olarak değerlendirilebildiğini göstermiştir. Rigolon et al. (2024) ise yeşil alan eşitliğini politika perspektifinden ele alarak sağlık eşitliği, iklim değişikliği ve yeşil soylulaştırma gibi konuların birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

İklim değişikliği bu eşitsizlikleri daha da kritik hale getirmektedir. Han et al. (2024), yeşil altyapının soğutma hizmetlerinden kaynaklanan refah yararlarının dünya genelinde eşit dağılmadığını ve özellikle dezavantajlı

grupların kentsel ısı ve yetersiz yeşil altyapıdan daha fazla etkilenebildiğini göstermiştir. Bu nedenle yeşil alan planlamasının yalnızca toplam alan hedeflerine değil, dağılımsal adalete de odaklanması gerekir.

8. KENTSEL PLANLAMA VE PEYZAJ DÜZENLEMESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

Güncel kanıtlar birlikte değerlendirildiğinde, insan refahını destekleyen kentsel yeşil alan planlamasının üç temel boyutu birlikte ele alması gerektiği söylenebilir: nicelik, nitelik ve eşit erişim. Yalnızca kişi başına düşen yeşil alan miktarının artırılması, alanların düşük kaliteli, erişilemez veya kullanıcı gereksinimlerinden uzak olması durumunda beklenen sağlık yararlarını sağlamayabilir.

Khosravipoor et al. (2026), sağlık ve termal konfor açısından yeşil ve mavi alanlara ilişkin 152 çalışmadaki mekânsal önerileri sistematik olarak değerlendirmiş ve önerileri alan seçimi, tasarım ve bakım olmak üzere üç ana grupta toplamıştır. Bu yaklaşım, yeşil alanın planlama sürecinin yalnızca kuruluş aşamasıyla sınırlı olmadığını, uzun dönemli bakım ve yönetimin de sağlık yararlarının sürdürülebilirliği açısından önemli olduğunu göstermektedir.

İnsan odaklı yeşil altyapı planlamasında farklı kullanıcı gruplarının gereksinimleri de dikkate alınmalıdır. Çocuklar, gençler, yaşlılar, engelli bireyler ve farklı sosyoekonomik gruplar aynı yeşil alanı farklı biçimlerde kullanabilir. Bu nedenle erişilebilir yaya yolları, gölgeli dinlenme alanları, farklı fiziksel aktivite olanakları, güvenli ve iyi bakımlı çevreler ile biyolojik ve görsel çeşitlilik sağlayan bitkilendirme yaklaşımları birlikte düşünülmelidir.

İklim değişikliği bağlamında ise kent ağaçları, parklar ve yeşil koridorlar yalnızca rekreasyon alanları değil, iklim uyum altyapısı olarak görülmelidir. Yeşil alanların bağlantılı bir sistem halinde planlanması, uygun tür seçimi, yeterli ağaç örtüsü, gölgeleme kapasitesi ve kuraklığa dayanıklı peyzaj uygulamaları hem ekolojik sürdürülebilirliği hem de insan sağlığını destekleyebilir (Liu et al., 2025; Li et al., 2025).

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentsel açık-yeşil alanlar, insan refahını fiziksel, psikolojik ve sosyal boyutlarda destekleyebilen çok işlevli kentsel altyapı unsurlarıdır. Güncel bilimsel kanıtlar, bu alanların fiziksel aktiviteyi destekleme, kentsel ısıyı azaltma ve termal konfor sağlama gibi fiziksel yararlarının yanı sıra stresin azaltılması, psikolojik restorasyon, yaşam memnuniyeti ve öznel iyi oluşun desteklenmesiyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda sosyal etkileşim, topluluk bağları ve yer bağlılığı açısından da önemli işlevler üstlenmektedir.

Bununla birlikte, yeşil alanların insan refahına katkısının yalnızca alan miktarına bağlı olmadığı açıktır. Algılanan kalite, bitkisel çeşitlilik ve doğallık, estetik özellikler, güvenlik, bakım, rekreasyon olanakları, yaya erişilebilirliği ve kullanıcı gereksinimlerine uygunluk gibi nitelikler sağlık ve refah yararlarının düzeyini şekillendirmektedir. Ayrıca bu alanların ve sağladıkları ekosistem hizmetlerinin toplumun farklı kesimleri arasında eşit dağılımı, sağlıklı kent planlamasının temel koşullarından biri olarak görülmelidir.

Sonuç olarak, sürdürülebilir ve sağlıklı kentlerin geliştirilmesinde yeşil alan planlaması "daha fazla yeşil alan" yaklaşımından "yeterli, kaliteli, erişilebilir ve adil biçimde dağıtılmış yeşil alan" yaklaşımına doğru geliştirilmelidir. Kentsel planlama ve peyzaj tasarımı süreçlerinde nicelik ve nitelik birlikte değerlendirilmeli; yeşil altyapı fiziksel sağlık, psikolojik restorasyon, sosyal etkileşim, iklim uyumu ve çevresel adalet hedeflerini bütünleştiren bir sistem olarak ele alınmalıdır. Böyle bir yaklaşım, açık-yeşil alanların yalnızca kentlerin ekolojik yapısını güçlendiren unsurlar değil, kent sakinlerinin yaşam kalitesi ve refahını doğrudan destekleyen temel bir kamusal altyapı olarak değerlendirilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Amjad, S., Rai, J., Kung, J. Y., Dave, S., et al. (2025). Impact of green and blue spaces on physical activity: An umbrella review. Urban Forestry & Urban Greening, 114, 129166. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.129166

Chen, Y., Ying, J., Zhang, Y., Feng, Y., Chen, X., & Zhou, X. (2025). A systematic review of urban green spaces affecting subjective well-being: An explanation of their complex mechanisms. Ecological Indicators, 178, 113786. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113786

Endalew Terefe, A., & Hou, Y. (2024). Determinants influencing the accessibility and use of urban green spaces: A review of empirical evidence. City and Environment Interactions, 24, 100159. https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100159

Freymueller, J., Schmid, H.-L., Senkler, B., Lopez Lumbi, S., Zerbe, S., Hornberg, C., & McCall, T. (2024). Current methodologies of greenspace exposure and mental health research—A scoping review. Frontiers in Public Health, 12, 1360134. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1360134

Guo, M., Liu, G., Huo, Z., Chang, W., Zhang, D., Li, J., Dai, X., Romano, A., et al. (2026). Unpacking the heterogeneity: A global meta-analysis and multidimensional framework for urban green space and mental health. Journal of Environmental Psychology, 112, 103087. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2026.103087

Han, R., Marchant, R., & Thorn, J. (2024). Global disparities in wellbeing from green infrastructure cooling services: A systematic review. Urban Forestry & Urban Greening, 97, 128372. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128372

Jiang, H., Xie, W., Dong, W., & Dong, Q. (2026). How do physical characteristic indicators of urban green spaces affect residents' place attachment: An analysis based on a spatially explicit measure approach. Humanities and Social Sciences Communications, 13, 492. https://doi.org/10.1057/s41599-026-06850-8

Khosravipoor, Z., Patuano, A., & Nickayin, S. (2026). Designing green and blue spaces for health: A systematic literature review of current spatial design recommendations for healthy and thermally comfortable urban environments. Urban Forestry & Urban Greening, 116, 129216. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.129216

Li, J., Zlatanova, S., & Stouffs, R. (2025). Cooling effects of urban green spaces: A systematic review of methods applied in the past two decades. Sustainable Cities and Society, 133, 106833. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106833

Liu, Z., Cheng, K. Y., Amati, M., Jim, C. Y., Hua, C., Yokohari, M., Cameron, R., & Ng, E. (2025). Creating a thermally comfortable city through urban green infrastructure: An international review of greening policies. Urban Forestry & Urban Greening, 105, 128713. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128713

Martin, A. J. F., & Conway, T. M. (2025). Using the Gini Index to quantify urban green inequality: A systematic review and recommended reporting standards. Landscape and Urban Planning, 254, 105231. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105231

Pelizzari, N., Alias, C., Tiboni, M., Bertolazzi, A., et al. (2026). Does the biodiversity of urban green spaces impact on human health? A systematic review of literature. BMC Public Health. https://doi.org/10.1186/s12889-026-28039-z

Rigolon, A., Osei Owusu, R., Becerra, M., Cheng, Y. D., Christensen, J., Connolly, J. J. T., et al. (2024). Advancing green space equity via policy change: A scoping review and research agenda. Environmental Science & Policy, 157, 103765. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103765

Wang, X., Feng, B., & Wang, J. (2025). Green spaces, blue spaces and human health: An updated umbrella review of epidemiological meta-analyses. Frontiers in Public Health, 13, 1505292. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1505292

Wu, C.-C., O'Keefe, J., Ding, Y., & Sullivan, W. C. (2024). Biodiversity of urban green spaces and human health: A systematic review of recent research. Frontiers in Ecology and Evolution, 12, 1467568. https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1467568

Xu, Z., Marini, S., Mauro, M., Maietta Latessa, P., Grigoletto, A., & Toselli, S. (2025). Associations between urban green space quality and mental wellbeing: Systematic review. Land, 14(2), 381. https://doi.org/10.3390/land14020381

Yang, C., Wang, K., Shi, S., & Ma, X. (2025). Associations between green open spaces and social interaction in neighbourhoods: A systematic literature review. Urban Forestry & Urban Greening, 113, 128991. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128991

Yang, J., Akafekwa, T., Williams, G., Elliott, J., Verma, A., & Greenhalgh, C. (2026). Quality of urban green and blue spaces with a specific focus on public health outcomes: An umbrella review. Environmental Research, 306, 125141. https://doi.org/10.1016/j.envres.2026.125141

Zheng, P., Yao, R., O'Donnell, J., Mohareb, E., Kumar, P., Pain, C., Huang, X., & Li, B. (2025). A comprehensive review of thermal comfort evaluation methods and influencing factors for urban parks. Building and Environment, 267, 112159. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112159

BURDUR KENT MERKEZİNDE YAYA DAVRANIŞINI ETKİLEYEN PEYZAJ ÖGELERİNİN KULLANICI ALGILARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Neslişah ÖZDOĞAN[1]

[1]Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Burdur, Türkiye, neslisah.ozdogan.89@gmail.com, 0009-0006-7809-5494

Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ[2]

[2]Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Burdur, Türkiye, yucedagc@gmail.com, 0000-0002-5360-4241

Özet

Günümüzde hızlı kentleşme ve artan araç kullanımı, kent merkezlerinde yaya hareketliliğini ve kamusal açık alanların kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Yaya dostu kentsel çevrelerin oluşturulmasında kaldırımlar, bitkisel düzenlemeler, aydınlatma, zemin kaplamaları ve diğer peyzaj ögelerinin güvenlik, konfor ve erişilebilirlik açısından uygun biçimde düzenlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Burdur kent merkezinde peyzaj ögeleri ve mekânsal düzenlemelerin yaya davranışı üzerindeki etkilerini kullanıcı algıları doğrultusunda değerlendirmektir. Araştırmanın hedef kitlesini Burdur Merkez İlçesinde ikamet eden 18 yaş ve üzeri bireyler oluşturmuştur. Veriler, Kasım–Aralık 2025 döneminde 101 katılımcıyla gerçekleştirilen çevrim içi anket yoluyla toplanmış ve SPSS programında analiz edilmiştir. Bulgular, katılımcıların 48'inin günlük ulaşımda yürümeyi tercih ettiğini, buna karşılık yaya deneyimini özellikle yol kenarına park eden araçların, kaldırım veya yürüyüş yolu eksikliğinin, yetersiz aydınlatmanın ve kaldırım süreksizliğinin olumsuz etkilediğini göstermiştir. Katılımcıların 39'u motorlu araçların tamamen yasaklandığı yaya bölgelerini, 36'sı ise bitkilendirme ile araç trafiğinden ayrılmış yaya akslarını tercih etmiştir. Ayrıca 55 katılımcı, yaşadığı bölgede yaya alanlarının bulunmasının yürüme sıklığını artıracağını belirtmiştir. Burdur kent merkezindeki yaya hareketliliği çoğunlukla orta düzeyde değerlendirilmiştir. Sonuçlar, mevcut mekânsal düzenlemelerin yaya hareketliliğini yeterince desteklemediğini göstermektedir. Bu doğrultuda kaldırımların iyileştirilmesi, kesintisiz ve güvenli yaya akslarının oluşturulması, araç-yaya etkileşiminin azaltılması ve açık-yeşil alanlarla bütünleşen yaya güzergâhlarının geliştirilmesi önerilmektedir. Bu tür düzenlemelerin, yürüme eğilimini artırmanın yanı sıra kamusal alanların erişilebilirliğini ve kullanım kalitesini geliştireceği, kent sakinlerinin açık alanlarla etkileşimini güçlendireceği ve daha yaya öncelikli, yaşanabilir bir kent merkezinin oluşturulmasına önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yaya hareketliliği, yürünebilirlik, peyzaj ögeleri, kamusal açık alan

USER-BASED ASSESSMENT OF LANDSCAPE ELEMENTS AFFECTING PEDESTRIAN BEHAVIOUR IN BURDUR CITY CENTER

Abstract

Rapid urbanization and increasing motor vehicle use has significantly affected pedestrian mobility and the use of public open spaces in urban centers. Creating pedestrian-friendly urban environments requires sidewalks, planting arrangements, lighting, paving materials, and other landscape elements to be appropriately designed in terms of safety, comfort, and accessibility. This study aimed to evaluate how landscape elements and spatial arrangements influence pedestrian behaviour in Burdur city center based on users' perceptions. The study included individuals aged 18 years and older living in the central district of Burdur. Data were collected through an online survey of 101 participants between November and December of 2025 and analysed using SPSS. The results showed that 48 participants preferred walking for their daily transportation. However, pedestrian experience was negatively affected by several factors, particularly vehicles parked along roadsides, the lack of sidewalks or pedestrian paths, inadequate lighting, and discontinuous sidewalks. Among the participants, 39 preferred pedestrian zones completely closed to motor vehicle traffic, while 36 preferred pedestrian routes separated from vehicular traffic by planting. In addition, 55 participants stated that having pedestrian areas in their neighbourhoods would increase their walking frequency. Overall, pedestrian mobility in Burdur city center was rated as moderate by most participants. The results suggest that the current spatial arrangements do not adequately support pedestrian mobility. Therefore, improving sidewalks, establishing continuous and safe pedestrian routes, reducing pedestrian–vehicle interactions, and integrating pedestrian routes with open and green spaces are recommended. These improvements could encourage walking, enhance the accessibility and usability of public spaces, strengthen residents' interaction with open spaces, and help create a more pedestrian-friendly and liveable urban center.

Keywords: Pedestrian mobility, walkability, landscape elements, public open space

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus ve buna bağlı olarak gelişen kentleşme, kent merkezlerindeki kamusal alan ihtiyaç ve beklentilerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Kamusal açık alanlar, yalnızca geçiş mekanı olmanın ötesine geçerek bireylerin sosyalleşme, dinlenme ve kentsel çevreyle etkileşim kurma alanları haline gelmektedir (Bekci ve Sipahi, 2023). Böylece bu etkileşimin artmasını sağlayabilmek adına güvenli, konforlu ve kolay erişim sağlanabilen tasarım kararları alabilmek önem taşımaktadır.

Kent merkezlerindeki kamusal açık alanlarda yaya yollarının tasarımı ve peyzaj ögelerinin yerleşimi, kullanıcıların mekanda bulunma süresini ve yönelim tercihlerini etkilemektedir. Bitkisel düzenlemeler, oturma birimleri, zemin kaplamaları, aydınlatma elemanları, yönlendirme levhaları ve gölgelik yapılar gibi peyzaj ögeleri, estetik bir bütünlük sağlamanın yanında, kullanıcıların mekandaki davranışlarını (yön bulma, dinlenme, gölgelenme, güvenlik ve sosyalleşme gibi) yönlendiren temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Özhancı, 2018; Dong vd., 2025).

Planlama ve tasarım odaklı bir yaklaşımla konut, ticaret, rekreasyon gibi mekansal bileşenlerle kullanım çeşitliliğinin bağlantılı hale getirildiği kentlerde yayaların yürüme oranları artar ve insanların mekanla etkileşimi güçlenerek sosyal bağları kuvvetlenir. Öte yandan, şehir planlamasında yaya altyapısının ihmal edilmesi ve zayıf sirkülasyon ağı yaya hareketliliğini azaltan önemli sebeplerdendir. Ayrıca peyzaj uygulamalarında yeşil erişimin ve yaya dolaşımının dengeli planlanmaması halinde mekansal kalite düşer ve halkın açık alanlardan yeterince faydalanamaması söz konusu olur (Ak, 2018; Kaziyeva vd., 2025).

Yaya hareketliliğinin yüksek olması, kentlerdeki yayaların günlük fiziksel aktivite düzeyini artırır ve bu bağlamda obezite ve kronik hastalıklar gibi sağlık sorunlarının risk durumları azalmaktadır. Ayrıca, yürünebilir alanlar sosyal etkileşimi destekler, kamusal mekanların canlılığını artırır ve toplumsal bağları güçlendirir. Yaya odaklı ve öncelikli sokaklar ulaşımda özel araç kullanımını azaltır ve bu durum trafik yoğunluğu, hava kirliliği ve karbon emisyonlarının düşmesine katkı sağlar (UNCRD, 2018). Surat ve Yaman, (2015), yaya bölgelerinin motorlu araç trafiğine kapatılarak güvenlik, konfor ve yaşam memnuniyetini artırdığını, insanların doğayla iç içe ve sağlıklı mekanlarda bulunma ihtiyacını karşıladığını belirtmektedirler. Bunlara ek olarak yeterli olmayan kaldırım genişlikleri, yayanın kullandığı yollarda rapma eğimlerinin yüksek olması ya da hiç eğimin olmaması, yanlış kullanılan zemin kaplamaları ve yaya kullanım alanlarının bilinçsiz araç park yeri olarak kullanılması gibi etmenler yaya altyapısı eksikliğine sebep olmaktadır. Bunlar öncelikli olarak yaşlılar ve engelliler için erişilebilirlik sorunları doğurmakta, erişimi engellenen yayaların güvenliği tehlikeye girmekte ve kentsel eşitsizliğin artmasına sebep olmaktadır (Aydemir vd., 2018).

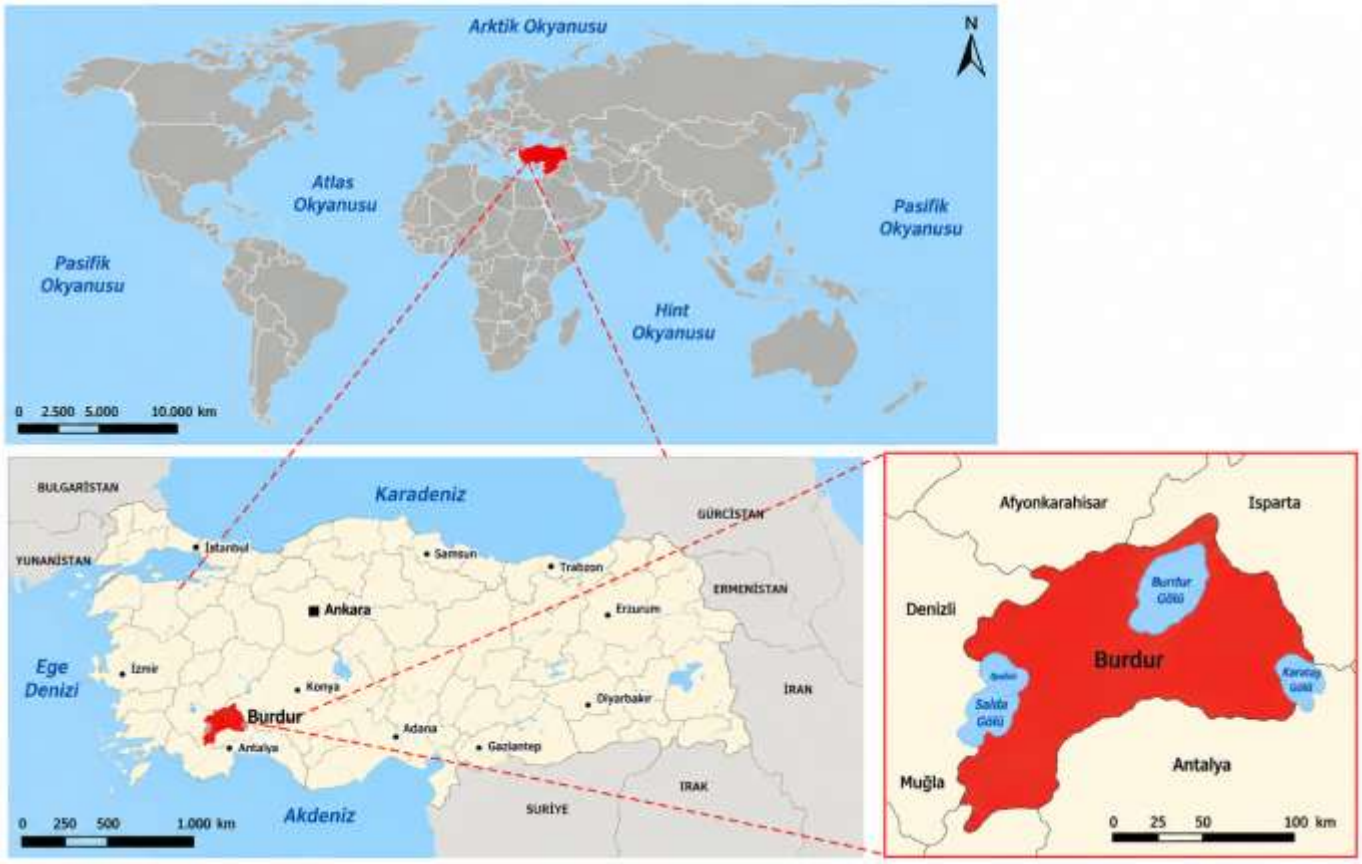
Bugüne kadar, peyzaj ögeleri ile yaya davranışları arasındaki ilişkiyi inceleyen çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Isparta Kafeler Caddesi'nde yapılan çalışmada (Yıldırım ve Küçük, 2020), oturma birimlerinin ve bitkisel

düzenlemelerin mekanın kullanım yoğunluğunu doğrudan etkilediği ortaya konulmuştur. Ordu İli Altınordu İlçesi'nde yapılan çalışmada kent dokusunun biçimsel yapısı ile yaya hareketlerinin yoğunluk ilişkisi analiz edilmiş, mekansal bütünleşme düzeyinin yaya davranışlarını yönlendiren bir faktör olduğu vurgulanmıştır. (Yeşil vd., 2024). Isparta kent merkezinde yapılan bir diğer çalışmada ise (Cobankaya vd., 2025), kaldırımların genişliği, eğim ve yüzey kalitesinin yaya hareketliliği üzerinde belirleyici olduğu belirtilmiştir. Özellikle bebek arabası kullanan kişiler için kaldırımların yüzey kalitesi yaya hareketliliğini zorlaştırarak erişilebilirlik sorununun yürünebilirliği olumsuz yönde etkilemekte olduğu belirtilmiştir (Cobankaya vd., 2025).

Bugüne kadar Burdur kent merkezinde yaya hareketliliğini inceleyen bir çalışma mevcut değildir. Bu anlamda bu çalışmanın amacı, Burdur kent merkezinde peyzaj ögelerinin yaya davranışı üzerindeki etkilerini incelemektir. Bir kentteki yaya davranışlarını anlamak, kullanıcı odaklı ve sürdürülebilir kent tasarımını geliştirmek açısından önem taşımaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma Burdur kent merkezinde yürütülmüştür (Şekil 1). Merkez İlçe nüfusu 118.234'tür (TÜİK, 2024). İlde iklim genellikle kışları soğuk ve yağışlı, yazları sıcak ve kuraktır. İç Anadolu, Akdeniz ve Ege bölgeleri arasında geçit iklimi özelliğine sahiptir. Yıllık yağışın büyük bir bölümü kış aylarında yağmur ve kar şeklinde düşmektedir. İlk donlar Kasım ayında görülür, son donlar ise Nisan ayının ikinci yarısına kadar devam eder (Burdur İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2024). Ortalama yıllık yağış toplamı 428,1 mm'dir ve yıllık sıcaklık ortalaması ise 41.6ºC'dir (MGM, 2024). Burdur Belediyesi ilk nazım imar planı 1940 yılında, ikinci detaylı bir imar planı ise 1971 yılında uygulanmaya başlanmıştır. İlave imar planı 1987 ve 2012 yıllarında tamamlanmıştır (Yücedağ vd., 2020).



Şekil 1. Burdur kentinin lokasyonu

Çalışma kapsamında veri toplama yöntemi olarak anket kullanılmıştır. Hedef kitle Burdur İli Merkez İlçesinde ikamet eden 18 yaş ve üzeri yetişkin nüfustan oluşmaktadır. Veri toplama süreci 2025 yılı kasım-aralık ayları arasında 101 kişi ile online olarak gerçekleştirilmiştir. Anket soruları katılımcıların demografik bilgilerini (yaş, cinsiyet, eğitim vb.) ve günlük ulaşımda en çok kullandıkları araç türünü belirleyen, mahallelerindeki temel fonksiyonlara (alışveriş, dinlenme) yürüme süreleri ile yaya bölgesi düzenlemelerine yönelik tercihlerini ve bunun yürüme sıklığına etkisini ve Burdur kent merkezinde yaya hareketliliğine dair genel memnuniyet düzeyini, yaya deneyimini olumsuz etkileyen unsurları ve katılımcıların deneyimlediği en konforlu/konforsuz yürüme alanlarını tespit eden soruları içermektedir. Elde edilen veriler, SPSS programı yardımıyla analiz edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmaya katılan bireylerin demografik özellikleri, Tablo 1'de sunulmuştur. Katılımcıların 63'ü kadın, 38'i erkektir. Yaş dağılımı incelendiğinde, katılımcıların yarıdan fazlasının 26–40 yaş aralığında 52 kişi olduğu görülmektedir. Eğitim düzeyi açısından değerlendirildiğinde, 41'i lisans ve 34'ü lisansüstü mezunlarının ağırlıkta olduğu belirlenmiştir. Meslek dağılımında ise özel sektör çalışanları 33 ve memurlar 29 kişi olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 1. Katılımcıların demografik özellikleri

Değişkenler	**f**	**Değişkenler**	**f**
Cinsiyet:		Yaş:	
Kadın	63	18-25	33
Erkek	38	26-40	52
		41-60	15
		60 ve üzeri	1
Eğitim Durumu:		Meslek:	
Lisans	41	Öğrenci	27
Lisansüstü	34	Memur	29
Önlisans	14	Özel Sektör	33
Lise	12	Emekli	4
		Diğer	8

Katılımcıların 48'i günlük ulaşımlarında yaya olarak hareket ettiğini belirtmiştir. Özel araç kullanımı tercih eden 32 kişi iken, toplu taşıma kullanımı tercih eden kişi sayısı 17 olarak belirlenmiştir. Bisiklet kullanımının ise sadece 4 kişidir.

Katılımcıların günlük ulaşım tercihlerine ilişkin bulgular, yaya ulaşımının Burdur kent merkezinde önemli bir ulaşım biçimi olduğunu ortaya koymaktadır. Katılımcıların önemli bir kısmının günlük ulaşımlarında yaya hareketini tercih etmesi, kent merkezinin yaya hareketliliği açısından potansiyel taşıdığını göstermektedir. Ancak özel araç kullanımının da yüksek oranda tercih edilmesi, kentte araç odaklı ulaşım anlayışının etkisini sürdürdüğüne işaret etmektedir. Bu bulgu, Aydemir vd. (2018) tarafından belirtilen, yaya altyapısının yetersiz olduğu kentlerde özel araç kullanımının kaçınılmaz hale geldiği yönündeki değerlendirmelerle örtüşmektedir.

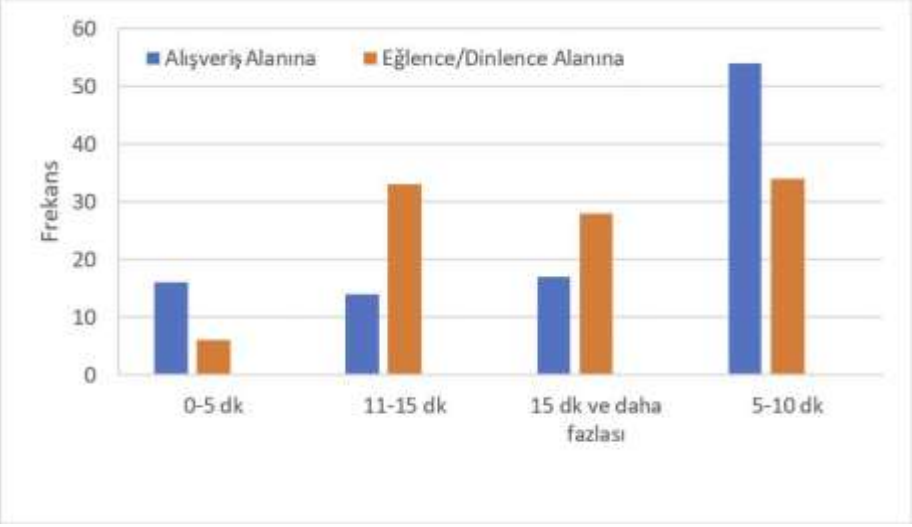
Katılımcıların ikamet ettikleri mahallelere göre dağılımı, Burdur kent merkezindeki farklı mahallelere yayıldıklarını göstermektedir. Konak ve Bahçelievler mahalleleri en yüksek katılımın olduğu mahalleler olarak öne çıkmaktadır. Bunların devamında Aydınlıkevler, Atatürk ve Fevzi Çakmak Mahalleleri gelmektedir (Tablo 2).

Konak ve Bahçelievler mahallelerinin öne çıkması, bu alanların ticari ve kamusal işlevler açısından yoğun kullanıma sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir. Benzer biçimde, Yeşil vd. (2024) kent merkezlerinde fonksiyon çeşitliliğinin yüksek olduğu bölgelerde yaya hareketliliğinin arttığını vurgulamaktadırlar.

Tablo 2. Katılımcıların ikamet ettikleri mahalleler

Mahalle	f	Mahalle	f
Armağan İlci Mahallesi	5	Kışla Mahallesi	2
Armut Mahallesi	1	Konak Mahallesi	10
Atatürk Mahallesi	8	Kuyu Mahallesi	1
Aydınlıkevler Mahallesi	8	Menderes Mahallesi	1
Bağlar Mahallesi	4	Meram Caddesi	1
Bahçelievler Mahallesi	9	Necati Bey Mahallesi	1
Bozkurt Mahallesi	2	Özgür Mahallesi	2
Burç Mahallesi	5	Pazar Mahallesi	2
Bülent Ecevit Bulvarı	1	Recep Mahallesi	2
Çeşmedamı Mahallesi	1	Sinan Mahallesi	4
Dere Mahallesi	2	Şeker Evleri Mahallesi	2
Emek Mahallesi	5	Şirinevler Mahallesi	4
Fevzi Çakmak Mahallesi	6	Üçdibek Mahallesi	1
Hızırilyas Mahallesi	1	Yeni Mahallesi	1
İnönü Mahallesi	2	Yenice Mahallesi	3
Karasenir Mahallesi	3	Zafer Mahallesi	2

Katılımcıların alışveriş alanlarına ulaşımda 5–10 dakika harcadıkları belirlenmiştir. Eğlence/dinlence alanlarına erişimde ise çoğunlukla 5–10 dakika ile 11-15 dakika harcadıkları ortaya çıkmıştır (Şekil 2). Bu durum, eğlence ve dinlenme amaçlı alanlara ulaşımda katılımcıların daha uzun yürüme süresi geçirdiklerini göstermektedir.



Şekil 2. Katılımcıların ikamet ettikleri mahallede alışveriş ve eğlence/dinlence alanlarına yaya olarak ulaşma süreleri

Katılımcıların yaya hareketliliğini olumsuz etkileyen faktörlere ilişkin değerlendirmeler incelendiğinde, yol kenarına park eden araçlar ve kaldırım/yürüyüş yolu yokluğu yaya hareketliliğini olumsuz etkileyen sorunlar

olarak öne çıkmaktadır. Bunu yetersiz aydınlatma ve kaldırım süreksizliği izlemektedir (Şekil 3). Elde edilen bulgular, yaya konforu ve güvenliğini etkileyen sorunların büyük ölçüde mekansal düzenleme eksikliklerinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Surat ve Yaman (2015) ile Aydemir vd. (2018) tarafından ortaya konulan, araç odaklı düzenlemelerin yaya güvenliği ve konforunu azalttığı yönündeki sonuçlarla paralellik göstermektedir. Bu durum, Burdur kent merkezinde yaya altyapısının bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Şekil 3. Kent merkezi genelinde katılımcıların yaya deneyimlerini olumsuz etkileyen faktörler

Katılımcıların yaya bölgesi düzenlemelerine ilişkin tercihleri incelendiğinde, en fazla tercih edilen düzenlemenin motorlu araçların tamamen yasaklandığı yaya bölgesi olduğu görülmüştür (f = 39). Bunu bitkilendirme ile araç trafiğinden ayrılmış yaya aksı (f = 36) ve geniş kaldırım (f = 24) seçenekleri izlemiştir. Buna karşılık, toplu taşıma olanaklarının artırılması (f = 1) ve trafik ışıklarının artırılması (f = 1) katılımcılar tarafından en az tercih edilen düzenlemeler olmuştur. Bu bulgular, katılımcıların yaya alanlarında özellikle motorlu araç trafiğinin sınırlandırılmasına veya yayalardan fiziksel olarak ayrılmasına yönelik düzenlemeleri daha fazla tercih ettiklerini göstermektedir. Bu bulgu, yaya güvenliği ve konforunun kullanıcılar açısından öncelikli olduğunu göstermektedir. Yıldırım ve Küçük (2020) ile Cobankaya vd. (2025) araç trafiğinden ayrılmış yaya alanlarının yürüme isteğini ve mekân kullanım yoğunluğunu artırdığını vurgulamışlardır.

Katılımcıların yaya bölgesi düzenlemesinin yürüme sıklığı üzerindeki etkisine ilişkin görüşleri incelendiğinde, 55 katılımcı yaya bölgesi oluşturulması durumunda alanı daha sık kullanacağını belirtmiştir. Buna karşılık, 41 katılımcı yürüme sıklığının değişmeyeceğini, yalnızca 5 katılımcı ise alanı daha az kullanacağını ifade etmiştir. Bu durum, yaya davranışlarının yalnızca fiziksel mekânsal düzenlemelerle değil, bireysel alışkanlıklar ve günlük yaşam pratikleriyle de ilişkili olduğunu göstermektedir. Dong vd. (2025) yaya davranışlarının çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu ve farklı değişkenlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Katılımcıların Burdur kent merkezindeki yaya hareketliliğine ilişkin genel değerlendirmeleri incelendiğinde, büyük çoğunluğun mevcut durumu orta düzeyde değerlendirdiği görülmüştür (f = 73). Yaya hareketliliğini kötü olarak değerlendirenlerin sayısı 15 iken, iyi olarak değerlendirenlerin sayısı 13'tür. Bu bulgular, Burdur kent merkezindeki yaya hareketliliğinin katılımcılar tarafından genel olarak orta düzeyde ve geliştirmeye açık olarak algılandığını göstermektedir.

Katılımcıların "Burdur kent merkezi genelinde yaya hareketinizin en konforlu (kolay) olduğu mahalle ve cadde/bulvar adını yazabilir misiniz?" sorusuna verdikleri yanıtlar incelendiğinde, yaya hareketinin en konforlu olarak algılandığı alanların Konak Mahallesi ve İstasyon Caddesi'nin olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra Atatürk Mahallesi ve Fevzi Çakmak Mahallesi gibi kent merkezinde yer alan ve yaya kullanımının yoğun olduğu bölgeler de öne çıkmaktadır (Tablo 3). Buna karşılık Karasenir Mahallesi'nin en konforsuz alan olarak öne çıkması, yaya altyapısındaki eşitsizliklerin kent genelinde yaygın olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, yaya konforunu artırmaya yönelik düzenlemelerin kent bütününde dengeli biçimde ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Tablo 3. Burdur kent merkezinde yaya hareketinin en konforlu olduğu alanlar

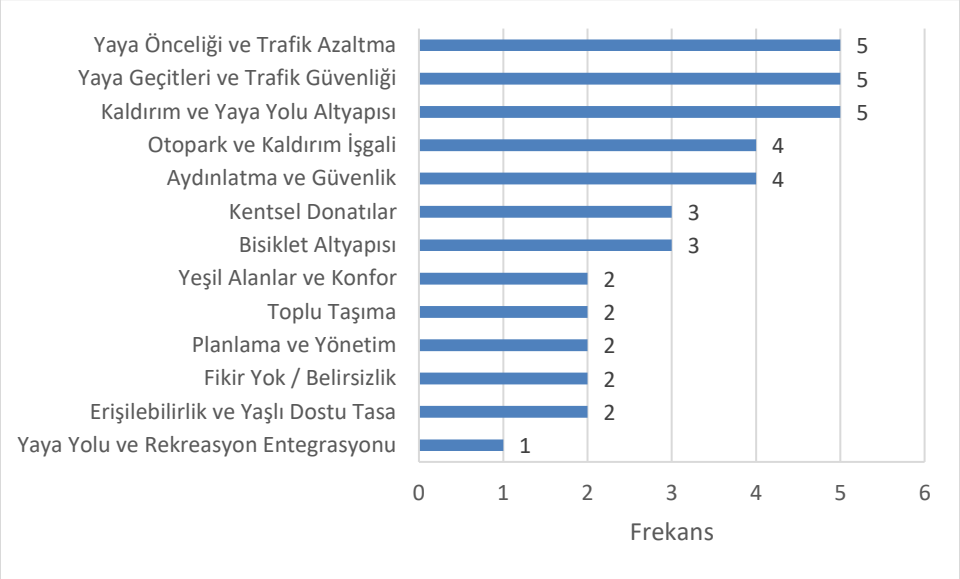
Mahalle	**f**	**Mahalle**	**f**
Akın Mahallesi	2	İnönü Mahallesi	1
Armağan İlci Mahallesi	1	İstasyon Caddesi	11
Atatürk Mahallesi	8	Kemal Solmaz Caddesi	1
Aydınlıkevler Mahallesi	4	Kışla Mahallesi	1
Bağlar Mahallesi	2	Konak Mahallesi	18
Bahçelievler Mahallesi	1	Kuyu Mahallesi	1
Burç Mahallesi	6	Namık Kemal Caddesi	1
Cemil Mahallesi	1	Pazar Mahallesi	2
Cumhuriyet Caddesi	6	Sakarya Mahallesi	2
Emek Mahallesi	7	Şeker Evleri Mahallesi	1
Eşref Ayhan Caddesi	1	Yok	2
Fevzi Çakmak Mahallesi	8	Yunus Emre Caddesi	1
Gazi Caddesi	7	Zafer Mahallesi	2

Katılımcıların "Burdur kent merkezi genelinde yaya hareketinizin en konforsuz (zor) olduğu mahalle ve cadde/bulvar adını yazabilir misiniz?" sorusuna verdikleri yanıtlar incelendiğinde, yaya hareketinin en konforsuz olarak algılandığı alanın Karasenir Mahallesi olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte çok sayıda mahalle ve cadde için düşük frekanslı yanıtların bulunması, yaya hareketine ilişkin konforsuzluk algısının kent merkezi genelinde yaygın olduğunu ve tek bir odakla sınırlı kalmadığını göstermektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Burdur kent merkezi yaya hareketinin en konforsuz (zor) olduğu alanlar

Mahalle	**f**	**Mahalle**	**f**
Adliye Caddesi	3	Kışla Mahallesi	2
Akın Mahallesi	1	Konak Mahallesi	3
Armağan İlci Mahallesi	4	Kuyu Mahallesi	1
Atatürk Mahallesi	1	Mehmet Akif Ersoy Mahallesi	1
Aydınlıkevler Mahallesi	4	Mehmet Kaya Caddesi	1
Bağlar Mahallesi	4	Mustafa Şeref Bulvarı	1
Bozkurt Mahallesi	1	Necati Bey Mahallesi	1
Burç Mahallesi	4	Özgür Mahallesi	3
Cumhuriyet Caddesi	3	Pazar Mahallesi	5
Çeşmedamı Mahallesi	4	Sakarya Mahallesi	1
Çevre Yolu Bulvarı	3	Sinan Mahallesi	5
Değirmenler Mahallesi	1	Şehit Emeksiz Caddesi	1
Dere Mahallesi	1	Şeker Evleri Mahallesi	1
Dere Yolu Caddesi	1	Şirinevler Mahallesi	1
Fevzi Çakmak Mahallesi	1	Tepe Mahallesi	4
Her yer	1	Üçdibek Mahallesi	1
Hızır İlyas Mahallesi	6	Yahya Kemal Caddesi	1
İstasyon Caddesi	1	Yenice Mahallesi	6
Karasenir Mahallesi	10	Zafer Mahallesi	2

Katılımcıların yaya hareketliliğini artırmaya yönelik önerileri incelendiğinde, yaya önceliği ve trafik azaltma, yaya geçitleri ve trafik güvenliği ile kaldırım ve yaya yolu altyapısının iyileştirilmesi en sık dile getirilen konular olarak öne çıkmaktadır (Şekil 4). Elde edilen bulgular, katılımcıların yaya hareketliliğinin geliştirilmesinde öncelikli olarak güvenlik, erişilebilirlik ve altyapı kalitesine odaklandığını göstermektedir.



Şekil 4. Kent merkezi genelinde yaya hareketliliğini iyileştirmeye yönelik katılımcıların önerileri

Katılımcıların Burdur kent merkezinde yaya hareketliliğini olumsuz etkileyen temel sorunlar olarak dar kaldırımlar, yetersiz yaya güvenliği ve araç yoğunluğunu öne çıkardıkları belirlenmiştir. Katılımcılar tarafından en sık dile getirilen öneriler arasında kaldırımların genişletilmesi, yaya öncelikli düzenlemelerin artırılması ve kentsel açık-yeşil alanlarla bütünleşik yaya akslarının oluşturulması yer almaktadır.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu araştırmada Burdur kent merkezinde yaya kullanımı ve ulaşım tercihleri, kullanıcı algıları doğrultusunda değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, yaya ulaşımının kent merkezinde önemli bir ulaşım biçimi olduğunu, ancak mevcut mekansal düzenlemelerin yaya hareketliliğini yeterince desteklemediğini ortaya koymuştur. Katılımcıların önemli bir bölümünün günlük ulaşımlarında yaya olarak hareket etmeyi tercih etmesine rağmen, yaya altyapısına ilişkin çeşitli sorunların varlığı dikkat çekmektedir.

Ayrıca katılımcıların önemli bir bölümünün özel araç kullanımını tercih etmesi, kent merkezinde araç odaklı ulaşım anlayışının halen etkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, yaya hareketliliğini destekleyecek mekansal düzenlemelerin yetersizliği ile ilişkilendirilebilir. Yaya konforunun ve güvenliğinin artırılması, bireylerin yaya ulaşımını tercih etme eğilimini güçlendirecek ve kentsel yaşam kalitesine olumlu katkı sağlayacaktır.

Araştırma sonuçları, özellikle dar kaldırım genişlikleri, yetersiz yaya güvenliği ve araç yoğunluğunun yaya hareketliliğini olumsuz etkileyen başlıca unsurlar olduğunu göstermektedir. Bu durum, kent merkezinde yaya öncelikli planlama ve tasarım yaklaşımlarının güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Yaya konforu ve güvenliğinin artırılması, bireylerin yaya ulaşımını tercih etme eğilimini destekleyerek kentsel yaşam kalitesinin yükselmesine katkı sağlayacaktır.

Kent merkezinde kaldırımların genişletilmesi, yaya sürekliliğini sağlayan aksların oluşturulması ve yaya-araç etkileşiminin güvenli şekilde düzenlenmesi önerilmektedir. Ayrıca kamusal açık ve yeşil alanlarla bütünleşik yaya güzergahlarının planlanması, yaya hareketliliğini teşvik edici önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Yaya öncelikli düzenlemelerin artırılması, yalnızca ulaşım konforunu değil, aynı zamanda kentsel mekanların erişilebilirliğini ve kullanım kalitesini de artıracaktır.

Gelecek çalışmalarda, farklı kent ölçeklerinde ve kullanıcı gruplarında benzer araştırmaların yapılması, yaya hareketliliğine ilişkin algıların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca nicel verilerin yanı sıra gözlem ve mekansal analizlerin de araştırma sürecine dahil edilmesi, yaya ulaşımına yönelik daha kapsamlı ve çok boyutlu sonuçlar elde edilmesine katkı sunacaktır.

KAYNAKLAR

Ak, A. (2018). Kentsel açık yeşil alanların yaya kullanımı açısından değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Aydemir, K. P. K., Akyüz, B., Yılmazsoy, B. K., Akdemir, Ç., & Güler, S. (2018). Kentsel ulaşımda yaya öncelikli planlama/tasarım ve transit odaklı gelişimin metropol kentlerdeki deneyimi: İstanbul örneği. Kent Akademisi | Kent Kültürü ve Yönetimi Hakemli Elektronik Dergi, 11(4), 523–535.

Bekçi, B., & Sipahi, M. (2023). Mekânsal erişebilirliğin yaya bölgeleri ölçeğinde irdelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 38(4), 2155–2165. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.812513

Burdur İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2024). Burdur ili 2024 yılı iklim durumu. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Cobankaya, H., Yücedağ, C., Suchocka, M., & Zeren Çetin, İ. (2025). Assessing walkability for parents with strollers: Challenges and recommendations for sustainable urban design. Children & Society, 39, 1092–1106. https://doi.org/10.1111/chso.12977

Dong, W., Kang, Q., Wang, G., Hou, R., & Liu, P. (2025). Exploring the influence of path environment factors on walking behavior in urban parks with configuration attribute control. PLOS One, 20(7), e0329278. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0329278

MGM. (2024). 2024 yılı yağış verileri. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Özhancı, E. (2018). Yürüyüş güzergâhlarında mekânsal-görsel niteliklerin algı ve aktivite üzerindeki etkileri: Nevşehir örneği. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 20(1), 32–42. https://doi.org/10.24011/barofd.346400

Surat, H., & Yaman, Y. K. (2015). Kent içi yolların yaya kullanımına yönelik değerlendirilmesinde kamu tercihi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 15(1), 58–72.

Stutz, P., Kaziyeva, D., Traun, C., Werner, C., & Loidl, M. (2025). Sokak Seviyesinde Yürünebilirlik: Gösterge Tabanlı Bir Değerlendirme Modeli. Sürdürülebilirlik , 17 (8), 3634. https://doi.org/10.3390/su17083634

TÜİK. (2024). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2024.

UNCRD. (2018). Sustainable urban mobility and pedestrian-oriented planning (Policy report). United Nations Centre for Regional Development.

Ulu Akşit, A., Yücedağ, C., Kaya, L. G., & Aşıkkutlu, H. S. (2020). Burdur kenti açık-yeşil alan potansiyelinin belirlenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 21(2), 284–291. https://doi.org/10.17474/artvinofd.732808

Yeşil, M., Karabörk, R. N., Özkul, V. E., & Güzel, M. (2024). Yaya hareketliliğinin mekân dizimi yaklaşımı ile incelenmesi: Düz ve Şarkiye mahalleleri örneği (Ordu ili Altınordu ilçesi). Akademik Ziraat Dergisi, 13(1), 175–190. https://doi.org/10.29278/azd.1430268

Yıldırım, A., & Küçük, V. (2020). Yayalaştırılmış Bölge Kafeler Caddesi'nin (Isparta) peyzaj mimarlığı açısından irdelenmesi. Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi, 5(1), 81–92. https://doi.org/10.30785/mbud.669463

MANTAR YÖNETİM TARZINA İLİŞKİN ÖĞRETMEN ALGILARININ İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Erdal MERİÇ

Ordu Üniversitesi, Fatsa Meslek Yüksekokulu, Çocuk Gelişimi Programı

ekinerdal@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8994-7708

Özet

Bu araştırma, kamu okullarında görev yapan öğretmenlerin mantar yönetim tarzına ilişkin algılarını belirlemek ve bu algıların çeşitli demografik değişkenler açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gösterip göstermediğini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Nicel yaklaşımın benimsendiği araştırmada genel tarama modeli kullanılmıştır. Araştırmanın çalışma grubu, Ordu ilinin Fatsa ilçesinde basit seçkisiz örnekleme yöntemiyle belirlenen kamuya bağlı ilkokul, ortaokul ve liselerde görev yapan 272 öğretmenden oluşmaktadır. Araştırmanın verileri "Mantar Yönetim Ölçeği" aracılığıyla toplanmıştır. Araştırmada demografik değişkenlerin karşılaştırılmasında parametrik testler kullanılmıştır. Araştırma sonucunda öğretmenlerin mantar yönetim tarzına ilişkin genel algıları ile güç kaybı endişesi boyutundaki algılarının düşük düzeyde; yetersiz bilgi paylaşımı, yetersiz iletişim ve katılımcı yönetim eksikliği boyutlarındaki algılarının ise orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada ayrıca, diğer fakültelerden mezun olan öğretmenlerin mantar yönetim tarzına ilişkin algılarının eğitim fakültesinden mezun olan öğretmenlere göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Liselerde görev yapan öğretmenlerin mantar yönetim tarzına ilişkin genel algıları ile yetersiz bilgi paylaşımı ve katılımcı yönetim eksikliği boyutlarındaki algılarının ilkokul ve ortaokullarda görev yapan öğretmenlere göre; güç kaybı endişesi boyutundaki algılarının ise ilkokullarda görev yapan öğretmenlere göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu görülmüştür. Toplam hizmet süresi 21 yıl ve üzeri olan öğretmenlerin mantar yönetim tarzına ilişkin genel algıları ile yetersiz bilgi paylaşımı ve katılımcı yönetim eksikliği boyutlarındaki algıları, 1-10 yıl arası hizmeti olan öğretmenlere göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Son olarak, öğretmenlerin mantar yönetim tarzına ilişkin algılarının cinsiyet, medeni durum, eğitim düzeyi ve çalışılan okuldaki hizmet süresi değişkenleri açısından anlamlı bir şekilde farklılaşmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mantar yönetim tarzı, okul yönetimi, öğretmen

AN INVESTIGATION OF TEACHERS' PERCEPTIONS REGARDING THE MUSHROOM MANAGEMENT STYLE

Abstract

This study was conducted to determine the perceptions of teachers working in public schools regarding the mushroom management style and to reveal whether these perceptions show a statistically significant difference based on various demographic variables. A general survey model was employed within the study, which adopted a quantitative approach. The study group consisted of 272 teachers working in public primary, middle, and high schools in the Fatsa district of Ordu province, selected using the simple random sampling method. The data for the study were collected using the "Mushroom Management Scale." Parametric tests were used to compare demographic variables in the study. The study found that teachers' general perceptions regarding the mushroom management style, as well as their perceptions concerning the dimension of fear of loss of power, were at a low level, whereas their perceptions regarding the dimensions of inadequate information sharing, inadequate communication, and a lack of participative management were at a moderate level. Furthermore, the study determined that teachers who graduated from other faculties held significantly higher perceptions regarding the mushroom management style compared to those who graduated from the Faculty of Education. It was observed that the general perceptions of high school teachers regarding the mushroom management style—as well as their perceptions concerning the dimensions of inadequate information sharing and a lack of participative management—were significantly higher than those of teachers in primary and middle schools. Furthermore, their perceptions regarding the dimension of fear of loss of power were significantly higher than those of teachers in primary schools. Teachers with a total length of service of 21 years or more were found to have significantly higher perceptions regarding the mushroom management style, along with the dimensions of inadequate information sharing and a lack of participative management, compared to teachers with 1–10 years of service. Finally, it was determined that teachers' perceptions regarding the mushroom management style did not differ significantly in terms of gender, marital status, education level, and length of service at the school.

Keywords: Mushroom management style, school administration, teacher

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA DOĞA İLE TANIŞTIRMANIN ÖRGÜTLENME BİÇİMLERİ VE ULUSLARARASI İYİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Tarana AKBARİ

Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Şamahı Şubesi ,

Sosyal ve Özel Disiplinler Bölümü

Biyoloji alanında Felsefe Doktoru, Baş Öğretim Görevlisi

E-posta: akbarietmp@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9293-4561

Özet

Bu çalışmanın amacı, okul öncesi eğitim kurumlarında (anaokulları ve kreşlerde) çocukların doğa ile tanıştırılması sürecinin örgütlenme biçimlerini, kuramsal temellerini ve uluslararası düzeydeki başarılı uygulama modellerini incelemektir. Okul öncesi dönemde doğa eğitimi; gözlem, gezi-ekskürsiyon, doğa köşeleri ve laboratuvar çalışmaları, ekolojik bahçecilik ve açık alanda doğa temelli oyunlar gibi çeşitli organizasyonel yapılar aracılığıyla yürütülmektedir. Çalışmanın kuramsal çerçevesi F. Fröbel, M. Montessori, L. Vygotsky, D. Sobel, S. Knight ve R. Louv gibi araştırmacıların doğa pedagojisi ve yere dayalı öğrenme (place-based education) yaklaşımlarına dayanmaktadır. Araştırma, nitel araştırma deseninde kurgulanmış olup betimsel analiz ve karşılaştırmalı eğitim incelemesi yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gelişmiş ülkelerin (Finlandiya, Almanya ve Singapur) okul öncesi eğitim sistemlerinde doğa ile tanışmanın örgütlenme biçimleri örnek olaylar üzerinden analiz edilmiştir. Bulgular, doğa ile tanıştırmanın geleneksel sınıf içi etkinliklerden sıyrılarak açık havada deneyimsel öğrenmeye dönüştürüldüğünde çocukların ekolojik okuryazarlık, öz-düzenleme, duyusal algı ve sosyal etkileşim becerilerinin önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Almanya'daki duvarları olmayan "Orman Anaokulları" (Waldkindergarten), Finlandiya'nın müfredat odaklı "Açık Hava Pedagojisi" (Metsäeskarit) ve Singapur'un kentsel biyofilik tasarımla entegre edilmiş doğa öğrenme alanları bu durumun en somut göstergeleridir. Sonuç olarak, okul öncesi eğitimde doğa ile tanışmanın esnek, disiplinlerarası ve açık hava odaklı örgütlenme biçimleriyle kurgulanması gerektiği vurgulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Okul öncesi eğitim, doğa ile tanışma, örgütlenme biçimleri, orman anaokulları, karşılaştırmalı eğitim.

ORGANIZATIONAL FORMS OF NATURE ACQUAINTANCE IN PRESCHOOL EDUCATION INSTITUTIONS AND INTERNATIONAL BEST PRACTICE EXAMPLES

Tarana AKBARI

Azerbaijan State Pedagogical University (ASPU), Shamakhi Branch

PhD in Biology, Senior Lecturer

Email: akbarietmp@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9293-4561

Abstract

The purpose of this study is to examine the organizational forms, theoretical foundations, and international best practice models of introducing children to nature in early childhood education institutions. Nature education in preschool is conducted through various organizational structures such as direct observation, nature walks and excursions, nature corners/laboratories, ecological gardening, and outdoor nature-based play. The theoretical framework of this research is grounded in the nature pedagogy and place-based education theories of scholars such as F. Fröbel, M. Montessori, L. Vygotsky, D. Sobel, S. Knight, and R. Louv. Designed as a qualitative study, this research utilizes descriptive analysis and comparative education methodologies. The organizational forms of nature acquaintance in the preschool education systems of developed nations (Finland, Germany, and Singapore) were analyzed through case studies. The findings indicate that when nature acquaintance transitions from traditional indoor activities to outdoor experiential learning, children's ecological literacy, self-regulation, sensory perception, and social interaction skills improve significantly. Germany's wall-less "Forest Kindergartens" (Waldkindergarten), Finland's curriculum-integrated "Outdoor Pedagogy" (Metsäeskarit), and Singapore's nature learning environments integrated with urban biophilic design serve as prominent examples. In conclusion, it is emphasized that nature acquaintance in early childhood education should be structured around flexible, interdisciplinary, and outdoor-oriented organizational forms.

Keywords: Preschool education, nature acquaintance, organizational forms, forest schools, comparative education.

1. GİRİŞ

Okul öncesi eğitim kurumlarında yürütülen "Çevre ile Tanışma" etkinliklerinin en dinamik ve pedagojik açıdan zengin boyutunu doğa ile tanışma çalışmaları oluşturmaktadır. Doğanın karmaşık, değişken ve canlı yapısı, çocukların erken yaşta merak duygusunu tetikleyen ve zihinsel süreçlerini harekete geçiren doğal bir öğrenme ortamı sunar. Ancak doğa ile tanışmanın eğitimsel başarısı, bu sürecin hangi organizasyonel biçimlerle ve yöntemlerle kurgulandığına doğrudan bağlıdır.

Geleneksel okul öncesi eğitim anlayışında doğa ile tanışma genellikle sınıf içerisinde resimler, görseller ve doldurulmuş hayvan maketleri üzerinden teorik olarak yürütülmekteydi. Günümüz müasir okul öncesi pedagojisinde ise doğa ile tanışma; sınıf içi doğa köşelerinden başlayıp okul bahçelerine, ekolojik hobi bahçelerine, doğa gezilerine ve doğrudan duvarsız "orman anaokulları" modeline kadar uzanan geniş bir örgütlenme yelpazesine kavuşmuştur.

1.1. Kuramsal Çerçeve

Doğa ile tanıştırmanın örgütlenme biçimleri Batı pedagoji literatüründe derin kuramsal temellere dayanmaktadır:

- **Friedrich Fröbel (Kindergarten Bahçe Kuramı):** Fröbel (1826), ilk anaokulu modelini kurgularken okul bahçesini iki ana örgütlenme alanına ayırmıştır: Çocukların ortak çalıştığı genel bahçe ve her çocuğun bireysel sorumluluk aldığı küçük parsel bahçeler.
- **Maria Montessori (Hazırlanmış Doğa Ortamı):** Montessori (1912), doğa etkinliklerinin özel kurgulanmış "hazırlanmış çevre" (*prepared environment*) içinde düzenlenmesini; çocuğun gerçek bahçe aletleriyle toprağı işlemesini ve bitki/hayvan bakımını bağımsızca üstlenmesini savunur.
- **David Sobel (Yere Dayalı Eğitim - Place-Based Education):** Sobel (2004), çocukların soyut küresel çevre sorunları yerine kendi yakın çevrelerindeki (yerel) doğa ile bağ kurmalarını vurgular. Eğitim organizasyonunun merkezine yakın çevre gezilerini yerleştirir.
- **Sara Knight ve Richard Louv (Açık Hava ve Orman Okulu Pedagojisi):** Knight (2013) ve Louv (2005), doğada düzenli bulunmanın "doğa yoksunluğu sendromunu" önlediğini; açık hava öğrenme biçimlerinin (*Forest School*) çocuklarda özgüven ve risk yönetimi becerilerini geliştirdiğini gösterir.

2. YÖNTEM

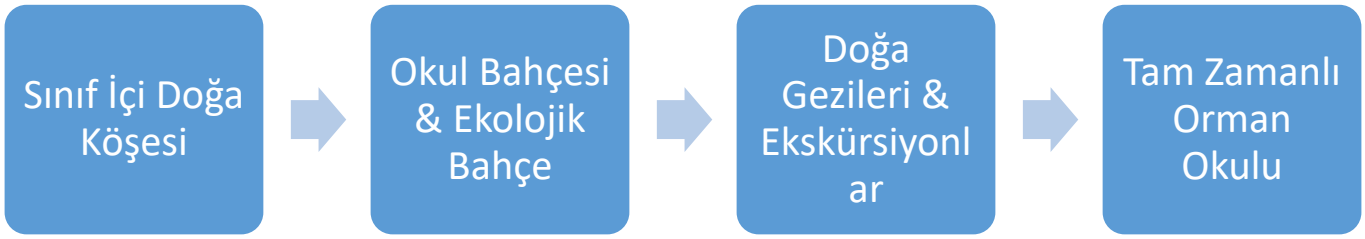
Bu çalışma, okul öncesi eğitim kurumlarında doğa ile tanışmanın örgütlenme biçimlerini ve uluslararası uygulamaları inceleyen nitel bir araştırmadır. Çalışmada doküman analizi, literatür taraması ve karşılaştırmalı eğitim (*comparative education*) yöntemleri kullanılmıştır. Çatıda Almanya, Finlandiya ve Singapur'un okul öncesi eğitim müfredatları, resmi eğitim belgeleri ve uluslararası indeksli makaleler incelenerek organizasyonel modeller sınıflandırılmıştır.

3. BULGULAR

Araştırma verileri doğrultusunda okul öncesi eğitim kurumlarında doğa ile tanışmanın temel örgütlenme biçimleri 4 ana grupta toplanmıştır:

1. **Sınıf İçi ve Kurum İçi Örgütlenme Biçimleri:** Doğa köşeleri, canlı gözlem akvaryum/terraryumları, bitki çimlendirme stantları.
2. **Kurum Bahçesi ve Açık Alan Örgütlenmeleri:** Ekolojik bahçeler, dikey bahçeler, duyusal oyun parkurları, kümes ve evcil hayvan bakım alanları.
3. **Sınıf Dışı Gezi ve Ekskürsiyon Örgütlenmeleri:** Doğa yürüyüşleri, çiftlik ve botanik bahçesi ziyaretleri, mevsimsel doğa gözlem gezileri.
4. **Tam Zamanlı Açık Hava ve Orman Okulu Örgütlenmeleri:** Binasız veya kısmi binalı doğa anaokulları (*Forest Kindergartens*).

Şekil 1. Okul öncesi eğitimde doğa ile tanışmanın örgütlenme kademeleri



Tablo 1. Doğa ile tanışmanın örgütlenme biçimleri ve pedagojik hedefleri

Örgütlenme Biçimi	**Temel Özellikleri**	**Geliştirdiği Temel Beceriler**
Doğa Köşeleri	Sınıf içinde canlı/cansız materyallerin sergilenmesi	Sürekli gözlem, sorumluluk alma (çiçek sulama)
Ekolojik Bahçecilik	Okul bahçesinde sebze/meyve yetiştirme	Sabır, motor beceriler, ürün elde etme bilinci
Doğa Gezileri	Park, orman ve çiftliklere yapılan süreli ziyaretler	Araştırmacılık, oryantasyon, haritalandırma
Orman Anaokulları	Her türlü hava koşulunda açık alanda tam gün eğitim	Dayanıklılık, risk analizi, üst düzey motor koordinasyon

3.1. Uluslararası İyi Uygulama Örnekleri

1. Almanya: Waldkindergarten (Orman Anaokulları)

Almanya'da 2000'den fazla resmi "Waldkindergarten" bulunmaktadır. Bu anaokullarının geleneksel bir binası yoktur; eğitim tamamen ormanlık alanlarda gerçekleşir. Çocuklar tırmanma, doğal materyallerle (sopa, taş, çamur) barınak yapma ve hava durumunu gözlemleme gibi etkinlikleri doğrudan orman ortamında yürütürler. Bu örgütlenme biçimi, çocukların bağışıklık sistemini güçlendirirken yaratıcı düşünmeyi en üst seviyeye çıkarır.

2. Finlandiya: Metsäeskarit (Müfredatla Entegre Açık Hava Pedagojisi)

Finlandiya Ulusal Okul Öncesi Müfredatı (*Finnish National Core Curriculum for ECE*), doğayı eğitimin merkezine koyar. "Metsäeskarit" (Masa/Sınıf yerine Orman Okulu) modelinde haftanın belirli günleri tamamen ormanda geçirilir. Fin anaokullarında doğa eğitimi matematik, dil gelişimi ve sanatla entegre edilir (örneğin; kozalaklarla sayma, yaprak renkleriyle sanat çalışmaları yapma).

3. Singapur: Kentsel Biyofilik Tasarım ve NEL Müfredatı

Sınırlı doğal alana sahip olan Singapur, *Nurturing Early Learners (NEL)* çerçevesinde biyofilik (*biophilic design*) anaokulu modelleri geliştirmiştir. Anaokulu binalarının çatıları ekolojik bahçelere dönüştürülmüş, dikey tarım stantları ve yağmur suyu toplama sistemleri çocukların günlük gözlem alanına dönüştürülmüştür. Bu durum, kentsel alanlarda bile doğa ile tanışmanın yenilikçi yollarla örgütlenebileceğini göstermektedir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Doğa ile tanışma etkinliklerinin örgütlenme biçimleri, çocukların çevreye yönelik tutumlarını ve kognitiv gelişimlerini doğrudan şekillendirmektedir. Karşılaştırılan uluslararası örnekler (Almanya, Finlandiya, Singapur), doğa ile tanışmanın yalnızca sınıfta kapalı kapılar ardında yürütülemeyeceğini, açık hava ve canlı etkileşim odaklı Modellerin çocuk gelişiminde açık fark yarattığını kanıtlamaktadır.

Öneriler:

1. Okul öncesi eğitim kurumlarında geleneksel sınıf düzeninden kademeli olarak okul bahçesi ve doğa ortamı odaklı örgütlenmelere geçilmelidir.
2. Anaokullarında minimal düzeyde de olsa ekolojik hobi bahçeleri ve doğa gözlem istasyonları kurulmalıdır.
3. Orman okulu pedagojisi ve açık hava öğrenme modelleri ulusal okul öncesi eğitim standartlarına adapte edilmelidir.

5. KAYNAKLAR

- Finnish National Agency for Education. (2018). *National Core Curriculum for Early Childhood Education and Care*. EDUFI.
- Fröbel, F. (1826). *Die Menschenerziehung* (The Education of Man). Keilhau.
- Knight, S. (2013). *Forest School and Outdoor Learning in the Early Years*. SAGE Publications.
- Louv, R. (2005). *Last Child in the Woods: Saving Our Children from Nature-Deficit Disorder*. Algonquin Books.
- Montessori, M. (1912). *The Montessori Method*. Frederick A. Stokes Company.
- Sobel, D. (2004). *Place-Based Education: Connecting Classrooms & Communities*. Orion Society.

OKUL ÇAĞI ÇOCUKLARINDA MİKROBESİN (VİTAMİN VE MİNERAL) DENGESİNİN İMMÜNO-AKTİF STABİLİZASYON VE BİLİŞSEL PERFORMANSA FİZYOLOJİK ETKİLERİ İLE HİJYENİK İLKELERİ

Tarana AKBARİ

Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi (ADPU), Şamahı Şubesi

Biyoloji alanında Felsefe Doktoru, Baş Öğretim Görevlisi

E-posta: akbarietmp@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9293-4561

Özet

Bu araştırma makalesi, ilkokul çağındaki çocuklarda (6–10 yaş) vitamin ve mineral düzeylerinin hücresel bağışıklık, nöroimmünolojik stabilizasyon, bilişsel performans ve antioksidan savunma mekanizmaları üzerindeki fizyolojik etkilerini ve koruyucu hijyen esaslarını incelemektedir. Okul ortamı, kapalı alan mikroorganizmaları, patojen maruziyeti ve akademik stres faktörleri nedeniyle çocuk bağışıklık sisteminin aşırı uyarıldığı bir ekosistemdir. D, C, A, B-grubu vitaminleri ile Çinko (Zn), Demir (Fe) ve Selenyum (Se) mikro besin maddelerinin hücresel immünomodülasyon, T-hücresi farklılaşması, lenfosit çoğalması ve nörotransmitter sentezindeki biyokimyasal mekanizmaları detaylandırılmıştır. Araştırma bulguları, subklinik mikronütriyent eksikliklerinin hücresel düzeyde oksidatif strese, iltihap yapıcı sitokin (IL-6, TNF-\alpha) artışına ve sonuç olarak zihinsel yorgunluk ile enfeksiyonlara duyarlılığa yol açtığını kanıtlamaktadır. Çalışmanın nihai bölümünde, okul ortamında bağışıklık dengesini ve zihinsel canlılığı sürdürmeye yönelik kanıta dayalı beslenme ve hijyenik uygulama protokolleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Öğrencilerde vitamin dengesi, immüno-aktif stabilizasyon, nöroimmünoloji, mikronütriyentler, oksidatif stres, bilişsel performans, hijyenik ilkeler.

PHYSIOLOGICAL EFFECTS AND HYGIENIC PRINCIPLES OF MICRONUTRIENT STATUS ON IMMUNO-ACTIVE STABILIZATION AND COGNITIVE PERFORMANCE IN SCHOOL-AGE CHILDREN

Tarana AKBARI

Azerbaijan State Pedagogical University (ASPU), Shamakhi Branch

PhD in Biology, Senior Lecturer

Email: akbarietmp@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9293-4561

Abstract

This research article investigates the physiological effects of vitamin and mineral status on cellular immunity, neuroimmunological stabilization, cognitive performance, and antioxidant defense mechanisms, along with protective hygienic principles, in primary school children (ages 6–10). The school environment represents an ecosystem where the child's immune system faces heightened strain due to enclosed indoor microzoonoses, pathogen exposure, and academic stress. The cellular biochemical pathways of D, C, A, B-complex vitamins, as well as Zinc (Zn), Iron (Fe), and Selenium (Se) in immunomodulation, T-cell differentiation, lymphocyte proliferation, and neurotransmitter synthesis are thoroughly elucidated. Empirical evidence shows that subclinical micronutrient deficiencies trigger cellular oxidative stress, elevate pro-inflammatory cytokines (IL-6, TNF-\alpha), and lead to cognitive fatigue and increased infection susceptibility. Evidence-based nutritional and hygienic protocols are formulated to support immune stabilization and cognitive capacity in school settings.

Keywords: Micronutrient status in schoolchildren, immuno-active stabilization, neuroimmunology, antioxidant defense, cognitive capacity, hygienic principles.

1. GİRİŞ VE KURAMSAL ÇERÇEVE

İlkokul çağı (6–10 yaş), hücresel ve humoral bağışıklık sisteminin yapısal ve işlevsel olgunlaşmasını tamamlamaya çalıştığı kritik bir fizyolojik dönemdir (Janeway et al., 2017). Çocuklar okula başladıklarında ev ortamının steril mikroflorasına kıyasla geniş, kapalı ve kalabalık ortamlarda patojen yüküyle (bakteriyel, viral ve fungal ajanlar) karşılaşırlar. Bu biyolojik temas, bağışıklık sisteminin adaptif bileşenlerini (T ve B lenfositleri) sürekli bir reaktivite durumunda tutar.

Gelişmekte olan çocuk organizmasında bağışıklık yanıtının güçlendirilmesi ve bilişsel işlevlerin desteklenmesi, besinlerle alınan mikro besin maddelerine (vitaminler, mineraller ve iz elementler) bağımlıdır. Vitamin ve mineraller, doğrudan enerji üretimi (ATP) yapmazlar; ancak hücresel solunum, DNA tamiri, antikor sentezi ve nörotransmitter metabolizmasının katalizörü olan binlerce enzimin **kofaktörü** ve **koenzimi** olarak görev yaparlar (Calder et al., 2020).

Eğitim sürecinde ortaya çıkan zihinsel stres ve sedanter yaşam (hareketsizlik), böbrek üstü bezlerinden glukokortikoid (kortizol) salgısını artırarak bağışıklık hücrelerinde apoptozu (hücre ölümünü) hızlandırabilir ve iltihap yapıcı sitokin salınımını tetikleyebilir. Bu nedenle, öğrencilerde vitamin ve mineral gereksiniminin fizyolojik temellerini bilmek, bağışıklık dengesini sağlamak ve okullarda koruyucu hijyenik beslenme protokollerini hayata geçirmek büyük önem taşımaktadır.

2. VİTAMİNLERİN İMMÜNOMETABOLİK VE NÖRO-FİZYOLOJİK MEKANİZMALARI

2.1. Yağda Çözünen Vitaminlerin (D, A, E) Hücresel Rolleri

D Vitamini (Kalsiferol) ve İmmünomodülasyon

D vitamini, klasik kalsiyum-fosfor metabolizması işlevinin ötesinde, güçlü bir **steroid hormon** gibi davranır (Holick, 2007). Bağışıklık hücrelerinin çoğunda (makrofajlar, dendritik hücreler, T ve B lenfositler) D vitamini reseptörü (VDR) bulunur.

- **Katelisidin ve Defensin Sentezi:** 1,25(OH)_2D_3formu, epitel hücrelerinde ve makrofajlarda doğal antimikrobiyal peptitler olan katelisidin (LL-37) sentezini uyararak solunum yolu enfeksiyonlarına karşı bariyer oluşturur.
- **T-Regülatör (T_{reg}) Hücre Aktivasyonu:** D vitamini, iltihap yapıcı Th1 ve Th17 yanıtını baskılayarak otoimmün reaksiyonları önler ve doku hasarını engelleyen T_{reg} hücrelerini artırır (Calder et al., 2020).

A Vitamini (Retinol) ve Mukoza Bağışıklığı

- **Epitelyal Bütünlük:** Solunum ve sindirim sisteminin epitel dokularının yenilenmesini ve mukus salgılayan goblet hücrelerinin sağlığını korur.

- **Salgısal IgA (sIgA) Üretimi:** Mukoza yüzeylerinde patojenlerin tutunmasını engelleyen salgısal immünoglobülin A (sIgA) sentezini doğrudan uyarır.

2.2. Suda Çözünen Vitaminlerin (C ve B-Grubu) Nöro-İmmün Etkileri

C Vitamini (Askorbik Asit) ve Antioksidan Koruma

C vitamini, nötrofillerde ve lenfositlerde yüksek konsantrasyonda birikir.

- **Fagositoz ve Kemotaksis:** Lökositlerin patojenlere doğru hareketini (kemotaksis) ve onları yutma kapasitesini (fagositoz) artırır.
- **Serbest Radikal Süpürme:** Solunum patlaması (respiratory burst) sırasında üretilen reaktif oksijen türlerini nötralize ederek bağışıklık hücrelerinin kendi DNA ve membran yapısını oksidatif stresten korur (Maggini et al., 2018).

B-Grubu Vitaminleri ve Serebral Biyoenerjetik

B-kompleks vitaminleri , nörotransmitter sentezinde ve miyelin kılıfın korunmasında kritik rol oynar:

- **B6 (Piridoksin):** Glutamattan GABA sentezinde, triptofandan serotonin sentezinde ve triptofan-kinurenin yolunda koenzimdir. Eksikliğinde çocuklarda huzursuzluk ve konsantrasyon bozuklukları görülür.
- **B9 (Folat) ve B12 (Kobalamin):** Tek-karbon metabolizması ve DNA sentezi için şarttır. Nöronlarda miyelin sentezini sürdürür; eksikliği bilişsel yavaşlama ve megaloblastik anemiye yol açar (Kennedy, 2016).

3. İZ ELEMENTLERİN (MİNERALLERİN) İMMÜNOMETABOLİK VE ZİHİNSEL FONKSİYONLARI

3.1. Çinko (Zn) ve Lenfosit Çoğalması

Çinko, 300'den fazla enzimin yapısına katılan ve "çinko parmak" (zinc finger) motifleriyle DNA ekspresyonunu düzenleyen temel mineraldir (Prasad, 2008).

- **Timus Fonksiyonu:** Timus bezinden salgılanan timulin hormonunun aktivitesi çinkoya bağımlıdır. Çinko eksikliğinde timik atrofi gelişir, CD4^+/CD8^+ T-hücre oranı bozulur.
- **Sinaptik Plastisite:** Beyinde hipokampus ve korteksteki glutamaterjik sinapslarda presinaptik veziküllerde depolanır ve öğrenme süreçlerini (LTP - Uzun Süreli Potansiyelleşme) düzenler.

3.2. Demir (Fe) ve Beyin Oksijenasyonu

Demir, hemoglobin ve miyoglobinin merkezinde yer alarak dokulara oksijen taşınmasını sağlar.

- **Nöronal Enerji ve Miyelin Sentezi:** Beyin, yüksek oksijen gereksinimi nedeniyle demir eksikliğine aşırı duyarlıdır. Demir, sitokrom C oksidaz enzimi ve oligodendrositlerde miyelin sentezi için elzemdir.
- **Bilişsel Etki:** Subklinik demir eksikliği anemisi olan çocuklarda dikkat süresinde kısalma, IQ skorlarında düşüş ve öğrenme güçlükleri saptanmıştır (Kennedy, 2016).

4. OKUL STRESİ, OKSİDATİF STRES VE NÖROİMMÜNOLOJİK ETKİLEŞİM

Eğitim ortamındaki kronik psiko-sosyal stres (sınav kaygısı, başarısızlık korkusu) ve yetersiz fiziksel aktivite, Hipotalamus-Pitoiter-Adrenal (HPA) aksını aktive eder.

1. **Kortizol Yükselmesi:** Kronik yüksek kortizol seviyeleri, NF-\kappa Btranskripsiyon faktörünü uyararak IL-6 ve TNF-\alpha gibi iltihap yapıcı sitokinlerin salınımını artırır.
2. **Oksidatif Stres:** Yüksek sitokin seviyeleri mitokondriyal elektron taşıma zincirinde sızıntılara yol açarak Serbest Oksijen Radikalleri (ROS) üretimini artırır.
3. **Bilişsel Sonuçlar:** Nöro-iltihaplanma, hipokampal nörogenezisi baskılayarak çocuklarda bellek depolama kapasitesini düşürür ve zihinsel bulanıklık (brain fog) yaratır (Calder et al., 2020).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 1/Öğrencilerde mikro besin eksikliklerinin immüno-fizyolojik, biyokimyasal ve bilişsel parametreleri

Mikro Besin Maddesi	İmmüno-Fizyolojik Etki Mekanizması	Biyokimyasal/Sistemik Gösterge	Bilişsel ve Davranışsal Yansıma	Koruyucu Hijyenik Müdahale
D Vitamini	Katelisidin/Defensin azalması, T{reg} baskılanması.	Kanda 25(OH)D < 20 \, ng/mL, iltihap yapıcı sitokin artışı.	Solunum yolu enfeksiyonlarına bağlı devamsızlık, halsizlik.	Günlük açık hava teneffüsü, güneş ışığı teması, gerekirse D3 takviyesi.
C Vitamini	Fagositoz ve nötrofil kemotaksisinde gerileme.	Plazma askorbat düşüklüğü, yüksek oksidatif stres (ROS).	Çabuk yorulma, enfeksiyonlara dirençsizlik, doku iyileşmesinde gecikme.	Beslenmede taze narenciye, kuşburnu, kivi ve sebze artışı.
B-Kompleks (B6, B9, B{12})	Tek-karbon metabolizması bozukluğu, nörotransmitter yetersizliği.	Yüksek homosistein seviyesi, hafif anemi tablosu.	Odaklanma güçlüğü, hafıza zayıflığı, huzursuzluk.	Tam tahıllar, yumurta sarısı, yeşil yapraklı sebzeler.
Çinko (Zn)	Timik atrofi, sIgA azalması, T-hücresi çoğalma kaybı.	Serum çinko < 70 \, \mu g/dL, lenfosit apoptotik indeks artışı.	Tat ve koku duyusunda azalma, iştahsızlık, ders ilgisinde düşüş.	Kabuklu kuruyemişler, kırmızı et, baklagil tüketimi.
Demir (Fe)	Miyelinleşme bozukluğu, hipoksik doku stresi.	Düşük ferritin ve hemoglobin seviyesi (Hb < 11.5 \, g/dL).	Dikkat süresinde kısalma, bilişsel yavaşlama, apati.	C vitamini ile kombine demir zengini gıdaların tüketimi.

6. ÖĞRENCİLERDE VİTAMİN DENGESİ VE BAĞIŞIKLIK STABİLİZASYONUNUN HİJYENİK İLKELERİ

6.1. Beslenme Programının Hijyenik Optimizasyonu

1. **Çeşitlilik ve Renk Yelpazesi:** Çocukların günlük beslenme programına "gökkuşağı tabağı" prensibi uygulanmalıdır. Yeşil (folat, K vitamini), turuncu/sarı (beta-karoten, C vitamini), kırmızı (likopen, C vitamini) ve mor (antosiyaninler) sebze ve meyveler hücresel antioksidan kapasiteyi artırır.
2. **Biyoyararlanımın Artırılması:** Demir zengini gıdalar (kırmızı et, yumurta) C vitamini içeren taze sebzelerle birlikte sunulmalıdır. Fitat içeren baklagiller ve tahıllar önceden suda bekletilerek çinko ve demir emilimi artırılmalıdır.
3. **Endüstriyel Ürünlerin Kısıtlanması:** İşlenmiş, trans yağlı ve rafine şekerli gıdalar bağırsak mikroflora dengesini bozarak mukoza bağışıklığını zayıflatır. Bu gıdaların okul kantinlerinde satışı sınırlandırılmalıdır.

6.2. Çevre ve Yaşam Koşullarının Hijyeni

1. **İklimlendirme ve Güneş Işığı:** Sınıfların düzenli havalandırılması patojen yoğunluğunu azaltır. Günlük en az 30-45 dakikalık açık hava teneffüsü, ciltte D vitamini sentezini tetikler.
2. **Uyku Hijyeni:** Büyüme hormonu salgılanması, bağışıklık sisteminin "hafıza T-hücreleri" oluşturması ve beynin glimfatik temizliği için 6-10 yaş grubunda 9-11 saat kesintisiz karanlık ortam uykusu şarttır.

7. SONUÇ

Okul çağındaki çocuklarda vitamin ve mineral dengesi, sadece fiziksel büyümenin değil, aynı zamanda nöroimmünolojik stabilizasyonun ve yüksek bilişsel performansın temel garantisidir. Mikronütriyentlerin biyokimyasal seviyedeki düzenleyici rollerini dikkate alan bütüncül bir eğitim ve beslenme yaklaşımı, çocukların hastalıklara karşı direncini artıracak, okul devamsızlığını azaltacak ve akademik başarıyı sürdürülebilir kılacaktır.

KAYNAKÇA / REFERENCES

Calder, P. C., Carr, A. C., Gombart, A. F., & Eggersdorfer, M. (2020). Optimal nutritional status for a well-functioning immune system is an important factor to protect against viral infections. *Nutrients*, 12(4), 1181.

Holick, M. F. (2007). Vitamin D deficiency. *New England Journal of Medicine*, 357(3), 266–281.

Janeway, C. A., Travers, P., Walport, M., & Shlomchik, M. J. (2017). *Immunobiology: The Immune System in Health and Disease* (9th ed.). Garland Science.

Kennedy, D. O. (2016). B vitamins and the brain: Mechanisms, dose and efficacy—A review. *Nutrients*, 8(2), 68.

Maggini, S., Pierre, A., & Calder, P. C. (2018). Immune function and micronutrient requirements change over the life course. *Nutrients*, 10(10), 1531.

Prasad, A. S. (2008). Zinc in human health: Effect of zinc on immune cells. *Molecular Medicine*, 14(5), 353–357.

MİLLÎ MÜCADELE'DE KADINA ÇAĞRI: MEMLEKET GAZETESİNDEKİ BİR MEKTUP İLE MEFKÛRE KARTLARI'NIN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Döndü ÇAVDAR[1]

[1] Selçuk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Tarih Bölümü, Yakınçağ Tarihi, ddusunmez@selcuk.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-9408-9437

Özet

Bu bildiri, Memleket gazetesinin 7 Nisan 1919 tarihli 57. sayısında yayımlanan bir mektup ile Mehmet Selahattin Düzgünoğlu'na (1889-1943) atfedilen Mefkûre Kartları'nı karşılaştırmalı biçimde ele almaktadır. Gazetenin sahibi İsmail Hami Danişmend'in göndereni teşekkürlerle taltif ettiği, Türk kadınlarını ve kızlarını Millî Mücadele'ye çağıran bu imzasız mektup ile söz konusu kartpostallar üzerinden, kadınların vatan ve kolektif sorumluluk arasında kurulan duygusal bağları incelenmektedir. Çalışma, seçilen yazılı ve görsel kaynaklardaki verilerin, 1911'de Trablusgarp Savaşı'yla başlayan süreçte ve I. Dünya Savaşı'nda alınan yenilginin yol açtığı tükenmişlik, karanlık bir geleceğin getirdiği hüzün ve korku duygularını, güven ve kararlılık odaklı anlatım araçlarıyla dayanışma ve eylem çağrısına nasıl dönüştürdüğünü sorgulamaktadır.Bu çerçevede mektuptaki millî vicdan, şefkat, halkın dili ve Jandark göndermeleri; kartpostallardaki kadın figürü, harita, kitap, bayrak, mezar ve aslan imgeleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler, kadınların yalnızca korunması gereken vatanın simgesi olarak değil, aynı zamanda millî duyguları yorumlayan ve toplumsal sorumluluk üstlenmeye çağrılan özneler olarak da temsil edildiğini göstermektedir. Bununla birlikte bu öznelik, şefkat ve fedakârlıkla ilişkilendirilen cinsiyetlenmiş beklentiler içinde kurulmaktadır. Kaynaklar arasında doğrudan bir etkilenme ya da belgelenmiş bir alıntılama ilişkisi bulunduğunu ileri sürmek güçtür. Ancak mektup ile kartpostallar, yas, tehdit, sorumluluk ve umut arasında ortak bir duygusal anlam alanı oluşturmakta; bu alan kadınların millî aidiyet içindeki konumunu hem genişletmekte hem de belirli rollerle sınırlandırmaktadır.

Anahtar kelimeler: Millî Mücadele, Mefkure Kartları, kadın temsili, Memleket gazetesi, duygular tarihi.

A CALL TO WOMEN DURING THE NATIONAL STRUGGLE: A COMPARATIVE STUDY OF A LETTER IN MEMLEKET AND THE MEFKÛRE (IDEAL) POSTCARDS

Abstract

This paper offers a comparative analysis of a letter published in the 57th issue of the Memleket newspaper, dated 7 April 1919, and the Mefkûre Postcards attributed to Mehmet Selahattin Düzgünoğlu (1889–1943). Through this anonymous letter—for which the newspaper's owner, İsmail Hami Danişmend, honoured the sender with words of gratitude, and which summoned Turkish women and girls to the National Struggle—together with the aforementioned postcards, the study examines the emotional bonds established between women, the homeland, and collective responsibility. It investigates how the data in the selected written and visual sources transformed the exhaustion caused by the defeat in the First World War, along with the sorrow and fear brought on by a bleak future -a process that began with the Tripolitanian War of 1911- into a call for solidarity and action through expressive means grounded in confidence and determination. Within this framework, the notions of national conscience, compassion, the language of the people, and the references to Joan of Arc in the letter are compared with the imagery of the female figure, the map, the book, the flag, the grave, and the lion in the postcards. The findings demonstrate that women are represented not merely as symbols of a homeland to be protected, but also as subjects who interpret national sentiments and are summoned to assume social responsibility. This subjecthood, however, is constructed within gendered expectations associated with compassion and self-sacrifice. While it is difficult to claim a direct influence or a documented relationship of citation between the sources, the letter and the postcards nonetheless generate a shared emotional field of meaning among mourning, threat, responsibility, and hope a field that both broadens women's position within national belonging and confines it to particular roles.

Keywords: National Struggle, Memleket newspaper, Mefkûre Postcards, representation of women, history of emotions

ÜTOPYAYI KURAN KADININ ÖZGÜRLÜĞÜ: HALİDE EDİB'İN *YENİ TURAN*'INDA FEMİNİST İMKÂNLAR VE SINIRLAR

Doç Dr., Özgür İldeş

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Polatlı Fen Edebiyat Fakültesi, Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü, Türk Dili ve Edebiyatı/Yeni Türk Edebiyatı, ildesozgur@gmail.com,

ORCID: 0000-0002 5326-2122.

Özet

Bu bildiri, Halide Edib'in *Yeni Turan* romanını II. Meşrutiyet döneminin kadın meselesine ilişkin tartışmaları çerçevesinde feminist ütopya bağlamında incelemektedir. Çalışmanın amacı, romanda kadınlara açılan eğitim, çalışma ve siyasal katılım imkânlarıyla bu imkânları sınırlandıran toplumsal beklentileri ve iktidar ilişkilerini birlikte değerlendirmektir. Bu doğrultuda kadınların kamusal faaliyetleri, Kaya'nın kararları ve Asım'ın anlatıcı konumu, tarihsel bağlamı gözeten yakın okumayla ele alınmaktadır. Romanın Osmanlıca baskısından aktarılan alıntılar, Halide Edib'in hatıraları ve ilgili araştırmalarla birlikte değerlendirilmektedir. İnceleme, kadınların öğretmenlik, hastabakıcılık, üretim ve dayanışma faaliyetleriyle ideal toplumun kuruluşunda doğrudan sorumluluk aldıklarını göstermektedir. Kadın emeğinin meydana getirdiği toplumsal güven, Yeni Turan düşüncesinin siyasal meşruiyetine de katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte kadınların eğiticiliğinin kabul görmesi, erkeklerle eşit eğitim imkânına sahip olmalarının aynı ölçüde benimsenmesini sağlamamaktadır. Toplumsal annelik, kadınların kamusal konumunu meşrulaştırırken onların değerini fedakârlık ve toplumsal faydayla ilişkilendiren beklentiler de üretmektedir. "*Quaker*" etkisi ise sadelik, cemiyet sevgisi ve eğitim anlayışı bakımından yerel ihtiyaçlara göre dönüştürülen bir tecrübe olarak belirginleşmektedir. Kaya'nın evlilik kararı, bilginin saklanması ve kamusal yetkinin kişisel amaçlarla kullanılması, irade göstermekle özgür şartlarda seçim yapmak arasındaki farkı ortaya koymaktadır. Asım'ın itirafı, kadın kahramanın uğradığı haksızlıkları açıklarken hayatının anlamlandırılmasındaki erkek aracılığını da görünür kılmaktadır. Sonuç olarak romanın feminist ütopya yönünün, kadınların toplumu dönüştürme kudretiyle kendi hayatlarını belirlemelerinin önündeki engelleri birlikte anlatmasında bulunduğu ileri sürülmektedir. Böylece *Yeni Turan*, kadınların kamusal failliği ile bireysel özgürlüğü arasındaki mesafeyi edebî bir mesele hâline getirmektedir.

Anahtar kelimeler: Halide Edib, *Yeni Turan*, feminist ütopya, kadın failliği, toplumsal annelik, II. Meşrutiyet.

THE FREEDOM OF THE WOMAN WHO BUILDS UTOPIA: FEMINIST POSSIBILITIES AND LIMITS IN HALIDE EDIB'S *YENİ TURAN*

Abstract

This paper examines Halide Edib's *Yeni Turan* as a feminist utopia within debates on the woman question during the Second Constitutional Era. It considers women's opportunities for education, work, and political participation alongside the social expectations and power relations that constrain them. Women's public activities, Kaya's decisions, and Asım's narrative position are examined through historically contextualised close reading. Quotations from the Ottoman Turkish edition are considered alongside Halide Edib's memoirs and relevant scholarship. The analysis demonstrates that women assume direct responsibility for constructing the ideal society through teaching, nursing, production, and solidarity. The social trust generated by women's labour also contributes to the political legitimacy of the Yeni Turan movement. However, recognition of women as educators does not ensure equivalent acceptance of their right to equal education. Social motherhood legitimises women's public roles while generating expectations that associate their worth with sacrifice and social utility. Quaker influence emerges as an experience adapted to local needs through simplicity, social commitment, and educational practice. Kaya's marriage decision, the concealment of information, and the use of public authority for personal purposes reveal the distinction between exercising agency and choosing freely. Asım's confession exposes the injustices inflicted on the heroine while revealing male mediation in the interpretation of her life. The paper concludes that the novel's feminist utopian dimension lies in its joint depiction of women's capacity to transform society and the obstacles to their self-determination. *Yeni Turan* thus makes the distance between women's public agency and individual freedom a subject of literary inquiry.

Keywords: Halide Edib, *Yeni Turan*, feminist utopia, female agency, social motherhood, Second Constitutional Era.

1. GİRİŞ

Ütopya, mevcut hayatın yetersizlikleri karşısında daha iyi bir toplum düzeninin mümkün olabileceği düşüncesinden doğar. İnsanın içinde yaşadığı dünyaya dair memnuniyetsizliği, bu dünyanın hangi esaslar üzerinde yeniden kurulabileceği sorusunu da beraberinde getirir. Bu anlamda ütopya, geleceğe yönelmiş bir tasavvur olmakla birlikte, kendisini ortaya çıkaran zamanın meseleleriyle yakından ilişkilidir. Çünkü gelecekte olması arzu edilen düzenin niteliklerini, büyük ölçüde, mevcut düzende eksikliği hissedilen değerler ve karşılık bulamayan talepler belirler. Dolayısıyla bir edebî eserin ütopik yönünü anlamlandırabilmek için, onun tasavvur ettiği gelecekle kaleme alındığı dönemin toplumsal ve siyasal şartlarını birlikte değerlendirmek gerekir.

Osmanlı Devleti'nin varlığını sürdürme çabalarının farklı fikir ve siyaset arayışlarına zemin hazırladığı II. Meşrutiyet dönemi, bu ilişkiyi takip edebilmek bakımından dikkat çekicidir. Devletin hangi idarî esaslarla ayakta tutulabileceği meselesinin yanında, toplumu meydana getiren fertlerin nasıl yetiştirileceği ve toplumsal hayata hangi imkânlarla katılacağı da dönemin başlıca tartışma konuları arasındadır. Kadının eğitimi, aile içindeki konumu ve çalışma hayatına katılması meseleleri, bu bağlamda, modernleşmenin yönünü belirleyen tartışmalarla iç içe gelişir. Nitekim kadının toplumsal statüsünün yükseltilmesi, hem kendisine tanınan imkânların genişletilmesi hem de yetiştireceği nesiller aracılığıyla toplumun dönüştürülmesi bakımından önem kazanır. Böylece kadın meselesi, ferdî haklarla toplumsal sorumlulukların birlikte düşünüldüğü bir gelecek arayışının merkezine yerleşir.

Halide Edib [Adıvar]'in *Yeni Turan* romanı, dönemin bu arayışlarını kadınların kamusal hayata katıldığı bir toplum tasavvuru içinde ele alır. Romanda kadınlar, eğitim gören, çalışan, yardımlaşma faaliyetlerini örgütleyen ve siyasal düşüncenin halka ulaşmasında rol üstlenen kişiler olarak dikkat çekerler. Öğretmenlikten hastabakıcılığa, üretimden toplumsal dayanışmaya uzanan faaliyetleriyle Yeni Turan kadınları, kurulması arzu edilen düzenin hayata geçirilmesinde doğrudan sorumluluk alırlar. Bu doğrultuda kadının konumundaki değişme, romanın ideal toplum tasarımının kurucu unsurlarından biri hâline gelir. Halide Edib'in, hatıralarında eserini değerlendirirken kadınların oy hakkına sahip olacağı bir devri tahayyül ettiğini belirtmesi de bu tasarımın kadınların gelecekteki hak ve konumlarına yönelik boyutunu açıklar (Adıvar, 2007, s. 195).

Bununla birlikte, Yeni Turan kadınlarının hangi nitelikleriyle idealize edildiğine dikkat etmek gerekir. Romanda kadınların eğitimi ve toplumsal hayattaki etkinliği; çalışkanlık, ahlâk, annelik ve memlekete hizmet düşüncesiyle birlikte anlam kazanır. Bu durum, kadının bireyselleşmesiyle kendisinden beklenen toplumsal fayda arasındaki ilişkinin ayrıca değerlendirilmesini gerektirir. Kadının kamusal alana çıkması ona kendi hayatı üzerinde ne ölçüde söz hakkı kazandırmaktadır? Toplumun geleceğini kurma sorumluluğu, onun ferdî arzu ve tercihleriyle nasıl bir ilişki içindedir? Bu sorular, romanın feminist ütopya bakımından sunduğu imkânların hangi sınırlar içinde şekillendiğini anlamak açısından önemlidir.

Bu bildiri kapsamında *Yeni Turan*, kadınların eğitimi, çalışma hayatına katılması ve siyasal failliği üzerinden feminist ütopya bağlamında değerlendirilecektir. Burada feminist ütopya kavramı, kadınların mevcut toplumsal konumlarını aşmalarını mümkün kılan alternatif hayat tasavvurunu incelemek üzere kullanılmaktadır. Çalışmada, kadınların toplumsal faaliyetleriyle Kaya'nın şahsında belirginleşen düşünce ve eylem imkânları, romanın olay örgüsü ve anlatıcının bakışı birlikte gözetilerek ele alınacaktır. Bu doğrultuda temel hareket noktası, kadının kamusal hayattaki etkinliğinin Yeni Turan idealinin gerçekleşmesi için gerekli görüldüğü; ancak bu etkinliğin annelik, ahlâk ve millî sorumluluklarla birlikte tanımlandığı düşüncesidir. Böylece romandaki kadın tasavvurunun özgürleştirici yönleri ile bu özgürleşmeye yüklenen toplumsal şartların aynı inceleme çerçevesinde dikkatlere sunulması amaçlanmaktadır.

Yeni Turan'da kadınların toplumsal konumu, önceki araştırmalarda farklı yönleriyle değerlendirilmiştir. Uyguner (1968), Halide Edib'in kadın-erkek eşitliği temasını *Yeni Turan*'daki Kaya üzerinden değerlendirerek onun hareket içindeki ağırlığına dikkat çeker. Enginün (1995), kadınların toplumsal dönüşümdeki kurucu rolünü eğitim, kültür ve ferdî saadet meseleleriyle birlikte ele almaktadır. Çalışlar (2010), biyografik incelemesinde romanın kadın hakları bakımından taşıdığı tarihsel yeniliği ve Kaya'nın siyasal etkisini öne çıkarır. Şahin (2013), kadınların eğitimiyle toplumsal değişme arasındaki ilişkiye; Argunşah (2015), Kaya'nın siyasal düşüncenin kuruluşundaki yerine; Orlovskaia (2024) ise kadınların toplumsal hayatın etkin kurucularına dönüşmesine dikkat çekmektedir. Bu bildiri, söz konusu değerlendirmelerden hareketle kadınların kamusal failliği ile bireysel özgürlüğü arasındaki ilişkiye odaklanmaktadır. Çalışmada, kurucu gücün tanınmasının kendi hayatını belirleme imkânını ne ölçüde sağladığı; toplumsal annelik, fedakârlık, bilginin denetlenmesi ve anlatıcının bakışı üzerinden incelenmektedir.

2. II. MEŞRUTİYET'TE KADIN MESELESİ VE FEMİNİST ÜTOPYANIN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

II. Meşrutiyet döneminde kadının toplumsal konumuna dair tartışmalar, Osmanlı Devleti'nin hangi esaslar üzerinde yeniden düzenlenebileceği meselesiyle yakından ilişkilidir. Devletin ve toplumun içinde bulunduğu durumdan kurtulabilmesi için ileri sürülen fikirler, aile hayatının ve bu hayatın merkezinde bulunan kadının konumunun da yeniden değerlendirilmesini beraberinde getirir. Kadının eğitimi, çalışma hayatına katılması ve toplumsal meselelerde söz sahibi olması yönündeki talepler, bu bağlamda, modernleşmenin başlıca tartışma alanlarından birini oluşturur. Çünkü toplumun değişmesi, onu meydana getiren fertlerin yetişme şartlarının değişmesini de gerektirir. Bu doğrultuda kadına tanınacak hak ve imkânlar, hem onun kendi hayatındaki konumunu hem de yetiştireceği nesiller aracılığıyla toplumun geleceğini ilgilendiren bir mesele olarak ele alınır.

Niyazi Berkes, dönemin aile ve kadın meselesi etrafındaki tartışmalarını değerlendirirken basında öne çıkan şu iki hükmü dikkatlere sunar: "*Toplumsal reformlara radikal bir yönde girişmek için, herşeyden önce aile*

hayatını yeni bir eksen etrafında yeniden kurmak zorundayız.", "*Toplum hayatında kadınla erkek eşitliğinin sağlanması gerekir; bunun için en önemli araç ikisine eşit eğitim verilmesi olacaktır*" (Berkes, 2003, s. 444-445).

Berkes'in aktardığı bu hükümler, aile hayatının yeniden düzenlenmesiyle kadın ve erkek arasındaki eşitlik meselesinin birlikte düşünüldüğünü göstermektedir. Birinci hükümde toplumsal reformun hareket noktası aile olarak belirlenirken, ikincisinde bu dönüşümün gerçekleşmesini sağlayacak başlıca vasıta eğitimdir. Dolayısıyla kadının eğitimi, aile içindeki görevlerini daha iyi yerine getirmesinin yanında, erkekle eşit imkânlara sahip olabilmesinin de şartı olarak görülmektedir. Ne var ki bir talebin düşünce ve tartışma alanında dile getirilmesiyle toplumsal hayatta karşılık bulması aynı şey değildir. Berkes'in döneme dair değerlendirmesinde üzerinde durduğu üzere, aile hayatının değişmesi yönündeki fikirlerin tartışılabilir hâle gelmesi, bu değişimin bütün boyutlarıyla gerçekleştiği anlamına gelmez. Bu ayrım, Yeni Turan'da kadınlara tanınan konumun hangi yönlerden geleceğe yönelik bir tasavvur olduğunu anlamlandırmak bakımından önemlidir.

Kadın meselesinin birbiriyle ilişkili farklı alanları kapsadığını, Ziya Gökalp'in kadınlığın özgürlüğü sorununa dair tasnifinde de görmek mümkündür. Berkes'in aktardığı şekliyle Gökalp, meseleyi şu üç cephede değerlendirir: "*a) Kadınların toplumsal hayata, özellikle ekonomik hayata ve serbest mesleklere katılması sorunu, b) Erkek ve kadına sağlanan eğitim fırsatlarında eşitliğin sağlanması sorunu, c) Evlenme, boşanma ve miras hukukunda kadınlara eşitlik sağlayacak adalet reformları sorunu*." (Gökalp'ten aktaran Berkes, 2003, s. 448). Bu tasnif, kadının toplumsal konumunun eğitim, iktisadî hayat ve hukuk arasındaki ilişkiler içinde ele alındığını gösterir. Kadının eğitim görmesi, çalışma hayatına katılmasını mümkün kılacak; ancak aile içindeki haklarının nasıl düzenlendiği de onun elde ettiği imkânları hangi şartlarda kullanabileceğini belirleyecektir. Dolayısıyla kadınların toplumsal hayatta görünür olması kadar, kendi hayatları üzerinde karar verebilme imkânına sahip olmaları da önem taşır. Yeni Turan'ın kadın tasavvurunu incelerken bu alanları birbirinden ayırarak değerlendirmek gerekir. Romanda kadınların öğretmenlik, hastabakıcılık ve teşkilatlanma faaliyetlerinin bulunması, bütün hukukî ve toplumsal eşitsizliklerin ortadan kalktığını kendiliğinden göstermez. Bununla birlikte bu faaliyetler, kadına mevcut hayatın sınırlarını aşan hangi imkânların tanındığını takip edebilmek için somut bir inceleme zemini sunar.

II. Meşrutiyet yıllarında kadınların eğitim ve çalışma hayatındaki konumlarını değerlendiren Bernard Lewis de eğitim imkânlarının genişlemesiyle kamusal hayata katılma arasındaki ilişkiyi şu cümlelerle ifade eder:

> "*Toplumun en üst katlarına mensup kadınlar zaten daima iyi bir özel eğitim imkânına sahip olmuşlardı; Tanzimat reformcuları bunlara birkaç kız okulu, kadın öğretmen okulları ve sanat okulları eklemişti. Genç Türk rejimleri önce orta dereceli okulların, sonra da üniversitenin kapılarını kız öğrencilere açtılar ve böylece onların mesleklere ve kamu hayatına girmesine yolu hazırladılar*." (Lewis, 1998, s. 219-228).

Lewis'in tespitinde, eğitimin kadının toplumsal statüsünü değiştiren yönü özellikle belirgindir. Kadının bilgi edinmesiyle bir meslek sahibi olması ve kamu hayatına katılması arasında birbirini tamamlayan bir ilişki kurulmaktadır. Bununla birlikte, bu gelişmelerin bütün kadınları aynı zamanda ve aynı ölçüde kapsadığını düşünmemek gerekir. Nitekim Erik Jan Zürcher, dönemin kadınların hayatında meydana getirdiği değişimi anlatırken toplumsal konum farkını ve savaşın etkisini özellikle belirtir: "*Kadınların, en azından kentlerdeki orta ve üst sınıftan kadınların durumu, kısmen İTC'nin politikaları ve kısmen de Dünya Savaşı'nın etkilerinden dolayı değişmişti.*" (Zürcher, 1996, s. 178). Zürcher'in aynı değerlendirmesinde kızların eğitimi bakımından dikkat çektiği gelişmeler arasında, ilköğretimin 1913'te kızlar için zorunlu hâle getirilmesi ve 1914'ten itibaren İstanbul Darülfünunu'nda kadınlar için kurslar açılması da bulunmaktadır (Zürcher, 1996, s. 178). Burada kronolojik bir ayrıma dikkat etmek gerekir. *Yeni Turan*'ın 1912'de yayımlanmaya başladığı göz önünde bulundurulduğunda, sonraki yıllarda gerçekleşen bu gelişmeler romanın ortaya çıkışını doğrudan açıklayan sebepler olarak kullanılamaz. Bunlar, romanın kaleme alındığı dönemde tartışılan kadın eğitimi ve toplumsal katılım meselelerinin sonraki seyri hakkında bilgi verir. Böylece romanın gelecek tasavvuruyla dönemin toplumsal değişimi arasında ilişki kurulabilir; ancak sonradan gerçekleşen her gelişmeyi romanın önceden haber verdiği bir sonuç olarak değerlendirmekten kaçınmak gerekir.

Kadının toplumsal konumunu değiştirmeye yönelik taleplerin kurmaca bir toplum düzeni içinde nasıl karşılık bulduğu meselesi, incelemeyi ütopya kavramına taşır. Ütopyanın bu bildiri bakımından önem taşıyan yönü, mevcut hayatta eksikliği hissedilen imkânların alternatif bir düzen içinde tasarlanabilmesidir. Fátima Vieira, ütopya düşüncesinin Thomas More'dan önceye uzanan kaynaklarını açıklarken kavramın temelindeki arzuyu şu cümleyle ifade eder: "*Dolayısıyla ütopya sözcüğünün mucidi kendisi olsa da özünde daha iyi bir yaşam arzusunu barındıran ütopyacılığı More icat etmemişti kuşkusuz*." (Vieira, 2018, s. 7). Vieira'nın "daha iyi bir yaşam arzusu" ifadesi, ütopyanın mevcut hayatla kurduğu eleştirel ilişkiyi anlamak bakımından değerlidir. Bununla birlikte, kadın meselesi açısından düşünüldüğünde, tasarlanan hayatın kimler için ve hangi bakımlardan daha iyi olduğu sorusunu da sormak gerekir. Çünkü bir toplumun idarî veya iktisadî bakımdan ideal olarak tasarlanması, o toplumda kadınların kendi hayatları üzerinde söz sahibi olduklarını göstermeye yetmez. Kadınların eğitime erişimi, emeklerinin toplumsal karşılığı, karar alma süreçlerine katılmaları ve aile içindeki konumları ayrıca incelenmelidir. Bu doğrultuda feminist ütopya kavramı, bu bildiride, kadınların mevcut toplumsal sınırları aşmalarını mümkün kılan hayat tasavvurunu ve bu tasavvurun kendi içindeki sınırlılıklarını değerlendirmek üzere kullanılmaktadır.

Yeni Turan'ın bu kavramsal çerçeve içinde ele alınmasını destekleyen başlıca dayanaklardan biri, Halide Edib'in kendi eserine dair değerlendirmesidir. Yazar, hatıralarında romanın kadınlara yönelik gelecek tasavvurunu şu cümlelerle açıklar:

"*Yeni Turan hiç şüphesiz bir ütopya idi ve ütopyalar gibi tahakkuk ettirilmesi mümkün olmayan gayeleri vardı. Bu eser, kadınların rey sahibi olacağı, hayat ve insan münasebetleri makul ve muntazam olabileceği bir devri tahayyül ediyordu. Bilhassa Türk kadını, kafa ve kalbindeki itidal ve cemiyete karşı muhabbetle dolu olduğu bir zamanın hasretini çekiyordu. Bilhassa, Osmanlı devrinin Bizanslaşan intihap devrinde, süs, israf, gösterişe kaçan kadın sınıfını şiddetle tenkit ediyordu*." (Adıvar, 2007, s. 195).

Halide Edib'in bu değerlendirmesinde kadınların oy hakkı, insan ilişkilerinin düzenlenmesi ve kadının ahlâkî nitelikleri aynı gelecek tasavvuru içinde yer almaktadır. Dolayısıyla yazarın kadınlara dair ideali, siyasal haklarla toplumsal sorumluluğu birlikte kapsar. Kadının "*rey sahibi*" olması onun siyasal iradesinin tanınmasını ifade ederken, "*itidal*" ve "*cemiyete karşı muhabbet*" bu iradenin hangi değerlerle birlikte düşünüldüğünü gösterir. Burada ayrıca, yazarın hatıralarındaki açıklamasının esere sonradan yönelttiği bir bakış olduğu belirtilmelidir. Bu açıklama romanın yorumuna katkı sunmakla birlikte, kadınların romanda hangi haklara fiilen sahip olduğunu belirlemek için olay örgüsüne ve kişilerin eylemlerine başvurmak gerekir. Nitekim romanda Sabih'in, kadınların toplumsal konumunu değiştirmek üzere çalışan kadını Asım'a tanıtırken kullandığı ifadeler, bu idealin kendi içindeki ilişkileri somutlaştırır: "*Bak, dedi, işte şu birinci locaya gelen kadın Yeni Turan kadınlarında ahlâkî, ictimâî bir inkılâb yapan, kadınları bir at, bir makine halinden çıkarıp erkeklere temiz, çalışkan bir arkadaş, çocuklara ve bütün memlekete bir ana, bir mürebbi yapmak için çalışan kadındır*." (Halide Edib, 1329, s. 28). Bu cümlelerde kadının "*bir at, bir makine*" olarak görülmesine yöneltilen itiraz, onun araçsallaştırılmış konumunun aşılması talebini içerir. Kadının erkekle arkadaşlık ilişkisi içinde düşünülmesi de ortak bir hayat ve çalışma anlayışını öne çıkarır. Ne var ki aynı cümlenin devamında kadına verilen annelik ve mürebbilik görevinin bütün memlekete doğru genişletildiği görülür. Dolayısıyla kadın, kendisini edilgenleştiren bir konumdan çıkarılırken toplumun yetiştirilmesi ve ahlâkî bakımdan dönüştürülmesi sorumluluğunu da üstlenmektedir. Bu durum, *Yeni Turan*'daki özgürleşme düşüncesinin toplumsal faydayla ne derece iç içe geçtiğini göstermesi bakımından önemlidir.

Asım'ın Yeni Turan kadınlarını değerlendirirken kullandığı şu ifade de aynı dönüşüme işaret eder: "*Bir süsten, kıymetdâr bir biblodan birdenbire müfîd, çalışkan bir uzv-ı cemiyet, bir ana, bir arkadaş, bir her şey olan bu kadınları itiraf ederim ki takdir ediyordum. Fakat hiç de güzel bulmuyordum.*" (Halide Edib, 1329, s. 10-11). Asım'ın bu sözlerinde iki ayrı değerlendirme ölçüsü bir arada bulunmaktadır. Kadınların çalışkanlığını ve topluma katkısını takdir etmesi, onların faaliyetlerinin siyasal rakipleri tarafından da teslim edildiğini gösterir. Buna karşılık onları güzel bulmadığını belirtmesi, kadına yönelik estetik beklentisinin devam ettiğini açığa çıkarır. Burada anlatıcının kişisel yargısıyla romanın kadınlara açtığı toplumsal imkânı birbirine karıştırmamak gerekir. Nitekim kadınların "*biblo*" olmaktan çıkıp "*uzv-ı cemiyet*" hâline gelmeleri, anlatıcının beğenisinden

bağımsız bir toplumsal değişimi ifade etmektedir. Bu yönüyle roman, kadınların faaliyetlerini tasvir ederken onları değerlendiren erkek bakışını da incelemeye elverişli hâle getirir.

Tezer Taşkıran'ın 18 Ocak 1964 tarihli *Son Havadis* yazısında Yeni Turan kadınlarına dair yaptığı değerlendirme de bu kamusal dönüşümü öne çıkarır: "*Bu eserde kadınlar evlerinin duvarlarını aşmışlar, çalışkan bir cemiyet uzvu olmuşlar, en evvel İstanbul'da değil, Erzurum'da okullar açmışlar, erkeklerle el ele vererek yeni bir vatan kurmaya çalışmışlardır*." (Taşkıran'dan aktaran Yücebaş, 1964, s. 132-133). Taşkıran'ın "*evlerinin duvarlarını aşmışlar*" ifadesi, kadınların hareket alanındaki genişlemeyi; "*yeni bir vatan kurmaya çalışmışlardır*" ifadesi ise bu genişlemenin yöneldiği toplumsal amacı göstermektedir. Böylece kadınların kamusal hayata katılmasıyla ülkenin geleceğinin kurulması birbirini tamamlayan faaliyetler olarak anlam kazanır. Ancak kadınların kendi hayatlarına dair tercihleriyle bu kurucu sorumluluğun nasıl bağdaştığı sorusu, romanın feminist ütopya yönünü değerlendirirken üzerinde durulması gereken bir mesele olarak kalır.

Romanın kadınlara açtığı imkânların dönem içindeki anlamını İpek Çalışlar da vurgular: *"Yeni Turan kadın meselesine yaklaşım açısından da çok radikaldi"* (Çalışlar, 2010, s. 101). Çalışlar'ın aynı değerlendirmede kullandığı *"Kadını erkeğin yanında çalıştıran zihniyetin iktidara geleceğini o günlerde hayal etmek bile iddialıydı"* cümlesi, bu nitelemenin tarihsel dayanağını açıklar (2010, s. 101). Kadınların birlikte çalışma ve toplumsal hayata katılma imkânlarının siyasal düzenin bir ilkesi olarak tasarlanması, romanın özgürleştirici yönünü belirginleştirmektedir. Bununla birlikte bu tarihsel yenilikle kadınların kendi hayatları üzerindeki karar hakkının kapsamı ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Böylece eserin dönemine göre ileri talepleri teslim edilirken, bu taleplerin kadın kahramanın hayatında karşılaştığı sınırlar da incelenebilir.

Bütün bu dikkatlerden hareketle, *Yeni Turan*'ın feminist ütopya bakımından incelenmesinde birbirini tamamlayan iki hususun öne çıktığı söylenebilir. Bunlardan ilki, kadınların eğitim, çalışma ve siyasal faaliyetler yoluyla toplumsal hayatın etkin birer unsuru hâline gelmeleridir. İkincisi ise bu etkinliğin annelik, ahlâk ve memlekete hizmet düşüncesiyle birlikte tanımlanmasıdır. Dolayısıyla romanın kadınlara sunduğu imkânlar değerlendirilirken, bu imkânların hangi görev ve beklentilerle birlikte kurulduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. İzleyen bölümlerde Yeni Turan kadınlarının kamusal faaliyetleri ve Kaya'nın kararları bu çerçevede ele alınarak, kadınların toplumun geleceğini kurma iradesiyle kendi hayatlarını belirleme imkânları arasındaki ilişki incelenecektir.

3. KADINLARIN KAMUSAL HAYATA KATILMASI, ÇALIŞMA VE DAYANIŞMA

Yeni Turan'da kadınların kamusal hayata katılması, tasavvur edilen toplum düzeninin hangi faaliyetlerle kurulacağını göstermesi bakımından önemlidir. Roman, kadınlara gelecekte tanınması arzu edilen bir konumu, onların gündelik hayatın içinde gerçekleştirdikleri işler aracılığıyla görünür kılar. Öğretmenlik yapan, hastalara bakan, üretime katılan ve ihtiyaç sahiplerine ulaşan kadınlar, Yeni Turan düşüncesinin toplumla ilişki kurmasını

sağlarlar. Bu doğrultuda kadınların faaliyetleri, bir siyasal programın halk tarafından benimsenmesinde doğrudan rol oynar. Dolayısıyla romandaki kadın emeğini, bireysel çalışkanlığın yanında, toplumsal güvenin ve siyasal meşruiyetin oluşmasına katkısı bakımından da değerlendirmek gerekir.

Yeni Turan kadınlarının bu kurucu rolünün, hareketin siyasal rakibi olan Asım tarafından anlatılması ayrıca dikkat çekicidir. Asım, onların faaliyetlerini tasvir ederken mensubu olduğu Yeni Osmanlılar Fırkası'nın bakışını bütünüyle terk etmez; ancak gördüğü hizmetlerin değerini de teslim etmek zorunda kalır. Böylece anlatıda kadınların toplumsal yararlılığı ile bu yararlılığın rakip siyasal çevrede uyandırdığı endişe birlikte yer alır. Asım'ın Yeni Turan kadınlarını tanıttığı şu uzun pasaj, kadınlara açılan çalışma alanlarını ve bu alanların nasıl anlamlandırıldığını bir arada göstermektedir:

> "*Yeni Turan'ı en çok göze çarptıran şeyi belki de Türk kadını müessesâtı idi. Yeni Turan, kadınlarını da okutuyor, kadınlarını yanı başında çalıştırıyordu. Yeni Turan kadınlarının kıyafeti de sadeleşmiş, değişmiş, modaya hiç muvafık değil fakat yarattıkları Türk ve İslâm âlemi ile pek menâsebetdâr bir şekil almıştı. Şimdi bizim kadınların ince, zarif, sanatkâr çarşafları ve tuvaletleri ile evlerinin bir ziyneti, erkeklerinin gâye-i aşkı olmakla kalan kadınlarımıza mukâbil, Yeni Turan'ın hocalık eden, ciddi surette, hastabakıcı yetişen, bir muharebe olur olmaz Arap mücâhideleri gibi Mehmetçiklerin yaralarını sarmaya giden, ordunun dikişini dikmek için kadın imâlâthânelerinde çalışan, eski Türk işleme ve sanâyiini Yeni Turan'a tatbik için iktisadî, insanî, ilmî ve bilmem daha yüz türlü çalışan, akın akın kadınları vardı. Bir süsten, kıymetdâr bir biblodan birdenbire müfîd, çalışkan bir uzv-ı cemiyet, bir ana, bir arkadaş, bir her şey olan bu kadınları itiraf ederim ki takdir ediyordum. Fakat hiç de güzel bulmuyordum. Arkalarında eski Tatar Türklerini hatırlatan bazen sade, bazen kurşunî uzun bir manto, başlarında beyaz, yumuşak bir örtü, ayaklarında sade, kalın ayakkabılar, ellerinde iş torbaları ile vatan ve çocuklarından başka bir şey hissetmeyen bu kadınlarda, Yeni Osmanlılar Fırkası kadınlarının cazibesini bulamıyordum. Fakat Yeni Turan'la beraber, bence muzır olan politikalarını halka hoş gösterenler bu kadınlar değil miydi? Son senelerde Yeni Turan'ı önümüzdeki intihâbâtta kazanacak gibi zannettiren kudret bu kadınlar değil miydi?*" (Halide Edib, 1329, s. 10-11).

Bu tasvirde öncelikle kadınların faaliyet alanlarının çeşitliliğine dikkat etmek gerekir. Öğretmenlik, hastabakıcılık ve imalathanelerde çalışma, bilgi ve beceri gerektiren farklı sorumlulukları ifade eder. Kadınların "*akın akın*" çalıştıklarının belirtilmesi ise söz konusu değişimin birkaç istisnaî kişinin başarısıyla sınırlı tutulmadığını gösterir. Yeni Turan'ın tasarladığı toplumda kadınların çalışması, hareketin yaygın ve görünür bir niteliği hâline gelmiştir. Bu bağlamda kadın, eğitilen ve kendisine imkân sağlanan kişi olmanın yanında, başkalarının hayatını değiştiren faaliyetlerin de yürütücüsüdür.

İnci Enginün, bu faaliyetlerin gelecek tasavvurundaki yerini "*Bu kadınlar, cemiyette faydalı bir unsur haline gelmiş yeni Türkiye'yi yaratacak olan güçtür*" sözleriyle belirler (Enginün, 1995, s. 167). Kadınları geleceğin kurucu gücü olarak değerlendiren bu tespit, romandaki çalışmanın yardım ve bakım hizmetleriyle sınırlı bir anlam taşımadığını gösterir. Kadın emeği, yeni toplumun hangi ilişkiler üzerinde kurulacağını da belirlemektedir. Bununla birlikte, aynı tespitte öne çıkan faydalılık ölçüsü, bildirinin temel sorusunu yeniden düşündürür: Toplumu kurma kudreti tanınan kadın, kendi hayatına yön verme bakımından hangi imkânlara sahiptir?

Asım'ın "*iktisadî, insanî, ilmî*" şeklinde sıraladığı çalışma alanları, kadın emeğinin farklı toplumsal ihtiyaçlara karşılık verdiğini göstermektedir. Öğretmenlik gelecek nesillerin yetiştirilmesine, hastabakıcılık hayatın korunmasına, imalathanelerdeki üretim ise maddi ihtiyaçların karşılanmasına yönelir. Eski Türk işleme ve sanatlarının yeni hayata uygulanması da bu emeğe kültürel bir işlev kazandırır. Böylece kadınların çalışmasıyla toplumsal hayatın devamlılığı ve yenilenmesi arasında doğrudan ilişki kurulur. Bununla birlikte, pasajda kadınların ücretleri, mülkiyet hakları veya kazançları üzerindeki tasarrufları hakkında bilgi verilmemektedir. Dolayısıyla buradaki çalışma faaliyetlerinden hareketle kadınların iktisadî bağımsızlıklarının bütünüyle sağlandığı sonucuna ulaşmak mümkün değildir. Metnin açık biçimde ortaya koyduğu husus, kadın emeğinin örgütlü ve toplumsal bakımdan değer taşıyan bir faaliyet hâline gelmesidir.

Kadınların kıyafetlerine ilişkin ayrıntılar da bu çalışma düzeniyle birlikte anlam kazanır. Sade ayakkabılar ve iş torbaları, hareket eden ve bir iş görmek üzere kamusal mekânda bulunan kadınları görünür kılar. Ne var ki Asım, onların çalışkanlıklarını takdir ederken güzelliklerine dair olumsuz yargısını da dile getirir. Bu durum, anlatıcının kadınlara yönelik değerlendirmesinde toplumsal yararlılıkla estetik beğeninin ayrı ölçüler olarak varlığını sürdürdüğünü gösterir. Kadınların "*vatan ve çocuklarından başka bir şey hissetmeyen*" kişiler şeklinde tanımlanması da aynı anlatıcı bakışının ürünüdür. Bu ifadeyi, kadınların bütün iç dünyasını açıklayan kesin bir hüküm olarak almak yerine, onların fedakâr ve çalışkan görünüşlerinin Asım tarafından nasıl algılandığını gösteren bir anlatım olarak değerlendirmek gerekir.

Pasajın sonunda yer alan sorular ise kadınların faaliyetlerinin siyasal karşılığını belirginleştirir. Asım, Yeni Turan'ın seçim başarısı ihtimalini değerlendirirken kadınların halk üzerinde meydana getirdiği etkiyi öne çıkarır. Burada siyasal tesirin kaynağı, yalnızca kürsüde söylenen sözler değildir. Kadınların hastaya, çocuğa ve ihtiyaç sahibine ulaşması, Yeni Turan düşüncesini insanların gündelik hayatlarında karşılığı bulunan bir programa dönüştürmektedir. Dolayısıyla kadınların kamusal failliği, siyasal teşkilat içinde taşıdıkları ünvanlardan önce, toplumla kurdukları ilişkinin niteliğinde görünür hâle gelir. Bu faaliyetlerin nasıl örgütlendiğini gösteren örneklerden biri, Kaya'nın Erzurum'da başlattığı çalışmalardır. Sabih, Kaya'nın çevresindeki kadınlarla birlikte meydana getirdiği kurumsal gelişmeyi şöyle anlatır: "*Kendisine yardım eden beş altı kadın ile Erzurum'da ilk*

Yeni Turan mektebini açalı on sene oluyor. Bugün orada on beş yirmi kadar Yeni Turan mektebi var." (Halide Edib, 1329, s. 15). Sabih'in verdiği bilgi, Kaya'nın öncülüğünün bir kadın topluluğunun emeğiyle birlikte düşünülmesini gerektirir. İlk mektebin açılmasında "*beş-altı kadın*"ın yardımından söz edilmesi, kurucu faaliyetin ortaklaşa yürütüldüğünü gösterir. Mektep sayısının zaman içinde artması ise bu başlangıcın süreklilik kazandığını ifade eder. Dolayısıyla Kaya'nın şahsında belirginleşen öncülük, başka kadınların katılımıyla genişleyen bir teşkilatlanmaya dönüşür. Romanın kadın tasavvurunda bireysel iradeyle ortak çalışma arasındaki ilişkiyi bu örnek üzerinden takip etmek mümkündür.

Faaliyetin Erzurum'da başlaması da önemlidir. Kadınların toplumsal hayata katılması, romanın coğrafyasında İstanbul'la sınırlandırılmaz. Taşrada başlatılan çalışma, daha sonra genişleyen Yeni Turan faaliyetlerinin bir parçası hâline gelir. Nitekim Sabih, aynı konuşmanın devamında Kaya'nın İstanbul'daki çalışmalarını anlatırken "*Kaya bir senedir İstanbul'da, girmediği cuma mektebi, dolaşmadığı hastane, mektep yok*" der (Halide Edib, 1329, s. 17). Bu ifade, Kaya'nın kamusal konumunu sürekli dolaşma, görme ve ilgilenme fiilleriyle tanımlar. Kadının hareket alanının genişlemesi, burada doğrudan doğruya toplumsal sorumluluğunun genişlemesiyle birlikte gerçekleşmektedir.

Yeni Turan kadınlarının toplumsal faaliyetleri, roman üzerine yapılan araştırmalarda da kurucu bir etkinlik olarak değerlendirilmektedir. Anastasiia Orlovskaia, bu değişimi "*Yeni Turan romanında kadınlar artık hayatın edilgen seyircileri değil, onun etkin kurucularıdır*" sözleriyle ifade eder (Orlovskaia, 2024, s. 84; İngilizceden çeviri). Bu tespit, kadınların eğitim, çalışma ve dayanışma yoluyla tasavvur edilen düzenin meydana gelmesine doğrudan katıldıklarını göstermesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte toplumu kuran bir kişi olmakla kendi hayatını özgürce belirleyebilmek arasındaki ilişkinin ayrıca değerlendirilmesi gerekir. Kaya'nın faaliyetlerinin evlilik sonrasında sınırlandırılması, kurucu gücün tanınmasının bu gücün serbestçe kullanılmasını kendiliğinden sağlamadığını ortaya koymaktadır.

Yeni Turan kadınlarının dayanışma faaliyetleri, Kaya'nın Hamdi Paşa'yla evliliğinden sonraki hayatında farklı şartlar altında devam eder. Bu değişme, aynı çalışma iradesinin serbest ve örgütlü faaliyet alanından daha dar bir çevreye taşındığında nasıl bir biçim aldığını göstermesi bakımından dikkat çekicidir. Asım, Kaya'nın yeni hayatını şu cümlelerle anlatır:

> "*Kendisini canlı ve büyük dünyasından ebediyen örten bu hapishanesinde tembel, faydasız bir hayat da geçirmiyordu. Daima elinde bir kitap yahut bir dikiş vardı. Evlendikten bir ay geçmeden Şehzadebaşı'nda mahallemizin fukarasını ayrı ayrı öğrenmiş, hangi evde fakir gelinlik bir kız var, hangi evde gıdasını veremeyecekleri, giydiremeyecekleri kadar çok çocuk var, hangi evde hasta var ve bu fukaraların hangisinin en çok nelere ihtiyacı var, biliyordu*." (Halide Edib, 1329, s. 82-83).

Asım'ın konağı Kaya için bir "*hapishane*" olarak nitelendirmesi, maddi imkânlarla hareket serbestisinin aynı şey olmadığını ortaya koyar. Kaya'nın hayatını daraltan husus, ihtiyaçlarını karşılayacak imkânlardan yoksun bulunması değildir; daha önce içinde yer aldığı çalışma dünyasından uzaklaşmasıdır. Buna rağmen mahalledeki ihtiyaç sahiplerini tek tek öğrenmesi, onun toplumsal ilgisinin sürdüğünü gösterir. Burada dayanışma, belirsiz bir yoksullar topluluğuna uzaktan yardım etme şeklinde kurulmaz. Hangi evde hastanın bulunduğunu, hangi ailenin çocuklarını giydiremediğini veya hangi genç kızın desteğe ihtiyaç duyduğunu bilmek, yardım faaliyetini kişilerin somut hayat şartlarına bağlar.

Kaya'nın bu dikkati, Çamaşırcı Ayşe Kadın'ın torunları için diktiği giysiler etrafındaki kısa konuşmada daha da belirginleşir:

"*_Bunlar nedir?"*

_Çamaşırcı Ayşe Kadın'ın torunlarına içlik."

"Canım bununla uğraşacağınıza çarşıdan iki fanila alıverseniz…"

Kaya, amcama pek çok şey bilen fakat bildiğini karşısındakine anlatamayacağına emin bir âlimin sükûneti ile baktı. Sonra pamukları Amerikan bezi arasında ince parmakları ile düzleterek dikişine devam ederken sadece:

_Daima böyle giymeye alışmışlar, dedi." (Halide Edib, 1329, s. 83).

Hamdi Paşa, ihtiyacın piyasadan alınacak bir eşya ile karşılanabileceğini düşünürken Kaya, yardım edeceği kişilerin alışkanlıklarını da dikkate almaktadır. Bu farklılık, dayanışmanın yalnızca bir malın temin edilmesinden ibaret görülmediğini gösterir. Kaya'nın kendi emeğini vermesi, ihtiyaç sahibinin nasıl yaşadığını bilmesiyle birleşir. Dolayısıyla dikiş dikmek, bu sahnede kadının ev içinde gerçekleştirdiği sıradan bir uğraşın ötesinde, başka hayatlarla ilişki kurmasının vasıtası hâline gelir. Aynı el işi, kimin ihtiyacına ve hangi amaçla yöneldiğine bağlı olarak toplumsal bir anlam kazanır. Bununla birlikte, Kaya'nın ev içinde çalışmayı sürdürmesi, önceki faaliyet alanını kaybetmesinin sonuçlarını ortadan kaldırmaz. Roman bu ayrımı, Kaya'nın rahatsızlığı üzerine doktorla Hamdi Paşa arasında geçen konuşmada açıkça ortaya koyar:

"*_Evvela bu hastalığın esbabını aramalı. Hanım efendi maddi, manevi bir faaliyete, açık sahra hayatına alışıktılar, değil mi?*

_Evet.

_Şimdi nasıl yaşıyorlar? Yani zihinleri, vücutları kâfi derecede çalışıyor mu?

_Evli bir kadın nasıl eskisi gibi çalışır?" (Halide Edib, 1329, s. 92-93).

Hamdi Paşa'nın sorusu, evliliğin kadının çalışma alanını daraltmasını tabii sayan anlayışı görünür kılar. Doktorun zihinsel ve bedensel faaliyet üzerinde durması ise Kaya'nın önceki hayatının onun varlığındaki önemini ortaya koyar. Bu konuşmayı değerlendirirken hastalığı tek bir sebebe indirgemek gerekmez. Bununla birlikte anlatı, Kaya'nın çalışma ve hareket alanındaki daralmayı, içinde bulunduğu sıkıntının anlaşılmasında dikkate

alınması gereken bir unsur olarak sunmaktadır. Dolayısıyla çalışma, kadınların topluma yararlı olmasını sağladığı kadar, kendi hayatlarına anlam verebilmeleri bakımından da değer taşır.

Kadın emeğinin kamusal karşılığına ilişkin bir diğer mesele, bu emeğin kim adına temsil edildiğidir. Kaya'nın yoksullara yönelik faaliyetlerinin basında Yeni Osmanlılar Fırkası'yla ilişkilendirilmesi, onun kendi iradesiyle sürdürdüğü çalışmaların farklı bir siyasal anlama dönüştürülmek istendiğini gösterir. Asım, yayımlanan yazıyı şu cümlelerle değerlendirir:

> "*Buna mukabil gazetelerin birinde de: 'Hamdi Paşa Hazretleri'nin harem-i âlileri hanımefendinin faaliyeti' serlevhasıyla bir makale çıktı. Bu, Kaya'nın fukara arasındaki sırf insaniyetperver harekâtını, Osmanlı fırkası kadınlarının da nihayet fukara teşkilatı ile uğraştıkları şeklinde gösteriyor, mübalağa ediyor, buna siyasi bir renk veriyor, adeta Kaya'yı Yeni Osmanlı Fırkası'nın bir âmili gibi göstermek istiyordu. Bu bizim politikamız için iyi olsa bile haddizatında fenaydı*." (Halide Edib, 1329, s. 96).

Yazının başlığında Kaya'nın kendi adı yerine Hamdi Paşa'nın eşi olarak tanıtılması ayrıca dikkat çekicidir. Daha önce kurduğu mektepler ve yürüttüğü faaliyetlerle tanınan kadın, burada kocasının toplumsal ve siyasal konumu üzerinden tarif edilmektedir. Bu değişme, yardımın kime ulaştığı kadar, yardım faaliyetinin kimin iradesine bağlandığını da önemli hâle getirir. Kaya'nın emeği kendisine ait olmakla birlikte, basındaki temsil bu emeği Yeni Osmanlılar adına bir başarı göstergesine dönüştürmeye çalışmaktadır. Asım'ın kendi fırkasının lehine olan bu davranışı yanlış bulması da anlatının söz konusu sahiplenmeye yönelttiği eleştiriyi kuvvetlendirir. Bu sahne, Yeni Turan kadınlarının faaliyetlerinin başlangıçta anlatılan siyasal etkisiyle birlikte düşünüldüğünde daha anlamlı hâle gelir. Kadınların toplumsal hizmetlerinin bir siyasal harekete güven kazandırmasıyla, bir kadının faaliyetlerinin iradesi dışında başka bir harekete mal edilmesi arasında fark vardır. İlkinde kadınların içinde yer aldıkları düşünce ve çalışma çevresiyle faaliyetleri arasında bağ bulunurken, ikincisinde bu bağ dışarıdan kurulmaktadır. Dolayısıyla romanda kadının kamusal özne olması, çalışabilmesinin yanında, yaptığı işin hangi amaç ve aidiyetle anlamlandırılacağı üzerinde söz sahibi olmasını da gerektiren bir mesele olarak belirir.

Bütün bu örnekler, *Yeni Turan*'daki kadınların çalışma ve dayanışma faaliyetlerinin çok yönlü olduğunu göstermektedir. Kadınlar eğitim, bakım ve üretim yoluyla toplumsal ihtiyaçlara cevap verirken, bu faaliyetlerin meydana getirdiği güven sayesinde siyasal hayat üzerinde de etkili olurlar. Kaya'nın hayatında görüldüğü üzere, çalışma alanının daraltılması veya emeğinin başka bir siyasal kimlik adına sahiplenilmesi ise bu failliğin karşılaştığı engelleri açığa çıkarır. Bu doğrultuda romanın feminist ütopya yönü, kadınların kamusal hayatta bulunmalarının yanında, faaliyetlerini sürdürebilme ve kendi iradeleriyle anlamlandırabilme imkânları üzerinden de değerlendirilmelidir. Kadının çalışkan bir toplum üyesi olarak kabul edilmesiyle kendi hayatı üzerinde karar

verebilen bir kişi olarak tanınması arasındaki ilişki, Yeni Turan idealinin imkânlarını ve sınırlarını birlikte görünür kılmaktadır.

4. EĞİTİM, TOPLUMSAL ANNELİK VE "QUAKER" ETKİSİ

Yeni Turan'da eğitim, kadınların toplumsal hayata katılmasını mümkün kılan başlıca vasıtalardan biridir. Bununla birlikte kadın, romanda eğitilmesi gereken bir kişi olmanın yanında, toplumu eğiten ve dönüştüren bir konumda da bulunmaktadır. Bu iki yönlü ilişki, kadınların bilgi ve beceri kazanmasıyla gelecek nesillerin yetiştirilmesi arasında süreklilik meydana getirir. Kadının eğitimi, kendi hayatındaki imkânları genişletirken öğretmenliği ve mürebbiliği, bu imkânların başkalarına ulaşmasını sağlar. Dolayısıyla romandaki eğitim düşüncesini, kadının toplumsal statüsüyle kurulması arzu edilen düzenin devamlılığı arasındaki ilişki içinde değerlendirmek gerekir.

Eğitimle kadınların toplumsal rolü arasındaki bu bağı Enginün, Halide Edib'in eserlerine yön veren bir düşünce olarak değerlendirir: "*Halide Edib, ömrü boyunca cemiyetlerdeki değişmenin mutlak surette eğitim ve öğretimle ve kadının desteği ile olacağına inanmıştır*" (Enginün, 1995, s. 154). Bu değerlendirme, *Yeni Turan*'da kadınların eğiticiliğinin niçin toplum tasarımının merkezinde bulunduğunu açıklar. Kadının yetişmesiyle yeni nesilleri yetiştirmesi aynı değişme sürecinin birbirini tamamlayan yönleridir. Ancak değişmenin kadının desteğine bağlanması, ona yüklenen sorumluluğun genişliğini de ortaya koyar; bu sorumluluğun kendi gelişimi için ihtiyaç duyduğu haklarla desteklenip desteklenmediği ayrıca incelenmelidir.

Yeni Turan kadınlarının eğiticiliğini somutlaştıran başlıca kurumlar Cuma mektepleridir. Bu mekteplerde kadınların çocuklarla kurdukları ilişki, Asım'ın gözlemleri aracılığıyla dikkatlere sunulur:

> "*Bazen cuma günleri bizim mahallenin köşesinden geçerken bu Cuma mekteplerinin kapısını aralık bulursam, bakardım. Her vakit uzun, ciddi yüzlü, beyaz başörtülü, siyah cübbeli bir kadının çocukların karşısında tatlı bir sesle ahlâkî bir hikâye söylediğini, ya duvardaki tahtaya bir hayvan, bir eşya, nebat resmi çizdiğini yahut çocuklarla bir elişi yaptığını görürdüm. Bu Cuma mektepleri hele İstanbul'da o kadar çoğalmıştı ki Yeni Osmanlılar bile çocuklarını oralara göndermeye başlamışlardı*." (Halide Edib, 1329, s. 12).

Bu tasvirde eğitim faaliyetinin farklı yönleri bir arada bulunmaktadır. Ahlâkî hikâye, çocukların davranış ve değer dünyasına; hayvan, eşya ve bitki resimleri, çevrelerini tanımalarına; elişi ise yaparak öğrenmelerine yöneliktir. Dolayısıyla öğretmen, bilgiyi aktarmanın yanında, çocuğun duygusal, zihinsel ve pratik gelişimini birlikte gözeten bir kişi olarak resmedilir. Anlatıcının kadın öğretmenin ciddi görünüşüyle tatlı sesini aynı tasvir içinde vermesi de önemlidir. Ciddiyetle şefkatin bir arada bulunması, eğitim ilişkisinin hangi niteliklerle idealize edildiğini gösterir. Burada kadınların eğiticiliği, otorite ile yakınlığın birbirini tamamladığı bir ilişki içinde anlam kazanmaktadır.

Pasajın sonunda Yeni Osmanlılar'ın da çocuklarını bu mekteplere göndermeye başladıklarının belirtilmesi, kurumların siyasal aidiyetleri aşan bir karşılık bulduğunu gösterir. Yeni Turan'ın düşüncelerine karşı olan ailelerin bu eğitim hizmetinden yararlanması, kadın öğretmenlerin meydana getirdiği güvenin göstergesidir. Böylece kadınların eğiticiliği, siyasal programın gündelik hayatta benimsenmesini sağlayan bir faaliyet hâline gelir. Romanın ütopyacı yönü de burada belirginleşir: Tasavvur edilen düzen, çocukların nasıl yetiştirileceğini gösteren kurumlar ve uygulamalar aracılığıyla ayrıntılandırılmaktadır.

Eğitimin toplumun farklı kesimlerine ulaşması, bu kurumların bir diğer önemli niteliğidir. Asım'ın anlatımında, maddi imkânsızlıklar sebebiyle eğitimden mahrum kalabilecek çocukların da Yeni Turan mekteplerinde yer bulduğu özellikle vurgulanır:

> "*Bir mahalle yoktu ki mektep parası veremeyecek kadar fakir olanların çocuklarını Yeni Turan, açtığı mekteplerin birinde meccânen okutmasın. Bir mahalle yoktu ki orada Yeni Turan'ın binâ ettirdiği sade, salaş bir salonda bu kadınların idare ettiği, çocuklara dinî, ahlâkî ve müfîd mâlûmât veren bir cuma mektebi olmasın!*" (Halide Edib, 1329, s. 11-12).

"*Bir mahalle yoktu ki*" şeklindeki tekrar, eğitim faaliyetlerinin yaygınlığını ve sürekliliğini öne çıkarır. Bu anlatım, bütün mahallelerin durumunu niceliksel olarak belgeleyen bir bilgi olmaktan ziyade, Yeni Turan hizmetlerinin kuşatıcılığını vurgulayan bir söyleyiş olarak değerlendirilmelidir. Ücretsiz eğitimle sade mekânların birlikte anılması da dikkate değerdir. Kurumun değeri gösterişli bir binaya sahip olmasından değil, ihtiyaç duyan çocuklara ulaşabilmesinden kaynaklanır. Bu doğrultuda kadınların idare ettiği mektepler, toplumsal dayanışmayla eğitim hakkının kesiştiği yerler hâline gelir.

Kadının eğitimiyle toplumun geleceği arasında kurulan ilişki, Veysel Şahin'in romanı değerlendirdiği çalışmasında da öne çıkar. Şahin'e göre, "*Yazarın kadınları ahlakî, kültürel ve düşünsel olarak eğitme ve değiştirme amacı, özünde toplumu değiştirme çabalarının bir sonucudur*" (Şahin, 2013, s. 113). Bu değerlendirme, kadınların eğitiminin Yeni Turan idealinin gerçekleşmesindeki yerini açıklamaktadır. Ne var ki eğitim, kadının topluma sağlayacağı katkının yanında, kendi gelişimi ve tercihleri bakımından da ele alınmalıdır. Dolayısıyla kadınların öğretmen ve mürebbi olarak kabul görmeleriyle erkeklerle eşit tahsil imkânına sahip olmaları arasındaki mesafe önem taşır. Romanda eşit eğitim talebinin siyasal engellerle karşılaşması, bu iki meselenin birbirine indirgenemeyeceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, kadınların öğretmen olarak toplumsal kabul görmesiyle erkeklerle eşit eğitim imkânına sahip olmaları arasında ayrım yapmak gerekir. Roman, bu ayrımı kadınların tahsiline ilişkin kanun tekliflerinin karşılaştığı muhalefet aracılığıyla ortaya koyar. Asım, tekliflerin meclisteki seyrini şöyle anlatır:

> "*Kadınların tahsili meselesi ve bazı içtimai kanunlar nihayet geldi çattı. Bu, Yeni Turan hükümetinin ikinci senesindeydi. Biz yavaş yavaş buna efkâr-ı umumiyeyi tahammül edemeyecek hale getiriyorduk.*

O sene meclis, layihaları tehir etmeyi münasip gördü. Üçüncü sene kanun layihaları bir daha meclise geldi, bu defa muhalefet matbuatının şiddetli feryadı mebuslara bunu açıktan açığa reddettirdi." (Halide Edib, 1329, s. 134-).

Bu pasaj, kadınların eğitiminin siyasal mücadele konusu olduğunu açıkça gösterir. Muhalefet, kamuoyunda oluşturduğu tepkiyi meclis kararları üzerinde etkili kılmaktadır. Dolayısıyla kadınların eğitim imkânlarını genişletecek düzenlemelerin gerçekleşmesi, bu imkânların toplumsal yararının gösterilmesiyle kendiliğinden sağlanamamaktadır. Kadınların eğitici olarak kabul edilmesi, eğitimde eşitlik talebinin de aynı ölçüde kabul edileceği anlamına gelmez. Romanın feminist ütopya yönünü değerlendirirken, mevcut kurumlarla gerçekleştirilmek istenen hukukî düzenlemeler arasındaki bu mesafeyi göz önünde bulundurmak gerekir.

Asım, anlatımının devamında engellenen talebin niteliğini ve geçmişteki tutumuna yönelik pişmanlığını daha açık biçimde ifade eder: "*Nihayet bu son senenin şiddet ve ihtirasına kadınlarla erkeklerin müsavi tahsili bir kere daha feda edildi.*" "*Bu kadınların tahsilinin erkeklerle müsavatını kabul on, on beş sene sonra memleketi Finlandiya'ya benzeteceğini düşünmemek cinayetini yaptığımıza nadimim*." (Halide Edib, 1329, s. 78).

Burada söz konusu olan, kadınların herhangi bir eğitim görmesinden daha ileri bir taleptir: Erkeklerle eşit tahsil imkânı. Asım'ın bu talebin engellenmesini sonradan ağır bir yanlış olarak değerlendirmesi, romanın eğitimde eşitlik yönündeki tutumunu kuvvetlendirir. Finlandiya'ya yapılan gönderme de kadınların eğitimiyle ülkenin geleceği arasında kurulan ilişkiyi gösterir. Bununla birlikte bu ilişki, kadınların eğitim hakkının yine memleketin gelişmesine sağlayacağı katkı üzerinden savunulduğunu da düşündürmektedir. Dolayısıyla romanda eşitlik düşüncesiyle toplumsal fayda birbirini desteklemekte; kadının kendi gelişimi ile toplumun geleceği aynı gerekçelendirme içinde yer almaktadır.

Kadınların eğiticiliğinin annelikle kurduğu ilişki, bu düşüncenin bir diğer boyutunu oluşturur. Bu bildiri kapsamında "*toplumsal annelik*" ifadesi, çocuğun bakımı ve yetiştirilmesiyle ilişkilendirilen sorumlulukların aile çevresini aşarak toplumun bütününe yönelmesini karşılamak üzere kullanılmaktadır. Nitekim Sabih'in Yeni Turan kadınlarına dair "*çocuklara ve bütün memlekete bir ana, bir mürebbi*" ifadesi, bu genişlemeyi açıkça ortaya koyar (Halide Edib, 1329, s. 28). Annelik burada yalnızca biyolojik bir ilişkiyi anlatmaz; yetiştirme, koruma ve yol gösterme faaliyetlerine dayanan toplumsal bir konumu da ifade eder. Böylece kadınların kamusal hayattaki yeri, annelikle ilişkilendirilen değerlerin daha geniş bir çevrede karşılık bulmasıyla meşrulaştırılır.

Toplumsal annelik düşüncesinin yazarın kamusal söylemindeki karşılığı, Çalışlar'ın aktardığı bir konuşmada da görülmektedir. Balkan Savaşı sırasında Darülfünun'da yapılan kadınlar toplantısında Halide Edib, *"Milletin kadınları ilk defa milletin hakiki anası ve efradı gibi bu felakete çare bulmak için bir araya toplanıyor"* demektedir (Halide Edib'den aktaran Çalışlar, 2010, s. 108). Kadınların milletin hem *"anası"* hem *"efradı"* olarak adlandırılması, koruyuculuk göreviyle topluluğun bir ferdi olma konumunu birlikte ifade eder. Bu söyleyiş,

romandaki annelik tasavvurunun dönemin kadınları kamusal sorumluluğa çağıran diliyle ilişkisini göstermektedir. Romanın yayımlanmasından sonraki bu konuşma, eserin doğrudan kaynağı olarak değil, aynı düşüncenin kamusal alandaki devamı olarak değerlendirilmelidir.

Oğuz'un annesine ilişkin hatıraları, annelik ile eğiticilik arasındaki ilişkinin romanda nasıl temellendirildiğini göstermesi bakımından önemlidir. Oğuz, çocukluğunda annesinin eğitimine katkısını şu cümlelerle anlatır: "*Her akşam ilm-i halimi, cü'zümü okutur. Annem okumuş bir kadındı. Ailede ta bozgundan evvelki hayatımıza kadar annemin rivayetine göre hep okumuş kadınlar varmış*." (Halide Edib, 1329, s. 162).

Bu hatırada annenin bilgisi, çocuğun ilk eğitimini mümkün kılan bir imkân olarak yer almaktadır. Ailede geçmişten beri okumuş kadınların bulunduğunun belirtilmesi ise kadın eğitiminin anlatı içinde tarihsel bir süreklilikle ilişkilendirildiğini gösterir. Ne var ki bu süreklilik, roman kişisinin annesinden aktardığı aile hatırasına dayanmaktadır; buradan hareketle bütün bir tarihsel toplum hakkında genelleme yapılamaz. Pasajın inceleme bakımından taşıdığı değer, gelecekte kurulması arzu edilen eğitim düzeninin, romanın kendi dünyasında hatırlanan kadın örnekleriyle desteklenmesidir.

Oğuz'un anlatımında annesinin eğiticiliği kendi çocuğuyla da sınırlı kalmaz: "*Hocalık da bizim aile kadınlarında ırsi bir illet. Kışın o makinesi başında çalışırken minderleri üstünde Meryem, Ayşe, Abdullah, Sungur ve ben sallana sallana Tebareke cüz'ünü ezberledik. İptidai tahsilini, Kur'an, ilm-i hal ve biraz da kıraat, hep bunu annemden öğrendik*." (Halide Edib, 1329, s. 163).

Annenin dikiş makinesi başında çalışırken çocukları okutması, geçim emeği ile eğitim emeğinin aynı mekânda birleştiğini gösterir. Ev, bu anlatımda birkaç çocuğun birlikte öğrendiği bir yere dönüşmektedir. Yeni Turan kadınlarının daha sonra kurumsal bir nitelik kazanan eğiticiliğiyle bu küçük ev çevresi arasında bir süreklilik okunabilir. Bununla birlikte ikisi arasında ölçek ve düzenleniş bakımından fark vardır. Oğuz'un çocukluk hatırasındaki kişisel gayret, Yeni Turan mekteplerinde teşkilatlı ve yaygın bir faaliyete dönüşür. Dolayısıyla romanın gelecek tasavvuru, kadınların geçmişten gelen eğiticilik tecrübesini yeni kurumlarla genişleten bir yön de taşımaktadır.

Yeni Turan kadınlarının bu eğitici ve toplumsal sorumluluğa dayanan konumunu açıklarken Halide Edib'in "*Quaker*" çevresiyle temaslarını da değerlendirmek gerekir. Yazar, *Mor Salkımlı Ev*'de roman üzerindeki etkilerinden söz ederken bu ilişkiyi doğrudan belirtir:

> "*Burada bu kitabın üzerinde tesiri olduğu için Quaker'lerden bahsedeceğim. Bu mezhebe mensup olanlar arasında biraz yaşamış ve onlardan da bazı noktalarda ilham almıştım.*
>
> *Isabel Fry, bu mezhebe mensup bir ailenin kızı idi. Babası o günün en meşhur milletlerarası hukukçularının başında bulunan Sir Ed. Fry idi. Isabel, babasının malikânesini bırakmış, Londra'ya*

gelerek küçük ve hususî bir mektep açmıştı. Bu mektep sayıları az dahi olsa büyük aile kızlarına cemiyetsever, basit ve ciddi bir hayat terbiyesi vermeye çalışıyordu." (Adıvar, 2007, s. 195-196).

Halide Edib'in bu açıklamasında mektebin öğrencilerine kazandırmak istediği hayat anlayışı özellikle dikkat çekicidir. "*Cemiyetsever, basit ve ciddi*" bir terbiye, eğitimin toplumsal sorumlulukla birlikte düşünüldüğünü gösterir. Yeni Turan kadınlarının sadeliği, çalışkanlığı ve topluma yönelik faaliyetleri bu değerlerle birlikte değerlendirildiğinde, "*Quaker*" etkisinin kıyafetin ötesine uzanan bir yorum alanı açtığı görülür. Ancak bu ilişkiyi kurarken örnek alınan mekteple romandaki kurumlar arasındaki farklılıkları da korumak gerekir. Isabel Fry'ın az sayıda "*büyük aile kızları*"na yönelik mektebiyle yoksul çocuklara ücretsiz eğitim sağlayan Yeni Turan mektepleri aynı toplumsal kapsama sahip değildir. Bu farklılık, gözlenen örneğin romanda başka ihtiyaçlara cevap verecek şekilde dönüştürüldüğünü düşündürmektedir.

Yazarın aynı hatırada Fry ailesinin gündelik hayatını anlatırken kullandığı ifadeler de bu bakımdan önemlidir:

"*Asıl bu mezhebin havasını, Isabel'in babasının Bristol'deki şatosuna misafir olduğum zaman aldım. Sir E. Fry o vakit seksenlik bir ihtiyardı. Karısı, kızları ve bütün hizmetçileri hep aynı ailenin sadece vazifeleri ayrılmış birer fertleri gibi idiler.*

Sabah duasını hep birlikte yaparlardı. Aralarında daima kurşunî, fakat ipekli olmayan gayet sade esvaplar giyenler vardı." (Adıvar, 2007, s. 195-196).

Bu tasvirde ortaklık duygusu, görevlerin farklılığına rağmen aynı topluluğun parçası olma hâliyle ifade edilmektedir. "*Gibi idiler*" söyleyişinin de gösterdiği üzere, burada yazarın gözlem ve izlenimi söz konusudur; aile içindeki bütün toplumsal farklılıkların ortadan kalktığı iddia edilmemektedir. Bununla birlikte ortak dua, sade kıyafet ve görev paylaşımı, Halide Edib'in dikkatini çeken hayat biçiminin başlıca nitelikleridir. Yeni Turan kadınlarının toplumsal faaliyetleriyle bu hayat anlayışı arasında kurulabilecek ilişki, kişisel gösterişten uzaklaşma ve ortak sorumluluğa katılma noktalarında belirginleşmektedir.

Halide Edib, ibadet ortamını ve kıyafet üzerindeki etkisini ise şöyle anlatır:

"*Pazar günleri, diğer Hristiyan kiliselerinden başka olan ve sade ve sakin bir binadaki mabetlerine beni de götürürlerdi. Papaz yoktu. Herkes yerinde oturur, içinden dua eder, herhangi bir fert içinden doğarsa kürsüye çıkar, İncil'den bir pasaj okur, onun duasına bütün 'cemiyet' iştirak ederdi. Yeni Turan'daki gri giymeleri, yüzleri açık, fakat başlarındaki beyaz örtüler galiba biraz buranın ilhamı ile olmuştu*." (Adıvar, 2007, s. 195-196).

Yazarın "galiba biraz" ifadesi, hatırladığı etkinin derecesini ihtiyatla belirttiğini gösterir. Dolayısıyla bu sözleri, romandaki kurumların bütünüyle "Quaker" modelinden alındığını kanıtlayan bir açıklama olarak kullanmamak gerekir. Açık biçimde ifade edilen husus, "Quaker" çevresinden bazı noktalarda ilham alındığı ve

kadınların kıyafetlerinin de bu ilhamla ilişkilendirildiğidir. Ayrıca bu hatıra parçasında pazar günkü ibadet toplantısı anlatılmakta, bir okulun öğretim düzeni açıklanmamaktadır. Cuma mekteplerinin Batılı eğitim örnekleriyle ilişkisini değerlendirmek için hatıranın yanında yazarın eğitim yazılarına da başvurmak gerekir.

Enginün, bu noktada hatırayı tamamlayan bir belge sunarak, Cuma okullarını Amerika'daki Pazar okullarıyla ihtiyatlı biçimde ilişkilendirir; dipnotunda ise Halide Edib'in Şubat 1909 tarihli *Mehasin* yazısından "*Avrupa'da Pazar mekteplerine muadil, bizde Cuma mektepleri açılsa*" sözlerini aktarır (Halide Edib'den aktaran Enginün, 1995, s. 168, dipnot 8). Böylece Pazar okullarıyla ilişki, yalnızca kurumlar arasındaki benzerliğe dayanan bir yorum olmaktan çıkarak yazarın açık teklifine de dayanır. Bununla birlikte bu teklif, Cuma mekteplerinin bütün özelliklerinin "Quaker" çevresinden alındığını göstermez. Nitekim Enginün'ün millî kaynaklara yönelişle Batı'dan alınan kıyafet örneği arasında bir tutarsızlık bulduğu noktada (1995, s. 165-166), bu bildiri, yararlanılan örneğin hangi toplumsal ihtiyaçlara göre dönüştürüldüğüne odaklanmaktadır. Dolayısıyla söz konusu etkiyi kabul etmekle onu bütünüyle taklit olarak değerlendirmek birbirinden ayrılmalıdır.

Halide Edib'in başka bir kültür çevresinden gelen eğitim örneklerine yaklaşımını, yayımlanmış çalışmamızda ele alınan millî eğitim tartışmalarıyla birlikte düşünmek de mümkündür. Söz konusu çalışmada, yazarın eğitim meselesindeki tutumu "*millî bir müfredatın, nitelikli öğretmenlerin ve etkili denetimin oluşturulması*" üzerinde duran bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir (İldeş, 2026, s. 474; İngilizceden çeviri). Bu tespit, eğitimde yararlanılan yöntemin kaynağıyla eğitimin hizmet edeceği toplumsal amaç arasında ayrım yapılmasına imkân verir. *Yeni Turan*'ın kadın tasavvurunda da "*Quaker*" çevresinden gelen sadelik ve cemiyet sevgisi, Türk ve İslâm dünyasına ait değerlerle birlikte yeniden anlamlandırılmaktadır.

Nitekim Cuma mekteplerinde çocuklara verilen bilgilerin "*dinî, ahlâkî ve müfid*" olarak tanımlanması, bu yeniden anlamlandırmayı somutlaştırır. Yazarın hatıralarında anlattığı İncil okunan toplantı, romanda aynı dinî içerikle tekrarlanmaz. Romanın eğitim kurumları, kendi toplumsal çevresinin ihtiyaçlarına ve değerlerine göre kurulmuştur. Dolayısıyla "*Quaker*" etkisi, *Yeni Turan*'ın kültürel kimliğini ortadan kaldıran bir aktarım olarak değil, ideal toplumun kuruluşunda yararlanılan bir tecrübe olarak değerlendirilebilir.

Bütün bu dikkatler, eğitim, toplumsal annelik ve "*Quaker*" etkisinin romanda birbirine temas eden bir kadın ideali meydana getirdiğini göstermektedir. Kadınların eğiticiliği, onları toplumun geleceği üzerinde söz sahibi kılarken annelikle ilişkilendirilen koruma ve yetiştirme sorumluluğu kamusal bir anlam kazanır. "*Quaker*" çevresinden gelen sadelik ve cemiyet sevgisi de bu idealin ahlâkî ve görünür niteliklerinin oluşmasına katkıda bulunur. Bununla birlikte eğitimde eşitlik talebinin siyasal engellerle karşılaşması, kadınların eğitici olarak kabul edilmeleriyle eşit hak sahibi olmalarının aynı şey olmadığını ortaya koyar. Bu bakımdan *Yeni Turan*'ın feminist ütopyası, kadınları toplumu yetiştiren kişiler olarak yüceltirken onların kendi eğitim ve gelişme imkânlarının da güvence altına alınmasını gerektiren bir gelecek tasavvuru olarak okunabilir.

5. KAYA'NIN FAİLLİĞİ, ANLATICININ BAKIŞI VE ÜTOPYANIN SINIRLARI

*Yeni Turan'*da kadınların eğitimi, çalışması ve toplumsal dayanışmaya katılmasıyla belirginleşen gelecek tasavvuru, Kaya'nın şahsında düşünce üreten ve siyasal hayat üzerinde etkili olan bir kadın kimliğine kavuşur. Kaya, Yeni Turan idealinin kuruluşunda ve yayılmasında doğrudan sorumluluk alır; mektepler açar, toplumsal faaliyetleri örgütler ve içinde bulunduğu hareketin geleceğini ilgilendiren kararlar verir. Bu bağlamda onun failliği, kendisi için hazırlanmış bir programı uygulamasından önce, söz konusu programın oluşmasına ve hayata geçirilmesine katılmasında aranmalıdır. Bununla birlikte, Kaya'nın bu kurucu konumunun olay örgüsü boyunca nasıl korunduğu ve hangi müdahalelerle sınırlandırıldığı ayrıca incelenmelidir.

Kaya'nın Yeni Turan düşüncesinin oluşumundaki yeri, Hülya Argunşah'ın değerlendirmesinde de özellikle belirtilmektedir. Argunşah, "*Kaya'nın bir kadın olarak bir siyasal yapının zeminini oluşturan düşüncenin teorisyenleri arasında yer alması da önemli bir başka konudur*" der (Argunşah, 2015, s. 48). Bu tespit, Kaya'nın siyasal hareketin düşünsel kuruluşuna katıldığını göstermektedir. Dolayısıyla onun failliği, kendisine verilen görevleri yerine getirmesiyle sınırlı değildir; hangi amaçlar için çalışılacağını belirleyen düşüncenin oluşmasına da katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte Kaya'nın düşünsel gücüyle hayatına ilişkin kararları verebildiği şartlar arasında bir mesafe vardır. Evlilik pazarlığında bilginin saklanması ve kamusal yetkinin kişisel amaçlarla kullanılması, bu mesafeyi somutlaştırmaktadır.

Kaya'nın bu güçlü ve etkili konumu, daha erken tarihli değerlendirmelerde de dikkat çekmiştir. Muzaffer Uyguner, Halide Edib'in kadın-erkek eşitliği meselesi üzerinde durduğunu belirtirken *Yeni Turan* bağlamında Kaya'yı özellikle öne çıkarır: *"Halide Edib, Yeni Turan'da, Ateşten Gömlek'te kadının erkekle eşitliğini belirtir. Çünkü, Yeni Turan'ın Kaya'sı güçlü bir kadındır, yeni turancılığın sözü geçen kişilerindendir"* (Uyguner, 1968, s. 14). Uyguner'in bu erken tarihli tespiti, Kaya'nın yalnızca toplumsal hizmetleriyle değil, hareket içindeki ağırlığıyla da kadın-erkek eşitliği meselesinin somutlaştığı bir kişi olarak okunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte romanın olay örgüsü, "sözü geçen" bir kadın olmanın kendi hayatına dair kararları serbestçe verebilmesini kendiliğinden güvence altına almadığını ortaya koyar. Bu ayrım, Kaya'nın kamusal failliğiyle kişisel özgürlüğü arasındaki gerilimi daha görünür kılar.

Bu incelemede öncelikle anlatıcının konumuna dikkat etmek gerekir. Romanın olaylarını aktaran Asım, yaşananları dışarıdan gözlemleyen tarafsız bir kişi değildir. Hamdi Paşa'nın yeğeni ve kâtibi olarak siyasal mücadelenin içindedir; Kaya'nın hayatını değiştiren kararların bir kısmına tanıklık ettiği gibi, hakikatin saklanmasına da katılır. Dolayısıyla okur, Kaya'nın düşüncelerine ve eylemlerine, onun karşısında yer almış bir kişinin anlatımı aracılığıyla ulaşır. Ancak Asım'ın olayları yaşadığı zamanki bakışıyla onları yazdığı zamanki değerlendirmesi arasında da fark bulunmaktadır. Romanın başında söylediği "*Eğer bugün hâlâ memleketi bir*

fırka dürbünüyle göre idim, şüphesiz yine bu vakayı mezara götürürdüm" cümlesi, geçmişteki siyasal bağlılığıyla anlatma zamanındaki tutumu arasında kurmak istediği mesafeyi gösterir (Halide Edib, 1329, s. 2).

Bu mesafe, anlatıcının bütün yargılarının kendiliğinden tarafsızlaştığı anlamına gelmez. Asım, geçmişte yaptığı haksızlıkları açıklarken kendi vicdanını rahatlatacak bir anlatı da kurmaktadır. Bu sebeple onun pişmanlığını, geçmişteki davranışlarının sonuçlarından ayrı düşünmemek gerekir. Anlatıcının itirafı, Kaya'nın uğradığı haksızlığı görünür kılar; fakat aynı zamanda bu haksızlığa katılan kişinin kendisini nasıl değerlendirdiğini de ortaya koyar. Romanın kadın tasavvurunu incelemek, bu iki yönü birlikte gözetmeyi gerektirir.

Kaya'nın kendi kimliği üzerindeki ısrarı, Hamdi Paşa'yla ilk karşılaşmalarından itibaren belirgindir. Paşa'nın kendisine eski adıyla hitap etmesine karşı "*Kaya, zannedersem dâhiliye nazırı paşa hazretleri*" diyerek düzeltmede bulunması, görüşmenin hangi kimlikler arasında gerçekleşeceğini belirleme çabası olarak okunabilir (Halide Edib, 1329, s. 58). Hamdi Paşa'nın çocukluğundan tanıdığı Samiye ile karşısına siyasal bir talepte bulunmak üzere gelen Kaya aynı kişidir; ancak görüşmede hangi kimliğin öne çıkarılacağı önemlidir. Kaya'nın adını hatırlatırken karşısındakinin resmî makamını da belirtmesi, kişisel yakınlığın görüşmenin esasını belirlemesine karşı bir mesafe meydana getirir.

Nitekim Kaya, geliş sebebini "*Hükümetin haksız olarak tevkif ettiği Oğuz Bey'in tahliyesini talebe geldim*" sözleriyle açıklar (Halide Edib, 1329, s. 58). Bu ifade bir lütuf talebinden önce, haksız olduğunu düşündüğü devlet uygulamasına yöneltilmiş itirazdır. Görüşmenin devamında kanundan ve hükümetin sorumluluğundan söz etmesi de Kaya'nın meseleyi hukukî ve siyasal bir zeminde ele aldığını gösterir. Bununla birlikte Hamdi Paşa, görüşmeyi giderek kişisel ilişkilere ve Kaya'nın Oğuz'a bağlılığına taşır. Böylece kamusal yetkiyle kişisel arzu arasındaki sınır, iktidarı elinde bulunduran kişi tarafından aşındırılmaya başlanır.

Hamdi Paşa'nın Kaya'nın siyasal gücünü teslim ettiği şu sözleri, bu müdahalenin sebebini de açıklar: "*_Yeni Turan'a bu intihabâtta kazandıracak olan, emin olunuz ki benim itikadımca, Oğuz Bey değil sizsiniz Kaya*."

_Öyle mi zannediyorsunuz? O halde beni hapsediniz, onu salıveriniz." (Halide Edib, 1329, s. 61).

Paşa'nın değerlendirmesinde Kaya, hareketin başarısını belirleyebilecek bir kişidir. Bu bakımdan onun toplumsal faaliyetleri, Oğuz'un siyasal öncülüğünü tamamlayan tali bir unsur olarak görülmemektedir. Rakibinin gözünde Kaya'nın etkisi, seçim sonucunu değiştirebilecek derecededir. Ancak Paşa'nın bu gücü tanıması, Kaya'nın iradesine saygı duymasını sağlamaz. Aksine, onu Yeni Turan'dan uzaklaştırmanın yollarını aramasına sebep olur. Dolayısıyla kadın kahramanın failliğinin kabul edilmesiyle bu failliğin serbestçe kullanılmasına izin verilmesi arasındaki ayrım, sahnenin temel gerilimini meydana getirir.

Kaya'nın kendi konumuna dair açıklaması ise bu kurucu rolü doğrudan kendi sözleriyle ortaya koyar:

"*Evet, çocukluğumdan beri bir tek gaye-i hayalim oldu. O da şekil vermek için senelerce çalıştığım ve bugünkü şeklini verebildiğim Yeni Turan. Uzun, meşakkatli, yalnız hayatımın bir tek aşkı oldu. O da Yeni Turan rüyasını benimle beraber görüp benimle beraber hayatta bir eşini yapmak için çalışan Oğuz*!" (Halide Edib, 1329, s. 64).

"*Şekil vermek için senelerce çalıştığım*" ve "*bugünkü şeklini verebildiğim*" ifadeleri, Kaya'nın Yeni Turan'ı kendi emeğiyle meydana gelen bir eser olarak gördüğünü göstermektedir. Oğuz'u tanımlarken tekrarladığı "*benimle beraber*" sözü de aralarındaki ilişkinin ortak düşünce ve çalışma üzerine kurulduğunu belirtir. Bu anlatımda Kaya, sevdiği erkeğin idealine sonradan katılan bir kişi değildir; aynı geleceği onunla birlikte tasarlayan ve gerçekleştirmeye çalışan bir ortaktır. Dolayısıyla Kaya'nın aşkını siyasal kimliğinden ayırarak değerlendirmek, kendi sözlerinde kurduğu bu bütünlüğü gözden kaçırmak olacaktır. Ne var ki ortak ideal ile kişisel mutluluğun birlikte düşünülmesi, çatışma ortaya çıktığında hangisinin önceleneceği meselesini de beraberinde getirir. Kaya, aynı konuşmada şu değerlendirmeyi yapar:

"*Eğer sizin dediğiniz gibi inansam ki ben Yeni Turan için Oğuz'dan çok lazımım. Canımı yerinden koparmak demek olacak olan onun ölümüne razı olurdum. Çünkü, çünkü o kendisinin hayatını kurtarmak için Yeni Turan'a zarar verirsem beni hiç affetmez. Fakat inanıyorum ki, iman ediyorum ki Oğuz'un hayatı Yeni Turan için her şeyden ziyade lazımdır. İşte bu, bu bana her şeyi yaptırabilir*." (Halide Edib, 1329, s. 65).

Bu sözler, Kaya'nın kararını yalnızca sevdiği erkeği kurtarma isteğiyle açıklamanın yetersiz olduğunu gösterir. Kaya, kendisinin ve Oğuz'un hayatını Yeni Turan için taşıdıkları önem üzerinden değerlendirmektedir. Bununla birlikte kendi varlığının hareket bakımından değerini Oğuz'unkinin gerisine yerleştirmesi de dikkat çekicidir. Hamdi Paşa'nın Kaya'yı belirleyici güç olarak görmesine karşılık, Kaya, Oğuz'un devamlılığını önceler. Bu farklılık, hangi kişinin hareket için gerçekten daha önemli olduğunu kesin olarak belirlemez; ancak Kaya'nın kendisinden beklediği fedakârlığın nasıl gerekçelendirildiğini gösterir.

Enginün de Kaya ile Oğuz'un ortak ideal içindeki yerini "*O Oğuz'la maksadın iki parçasını teşkil eder, birbirlerine olan aşkları, maksatlarının yanında sönük kalır*" cümlesiyle açıklar (Enginün, 1995, s. 177). "*Maksadın iki parçası*" ifadesi, Kaya'nın düşünsel ve toplumsal failliğini Oğuz'la birlikte kurulan bir bütünün içinde değerlendirmeye imkân verir. Aynı cümlenin devamı ise bu ortaklığın kişisel hayattaki bedeline işaret etmektedir. Birlikte kurdukları ideal, aralarındaki bağı güçlendirirken aşklarının bağımsız bir değer olarak yaşanabileceği alanı da daraltmaktadır.

Evlilik kararının hangi bilgi ve şartlar içinde alındığı, bu noktada belirleyicidir. Asım'ın itirafı, Kaya'nın bilmediği bir durumu okura açıklar: "*Kaya gelmeden evvel harbiye nazırıyla münakaşâtı arasında amcamın Oğuz*

Bey'i tahliyeye öteki arkadaşlarıyla beraber yaklaşmakta olduğunu biliyordum. Fakat bunu bilmeyen ve Oğuz Bey'in hayatını her bahaya satın almak isteyen Kaya'ya neler yaptırılmazdı!" (Halide Edib, 1329, s. 61).

Bu bilgi, pazarlığın eşit şartlar altında gerçekleşmediğini ortaya koyar. Kaya, Oğuz'un hayatının evlilik kararına bağlı olduğunu düşünürken, Hamdi Paşa tahliye ihtimaline dair bildiklerini saklamaktadır. Dolayısıyla Kaya'nın karar verebilme gücü bütünüyle ortadan kalkmış değildir; ancak kararının dayandığı bilgi, karşısındaki kişi tarafından sınırlandırılmıştır. Burada irade göstermekle özgür şartlarda seçim yapmak arasında ayrım yapmak gerekir. Kaya'nın kararının ağırlığını üstlenmesi, bu kararın aldatma ve tehditle biçimlendirildiği gerçeğini ortadan kaldırmaz.

Kaya'nın kararını değerlendiren Enginün, "*Kaya bu davranışıyla da kendi başına karar veren, yeni bir kadın tipi ortaya koyar*" der (Enginün, 1995, s. 179). Bu tespit, evlilik kararının sorumluluğunu üstlenen kadın iradesini görünür kılar. Bununla birlikte kararın Kaya tarafından verilmesiyle karar verme şartlarının onun tarafından belirlenmesi aynı şey değildir. Enginün'ün vurguladığı irade gücü, Asım'ın sakladığı bilgiyle birlikte okunduğunda, Kaya'nın hem eyleyen hem de eyleminin seçenekleri daraltılan bir kişi olduğu anlaşılır. Bu sebeple söz konusu karar, kadın kahramanın gücünü ortaya koyarken özgürlüğünün sınırlarını da açığa çıkarmaktadır.

Hamdi Paşa'nın aşk söylemi de bu eşitsizliği gidermemektedir. Kaya, Paşa'nın duygularını ileri sürmesine karşı şu itirazda bulunur: "*Rica ederim, bir kere bu lakırdıyı kesiniz. Bu gaddar, bu işitilmemiş şeye bir de his mazereti, aşk mazereti karıştırmayınız*." (Halide Edib, 1329, s. 64).

Kaya'nın bu cümlesi, yaşadığı baskıyı adlandırabildiğini ve ona sunulan gerekçeyi kabul etmediğini gösterir. Evliliğe razı olması, Paşa'nın davranışını meşru bulduğu anlamına gelmez. Romanın kadın kahramanı, içine sürüklendiği durumu görür; ancak kurtarmak istediği hayat ve korumak istediği ideal sebebiyle kendisi için ağır sonuçlar doğuracak bir karar verir. Bu bakımdan evlilik, Kaya'nın failliğinin tamamen kaybolduğu bir an olarak değil, iradesinin kendisine karşı kurulmuş şartlar içinde işlemeye zorlandığı bir kırılma olarak değerlendirilmelidir.

Evlilik sonrasında Kaya'nın toplumsal faaliyetlerini sınırlı da olsa sürdürmesi ve kadınların eğitimde eşitliğini engelleyen Hamdi Paşa'ya karşı tavır alması, düşünsel bağlılığını koruduğunu gösterir. Eğitim kanunlarına yönelik muhalefetin ardından odasını ayırması, kamusal bir kararın özel hayattaki ilişkiye doğrudan yansıdığı bir sahnedir. Hamdi Paşa'nın bu tavrı "*kadın tahsilindeki muhalefetin intikamı*" olarak adlandırması kendi yorumudur; anlatılan davranış ise Kaya'nın eşinin siyasal tutumunu evlilik ilişkisinden ayrı değerlendirmediğini göstermektedir (Halide Edib, 1329, s. 136-137). Böylece evlilik, kadın kahramanın bütün itirazlarını susturan bir kurum hâline gelemez.

Çalışlar, Kaya'nın siyasal etkisini *"Solgun yüzlü Kaya, hem muhalefet, hem de iktidar partisini arkadan yönetiyordu"* sözleriyle değerlendirir (Çalışlar, 2010, s. 101). Bu yorum, kadın kahramanın tesirinin kendi siyasal

çevresiyle sınırlı kalmadığını düşündürmektedir. Ancak *"arkadan yönetme"*yi resmî bir yetkiyle aynı anlamda almamak gerekir. Kaya'nın Oğuz'la ortak düşünce ve çalışmaya dayanan ilişkisiyle Hamdi Paşa'nın kararlarını evlilik içindeki tavrıyla etkilemesi, farklı nüfuz biçimleridir. Kadınların eğitimine ilişkin sahne, bu etkinin siyasal sonuç doğurabildiğini gösterirken Kaya'nın iradesinin hangi ilişkilere bağlı olarak karşılık bulduğunu da açığa çıkarır. Dolayısıyla siyasal kararları etkileyebilmesi, kendi hayatı üzerindeki müdahaleleri ortadan kaldırmaya yetmemektedir.

Bununla birlikte romanın sonlarına doğru bilgi üzerindeki denetim yeniden belirleyici olur. Oğuz'un vurulduğunun Kaya'dan saklanması, onun olayları öğrenerek karar vermesini engeller. Bu müdahale, evlilik pazarlığındaki bilgi eşitsizliğinin devamıdır. İlkinde tahliye ihtimalinin saklanmasıyla Kaya'nın kararı yönlendirilmiş; ikincisinde Oğuz'un durumunu öğrenmesi önlenerek onun yanına gitme imkânı ortadan kaldırılmak istenmiştir. Dolayısıyla Kaya'nın hareket alanı yalnızca fiziksel olarak kapatıldığı evle sınırlanmaz; dünyada olup bitenlerden haberdar olabilmesi de denetlenir.

Asım'ın Oğuz'un ölüm döşeğinde verdiği cevap, bu denetimin ahlâkî ağırlığını daha da artırır. Oğuz, Kaya'nın kendisini kurtarmak için evlenip evlenmediğini sorduğunda, hakikati bilen Asım şu cevabı verir:

"*_Ben, ben... bu mesele hakkında benim hiçbir malumatım yok.*

_Yemin eder misiniz?

_Ederim!" (Halide Edib, 1329, s. 178).

Bu yalan, Kaya'nın yaptığı fedakârlığın Oğuz tarafından anlaşılmasını engeller. Böylece kadın kahraman kendi kararının anlamını sevdiği kişiye ulaştıramadığı gibi, bu anlamı açıklayabilecek tanık da susmayı seçer. Asım'ın gerekçesi, Kaya'nın Oğuz'un yanına giderse Hamdi Paşa'ya dönmeyeceği endişesidir. Dolayısıyla iki kişinin birbirine ulaşması, üçüncü bir kişinin kaybını önlemek amacıyla engellenmektedir. Anlatıcının ileride duyacağı pişmanlık, o anda korumayı seçtiği ilişkiyi ve feda ettiği hakikati değiştirmez.

Romanın kurduğu idealin sınırlarını değerlendirirken Oğuz'un sözlerine de aynı dikkatle yaklaşmak gerekir. Oğuz, hapishanede belirginleşen duygularını anlatırken "*Ömrümde ilk defa en büyük ve samedânî şey Kaya'yı sevmek, Kaya'nın sahibi olmak olduğunu duydum*" der (Halide Edib, 1329, s. 176). Buradaki sahiplik ifadesi, Hamdi Paşa'nın davranışlarıyla Oğuz'un ilişkisini aynılaştırmak için yeterli değildir. Ancak kadınla arkadaşlığı ve ortak çalışmayı savunan idealist kahramanın dilinde de sahip olma arzusunun bulunması, eşitlik tasavvurunun bütün gerilimlerden arınmış olmadığını düşündürür. Romanın feminist yorumu, kadın kahramanın karşısındaki siyasal rakibin baskısını incelerken idealize edilen erkek kahramanın söylemini de değerlendirme dışında bırakmamalıdır.

Kaya'nın son karşılaşmada Hamdi Paşa'ya yönelttiği sözler, hem kişisel acısını hem de yaşananların siyasal sebeplerine dair yorumunu içerir. Oğuz'un öldürülmesini yalnızca silahı kullanan kişinin eylemiyle

açıklamaz: "*Onun hayatını almak için senelerce alçak, adi bir tezvirle inanmadığın mukaddes bir şeyi alet ederek onu vuracak taassup silahını hazırlamadın mı?*" (Halide Edib, 1329, s. 185).

Bu suçlama, Kaya'nın yaşadıklarını siyasal propaganda ile şiddet arasındaki ilişki üzerinden değerlendirdiğini gösterir. Burada Hamdi Paşa'nın fiilen ateş ettiğini ileri sürmekten ziyade, saldırıyı mümkün kılan düşmanlığın hazırlanmasındaki sorumluluğu öne çıkarılmaktadır. Kaya, kendisini aldatan eşine hesap sorarken siyasal hayatı zehirleyen yöntemi de adlandırır. Dolayısıyla son sahnedeki öfkesi, düşünsel ve siyasal değerlendirme gücünün kaybolduğu bir taşkınlık olarak okunmamalıdır.

Aynı konuşmada Kaya, şimdiye kadar toplumsal idealin içinde ifade ettiği kişisel arzusunu da açıkça dile getirir: "*Ben nasıl işitilmemiş bir hasret ve mahrumiyetle onun hayatı için aşkımı feda ettim! Bilir misin? Bilemezsin!*" (Halide Edib, 1329, s. 186).

Bu sözler, fedakârlığın kadın kahramanın iç dünyasında bıraktığı kaybı görünür kılar. Kaya'nın büyüklüğü uğruna vazgeçtiklerini önemsizleştirmez; aksine vazgeçişin bedelini kendi ağzından duyurur. Dolayısıyla onu yalnızca millet için yaşayan bir sembol olarak değerlendirmek, romanın sonunda belirginleşen hasretini ve kişisel mutluluk talebini eksik bırakacaktır. Roman, kadının toplumsal sorumluluğunu yüceltirken bu sorumluluk uğruna kaybettiği hayatın acısını da anlatmaktadır.

Enginün'ün ferdî saadetle toplumsal amaç arasındaki ilişkiye dair hükmü, bu kaybın değerlendirilmesinde yol göstericidir. Araştırmacı, maksadını ferdî saadetinin önünde tutan kişilerin bedbahtlığı üzerinde durduktan sonra "Asıl olan ikisini birlikte gerçekleştirmektir" der (Enginün, 1995, s. 159). Bu hüküm, fedakârlığın büyüklüğünü teslim ederken kişisel mutluluğun kaybını idealin zorunlu ve olumlu bir sonucu saymamayı gerektirir. Kaya'nın son sözlerinde duyulan hasret, toplumsal ülkünün değerini ortadan kaldırmaz; fakat kadın kahramanın kendi hayatından vazgeçmesinin de sorgulanmadan yüceltilemeyeceğini gösterir.

Kaya'nın evden ayrılırken söylediği sözler ise kişisel kopuşu Yeni Turan'a yeniden katılma iradesiyle birleştirir: "*_Şimdi artık öldürdüm zannettiğin Oğuz'un Yeni Turan'ını öksüz bıraktım; anasız evlatsız bıraktım zannetme; ben bu murdar mahbese, kendi ihtiyarımla, verdiğim söze esir olarak kapandığım eve ayağımın tozunu silkip işte gidiyorum*." (Halide Edib, 1329, s. 187).

"*Kendi ihtiyarımla verdiğim söze esir*" ifadesi, Kaya'nın yaşadığı çelişkiyi kendi diliyle özetler. Verdiği kararın sorumluluğunu üstlenmesi, bu kararın onu esir eden sonuçlarını görmesine engel olmamaktadır. Ayrılışı, bu bağlılığı sona erdiren bir eylemdir. Ancak gideceği yönü Yeni Turan'ın "*öksüz*" ve "*anasız*" kalmaması üzerinden açıklaması, önceki bölümde değerlendirilen toplumsal annelik düşüncesini yeniden öne çıkarır. Kaya, kendisini baskı altında tutan ilişkiden çıkarken topluma karşı sorumluluğunu sürdürmektedir.

Roman, Kaya'nın bundan sonraki faaliyetlerini anlatmaz. Bu sebeple sonunu, bütün engellerin aşıldığı ve kadınların eşitliğinin tamamlandığı bir düzenin gerçekleşmesi olarak değerlendirmek mümkün değildir. Kaya'nın

ayrılışı bir eylem imkânını yeniden açar; fakat uğradığı kayıpları geri getirmez. Ütopyacı gelecek, tamamlanmış bir sonuçtan ziyade, ağır bir yıkımın ardından devam ettirilmek istenen bir amaç olarak kalır.

Asım'ın son cümlesi de bu açık kalan geleceği kendi anlatma amacıyla birleştirir: "*Bugün bunlardan uzak ölüyorum. Fakat Yeni Turan'ın anası büyük Kaya'nın niçin Hamdi Paşa ile evlenip dört sene beraber yaşadığını tarihe tenvir etmiş olmak hissi hayatımın yegâne tesellisi!*" (Halide Edib, 1329, s. 188).

Anlatıcı, zamanında sakladığı hakikati ölümüne yaklaşırken açıklayarak Kaya'nın kararının tarih içinde yanlış anlaşılmasını önlemek ister. Bununla birlikte son sözün yine Asım'a ait olması, Kaya'nın hayatının okura onu engellemiş bir erkeğin itirafıyla ulaştığını hatırlatır. Romanın anlatı yapısı bu bakımdan çift yönlüdür: Asım'ın anlatımı Kaya'nın uğradığı haksızlığı açığa çıkarırken, kadının hayatının anlamlandırılması üzerindeki erkek aracılığını da görünür kılar.

Bütün bu örnekler, Kaya'nın failliğinin sahip olduğu güçle karşılaştığı engeller birlikte değerlendirilerek anlaşılabileceğini göstermektedir. Kaya, idealini kuran, savunan, karar veren ve sonunda kendisini bağlayan ilişkiden ayrılan bir kişidir. Ancak kararlarının dayandığı bilginin saklanması, kamusal yetkinin kişisel arzu için kullanılması ve fedakârlığının başkaları tarafından anlamlandırılması, bu gücün kullanımını sınırlandırır. Dolayısıyla *Yeni Turan*'ın feminist ütopya yönü, güçlü bir kadın kahraman ortaya koymasının yanında, bu gücün tek başına özgürlüğü güvence altına alamadığını göstermesinde de aranmalıdır. Roman, kadınların toplumu kurabilecek kudretini görünür kılarken kendi hayatlarını belirleyebilmeleri için aşılması gereken siyasal, ahlâkî ve kişisel engelleri de olay örgüsünün merkezine yerleştirmektedir.

6. SONUÇ

Halide Edib'in *Yeni Turan* romanında kadınların konumu, II. Meşrutiyet döneminin toplumsal ve siyasal arayışlarıyla birlikte değerlendirildiğinde, kadın meselesinin tasavvur edilen geleceğin kurucu unsurlarından biri olduğu görülmektedir. Roman; kadının eğitimi, çalışma hayatına katılması ve toplumsal meselelerde söz sahibi olması yönündeki talepleri, bu taleplerin karşılık bulduğu kurumlar ve kişiler aracılığıyla somutlaştırır. Bu doğrultuda kadınlar, kurulması arzu edilen düzenin kendilerine sağlayacağı imkânlardan yararlanan fertler olmalarının yanında, söz konusu düzeni meydana getiren faaliyetlerin de yürütücüleridir. Dolayısıyla *Yeni Turan*'ın feminist ütopya yönü, kadınların gelecekteki konumuna dair temennilerin ötesinde, onların toplumu dönüştürme iradesini ve bu iradenin karşılaştığı engelleri birlikte anlatmasında belirginleşmektedir.

Bildiri kapsamında incelenen çalışma ve dayanışma faaliyetleri, kadınların kamusal hayattaki etkinliğinin farklı toplumsal ihtiyaçlara cevap verdiğini göstermiştir. Öğretmenlik, hastabakıcılık, üretim ve ihtiyaç sahiplerine yönelik yardımlar, kadın emeğini gündelik hayatın devamlılığında ve iyileştirilmesinde belirleyici kılar. Bu faaliyetlerin örgütlü ve yaygın bir nitelik kazanması, kadınların toplumla kurduğu ilişkinin sürekliliğini sağlar. Nitekim Yeni Turan düşüncesinin halk tarafından benimsenmesinde kadınların hizmetlerinin etkili olması,

toplumsal yararlılıkla siyasal meşruiyet arasındaki bağı ortaya koymaktadır. Bununla birlikte kadınların çalışması, kendi başına iktisadî bağımsızlığın veya hayatları üzerinde serbestçe karar verebilmenin sağlandığını göstermez. Kaya'nın evlilik sonrasındaki faaliyetlerinin sınırlandırılması ve emeğinin iradesi dışında başka bir siyasal çevreye mal edilmesi, kamusal görünürlükle özgürlük arasındaki mesafenin devam ettiğini düşündürmektedir.

Eğitim meselesinde de birbirini tamamlayan, ancak aynı anlama gelmeyen iki yön bulunmaktadır. Kadınlar bir taraftan eğitilerek toplumsal hayata katılmakta, diğer taraftan öğretmen ve mürebbi olarak başkalarının yetişmesinde sorumluluk almaktadır. Cuma mektepleri, bu karşılıklı ilişkinin kurumsal biçimini meydana getirir. Çocukların ahlâkî, zihinsel ve pratik gelişimini birlikte gözeten eğitim anlayışı, maddi imkânsızlıklar sebebiyle mektebe gidemeyenlere de ulaşarak toplumsal dayanışmayla birleşir. Ne var ki kadınların eğiticiliğinin kabul görmesi, erkeklerle eşit tahsil imkânına sahip olmalarının da aynı ölçüde benimsendiği anlamına gelmez. Eğitimde eşitliğe yönelik tekliflerin siyasal mücadeleye konu olması, kadınların topluma hizmet eden konumlarıyla kendi gelişimleri için talep ettikleri hakların farklı biçimlerde karşılanabildiğini göstermektedir.

Kadınların eğiticiliğinin annelikle ilişkilendirilmesi, romanın kadın tasavvurunun bir diğer önemli yönüdür. Annelik, çocuğun bakımı ve yetiştirilmesiyle sınırlı bir aile görevi olmaktan çıkarak bütün memlekete yönelen koruma, yetiştirme ve yol gösterme sorumluluğuna dönüşür. Bu toplumsal annelik anlayışı, kadınların kamusal hayattaki yerini meşrulaştıran bir imkân sunar. Bununla birlikte aynı anlayış, kadının değerini başkaları için yaptıklarıyla ölçen bir beklentiyi de beraberinde getirebilir. Dolayısıyla romanda anneliğin toplumsal alana genişlemesi, kadınların hareket alanını açan yönü kadar, onlara yüklediği sorumluluklar bakımından da değerlendirilmelidir. Kadının kendi hayatına ilişkin arzu ve tercihleriyle toplum için üstlenmesi beklenen görevler arasındaki ilişki, feminist ütopyanın sınırlarını belirleyen başlıca meselelerden biridir.

Halide Edib'in "*Quaker*" çevresine ilişkin hatıraları, bu kadın idealinin oluşmasında farklı bir kültürel tecrübenin de etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sadelik, cemiyet sevgisi ve ciddi bir hayat terbiyesi, Yeni Turan kadınlarının görünüşleri ve faaliyetleriyle ilişkilendirilebilecek niteliklerdir. Ancak bu etkiden hareketle romandaki kurumları bütünüyle başka bir modelin tekrarı olarak değerlendirmek mümkün değildir. Yazarın gözlemlediği örnekler, romanda farklı toplumsal ihtiyaçlara ve Türk-İslâm çevresinin değerlerine göre yeniden anlam kazanır. Bu bakımdan "*Quaker*" etkisi, Yeni Turan idealinin oluşumunda seçilerek yararlanılan ve dönüştürülen bir tecrübe olarak değerlendirilebilir.

Romanın kadınlara açtığı imkânlarla bu imkânların sınırları, en belirgin biçimde Kaya'nın hayatında bir araya gelmektedir. Kaya, Yeni Turan düşüncesini Oğuz'la birlikte geliştiren, ona şekil veren ve gerçekleşmesi için çalışan bir kurucu öznedir. Siyasal rakibinin bile onun etkisini teslim etmesi, bu konumun anlatı içindeki önemini kuvvetlendirir. Ancak Kaya'nın gücünün tanınması, iradesine saygı gösterilmesini sağlamaz. Hamdi

Paşa'nın kamusal yetkisini kişisel arzusu için kullanması, bilgiyi saklaması ve Oğuz'un hayatını bir pazarlığın konusu hâline getirmesi, Kaya'nın karar verme şartlarını daraltır. Dolayısıyla onun fedakârlığını değerlendirirken irade göstermekle özgür şartlarda seçim yapmak arasındaki ayrımı korumak gerekir. Kaya'nın verdiği kararın sorumluluğunu üstlenmesi, bu kararın aldatma ve tehditle biçimlendirildiği gerçeğini ortadan kaldırmamaktadır.

Asım'ın anlatıcı konumu da bu değerlendirmeyi derinleştirir. Yaşanan haksızlıklara katılan bir kişinin sonradan bunları açıklaması, kadın kahramanın uğradığı müdahaleleri görünür kılarken anlatıcının kendisini nasıl anlamlandırdığını da ortaya koyar. Bu sebeple Asım'ın pişmanlığıyla geçmişteki davranışları, Kaya'ya ilişkin hayranlığıyla onu değerlendirme ölçüleri birlikte ele alınmalıdır. Romanın sonunda hakikatin açıklanması, Kaya'nın hayatını tarih karşısında anlaşılır kılma çabasıdır; ancak zamanında saklanan bilginin meydana getirdiği kayıpları gidermez. Böylece anlatı, kadının kendi kararının anlamını başkalarına ulaştırabilmesinin de failliğinin önemli bir boyutu olduğunu göstermektedir.

Kaya'nın son sahnede evden ayrılması, kendisini bağlayan ilişkiyi sona erdirerek yeniden hareket etme iradesini ortaya koyar. Bununla birlikte roman, onun bundan sonraki hayatını ve Yeni Turan'ın geleceğini tamamlanmış bir başarı olarak anlatmaz. Kişisel kayıp ile toplumsal amacı sürdürme kararlılığı aynı sonda birlikte bulunmaktadır. Dolayısıyla eserin feminist ütopya yönünü, bütün eşitsizliklerin aşıldığı kusursuz bir düzenin gerçekleşmesinde aramak yerine, kadınların hayatını değiştirebilecek imkânların ve bu imkânları engelleyen ilişkilerin birlikte görünür kılınmasında aramak daha isabetlidir. Bu bildiri çerçevesinde ulaşılan temel sonuç, *Yeni Turan*'ın kadınların toplumu kurabilecek kudretini ortaya koyarken, bu kudretin kendi hayatlarını özgürce belirleyebilmeleri için tek başına yeterli olmadığını da göstermesidir. Bu yönüyle roman, II. Meşrutiyet'in kadınlara dair gelecek arayışını, kurucu irade ile fedakârlık, toplumsal sorumluluk ile kişisel mutluluk ve kamusal etkinlik ile bireysel özgürlük arasındaki ilişkiler içinde edebî bir mesele hâline getirmektedir.

KAYNAKÇA

Adıvar, Halide Edib (2007). *Mor Salkımlı Ev*. İstanbul: Can Yayınları.

Argunşah, Hülya (2015). "Halide Edip'te Değişen Kadının Romandaki İzdüşümleri: Seviyye Talip'ten Ateşten Gömlek'e". *Türklük Bilimi Araştırmaları*, 37, 27–52.

Berkes, Niyazi (2003). *Türkiye'de Çağdaşlaşma*. Yayına hazırlayan: Ahmet Kuyaş. 4. baskı. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.

Çalışlar, İpek (2010). *Halide Edib*. İstanbul: Everest Yayınları.

Enginün, İnci (1995). *Halide Edip Adıvar'ın Eserlerinde Doğu ve Batı Meselesi*. İstanbul: Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.

Halide Edib (1329 [1913]). *Yeni Turan*. İstanbul: Türk Yurdu Kitaphanesi, Tanin Matbaası.

İldeş, Özgür (2026). "The Political Imagination of the Second Constitutional Era in Halide Edib Adıvar's Yeni Turan: Utopia and the Decentralist Design of the Future". *Türkbilig*, 51, 457-480.

Lewis, Bernard (1998). *Modern Türkiye'nin Doğuşu*. Çeviren: Metin Kıratlı. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları.

Orlovskaia, Anastasiia (2024). "New Type of Woman Character 'Patriot-Woman' in the Novel by Halide Edip Adıvar 'Yeni Turan' ('New Turan')". *Türkoloji Dergisi*, 26(2), 77-85.

Şahin, Veysel (2013). "Halide Edip Adıvar'ın 'Yeni Turan' Romanını Yeniden Anlam(landırm)a". *Erdem*, 64, 103–122.

Uyguner, Muzaffer (1968). *Halide Edib - Hayatı, Sanatı, Yapıtları*. İstanbul: Varlık Yayınları.

Vieira, Fátima (2018). "Ütopya Kavramı". *Ütopya Edebiyatı*. Hazırlayan: Gregory Claeys. Çevirenler: Zeynep Demirsü ve Damla Göl. İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 3-35.

Yücebaş, Hilmi (1964). *Bütün Cepheleriyle Halide Edib Adıvar*. İstanbul: İnkılap ve Aka Kitabevleri.

Zürcher, Erik Jan (1996). *Modernleşen Türkiye'nin Tarihi*. 2. baskı. İstanbul: İletişim Yayınları.

AN ANALYSIS OF A HAIKU POEM ABOUT IKEBANA BY ALVIN B. CRUZ

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: "ikebana --/ the widow removes/ one lily," written by Alvin B. Cruz (from Manila, Philippines) and published in The Mainichi Japan on September 10, selected by Dhugal J. Linday. This haiku poem relies on the structure of juxtaposition, which refers to the combination between the two parts of the poem. The two parts of the poem are situated in a relationship of contrast, tension, and similarity. In the case of this poem, the ikebana can be considered to be defined by the second part of the poem. The ikebana is defined by association with the scene of a widow removing one lily. This creates an image of absence, of loss. There is someone missing in the widow's life, and she expresses this feeling in the way in which she creates the ikebana. The ikebana becomes an external element which offers visual insight, symbolically, into the widow's inner world. The Zen Buddhist philosophy of ephemerality and loss is expressed in this poem, and the ikebana becomes a means of showing it visually. For Zen Buddhism, accepting loss as part of life becomes an important element of meditation. The methodological framework is composed of psychology and psychoanalysis.

Keywords: Juxtaposition, free associations, kigo

1. INTRODUCTION

The haiku poem is known to the Western culture members mostly for its 5-7-5 syllable and three lines format, together with its including a seasonal reference (kigo in Japanese). This is the traditional, or classic haiku format. This is the one usually mentioned in literary dictionaries and history of literature books. However, once we go deeper into the study of the haiku poem, which is done in online and offline haiku communities, we can discover that there has been, in Japanese culture, a Free Haiku Movement led by Seisensui Ogiwara (1884–1976) (Kimura, 2022), which marked the appearance of the modern haiku format, with a variable number of syllables and sometimes even no seasonal reference. The modern haiku format is not specific to Western haiku poets. However, for Western poets, the authentic Japanese haiku format remains the fixed form, classical one. Experimentalism is associated with the Western culture, and in this sense the Japanese culture is perceived by Westerners as more conservative and traditionalist.

Atanasiu (2026) claims that it was precisely the experimental mood that allowed for openness of the Western world towards the Japanese haiku poem. Openness towards new ways of perception and towards other cultures has facilitated the adoption and practice of the haiku poem in the Western world. We can think about Modernist poet Ezra Pound and his attempt at writing haiku in his short poem *In a Station of the Metro*.

The haiku poem is separated by a cutting line (*kireji* in Japanese). It was the introduction of the *kireji* by Shiki which marked the way towards the authentic haiku poem, made up of two distinct parts, syntactically, and which are, at the level of ideas and images, in a relationship of tension, connection, contrast and comparison at the same time or in turn function of the types of haiku poems. Previously, in Atanasiu's (2026) perspective, the haiku written by Basho was mostly descriptive and not based on juxtaposition. Juxtaposition, the most famous mechanism of the haiku poem for Western culture members, means that readers can notice contradictions or oppositions between the two parts while, at the same time, they can make connections between the two parts based on the allusions carried by the ideas and visual images. Some haiku poems use juxtaposition in order to create a figure of speech known as comparison in Western lyrical poetry, but which is not directly mentioned; instead, it is left to be reconstructed and implied by the readers. For Atanasiu (2026), the network of allusions is highly important in creating and understanding a valuable haiku poem.

The haiku poem is a highly complex poem, which may seem surprising once literary dictionaries and literary history books present it in a reductive form, as a poem about nature, which is very short, and which has a fixed format. Its mechanisms and types are highly varied, to the point where it is difficult to even give a definition of the haiku poem. What a haiku poem is depends on the way in which readers understand each and every haiku poem. We cannot speak about the haiku poem in the absence of a particular example of a haiku poem. This is why commenting haiku poems that we like is part of the usual activities in online haiku communities, in particular

the community led by Atanasiu, called Romanian Kukai, and whose activity is centered especially in the haiku group Autori de Haiku din Romania (Haiku Authors of Romania). Here, Atanasiu analyses poems belonging to the authors that are members in his group, but not only. He also pays attention to larger international trends in writing haiku poems and to activities belonging to other Romanian haiku authors' groups, societies, and associations.

1.1. Theoretical Framework

The analysis of the haiku poem by Cruz is based on theoretical frameworks related to the haiku poem, psychology, and psychoanalysis. The theoretical perspectives on the haiku poem rely, mainly, on the following works: Corneliu Traian Atanasiu's *Un cerc de linguri (A Circle of Spoons), Dialog protocolar cu margareta (A Formal Dialogue with the Daisy)*, and *Prin sindrila sparta fan din Carul Mare* (*Through the broken shingles, hay from the Big Dipper*) together with and Șerban Codrin's S*tâlpi de felinar (Streetlight Poles)*. These works present elements that are part of the mechanisms of the haiku poem. In addition, the Zen Buddhist mindset (Ross, 2007), suggested by death and loss, suggest the ephemerality of everything in this world. Furthermore, the free associations process from psychoanalytic sessions (Freud et al, 2016) can be relevant, since the ikebana can be associated by the poetic persona with the widow removing one lily from it, thus offering further insight into the mechanism of the haiku poem. In addition, processing loss under the form of the death of a meaningful, dear person can also be understood from the psychoanalytic perspective, in particular based on Freud's theory of mourning, which refers to coming to terms with such a loss through grief work stages, from denial to gradual acceptance.

2. MATERIALS AND METHODS

The following haiku poem has been chosen for analysis in this paper: "ikebana --/ the widow removes/ one lily," written by Alvin B. Cruz (from Manila, Philippines), published in The Mainichi Japan on September 10, and selected by Dhugal J. Linday.

Cruz's poem situates the Japanese art of floral arrangement next to an act of removal: "ikebana — / the widow removes/ one lily." The scene is immediately pictured and understood, yet its emotional significance is not directly stated. The poem does not mention the identity of the deceased, the occasion, the widow's feelings, and the final appearance of the arrangement. Those omissions allow the widow' gesture to acquire symbolic meaning. Through juxtaposition, the poem changes a simple action into a meaning or meanings expressed indirectly.

In this haiku poem, the missing lily does not simply stand for the dead spouse. The poem illustrates absence by the act of removing one lily from the ikebana. The arrangement and the widow's psychological reality complete one another: the flower arrangement is changed by the removal of the lily, and the widow' self is reorganized by her husband' irreversible absence. This interpretation relies on Atanasiu's (2023; 2026) accounts of allusive

language, ellipsis, correspondences, reader cooperation, and juxtaposition, on Codrin's (2018) account of the haiku as an objective, symbolic, and paradoxical poem.

The haiku poem relies on laconic and allusive language. In *Un cerc de linguri*, Atanasiu (2023) defines the characteristic language of the haiku poem as allusive, since connotation and suggestion replace direct communication. Fragmentation, omission, and ellipsis replace explicitly expressed grammatical connections and invite the reader to fill in the information that the text only suggests. This is particularly relevant to Cruz's poem because it does not contain the words *death, husband, grief, memories* and *absence*. Its emotional message is created by the interaction of the words *widow*, *removes*, and *one lily*, followed by what they suggest to readers and how they allow readers to make a coherent picture and meaning.

Atanasiu's (2023; 2024; 2026) distinction between shortness and laconism of the text is also essential. A text is not meaningful only because it is short. The haiku' levels of meaning depend on minimalism, allusions, and the capacity of concrete, visual elements to create a deeper perspective (Atanasiu, 2023; 2024; 2026). The haiku poem is laconic and enigmatic, requiring active reader participation, and not passive reception. Cruz's haiku needs an analysis of what the poem activates in the imagination of the readers, not only of what it directly states.

Codrin (2018) describes the haiku as an objective, suggestive, symbolic, and paradoxical poem. This can be applied as a warning in the case of the poem by Cruz: readers should not look at this poem as if it were a simple report about flower arranging. The action remains commonplace, but its minimalism and presentation allow it to move beyond the descriptive level.

Regarding juxtaposition, Atanasiu (2026) treats it not as simple punctuation mark but as a clear interruption between the two autonomous textual parts. These parts may refer to different realities; their relation is not syntactically explained but discovered as a correspondence (Atanasiu, 2023; 2024). The silent moment leads to the reader making a pause, to stop, to compare, and to infer meanings.

In Cruz's poem, the dash separates 'ikebana' from 'the widow removes/ one lily.' The first part names a Japanese artistic form, a flower arrangement, while the second presents an agent, an action, and an object. The cut prevents the ikebana from being just the result visible 'while arranging flowers.' Instead, the two parts face one another. Their relation includes similarity, because both are concerned with the organization of flowers. It also includes contrast, because the arrangement implies adding or ordering the flowers, while the verb 'removes' refers to a subtraction. In addition, it includes tension, because the aesthetics of the entire arrangement is achieved by making a loss visible through a visual image.

According to Atanasiu (2026), successfully juxtaposed phrases remain self-sufficient, while they strike against one another through correspondences and lead to unexpected effects and meanings. The widow's gesture leads to

the creation of this particular ikebana. The gesture is deliberate, not accidental. The lily can evoke ritual use, purity, funerary symbolism.

The ikebana is one example of how Zen Buddhist meditation is practised, based on reflections on impermanence, change, and loss. The widow in the poem by Cruz can be understood by readers as practising this philosophy as her gesture is likely accompanied by reflections. The ikebana turns plants and elements such as intervals, asymmetry, lines, and empty space into an ordered visual image.

Through the ikebana and the widow's gesture, the haiku is compatible with Buddhist reflections on impermanence because the flower is transient, the widow's status presupposes death, and the arrangement is changed through the removal of one lily. Through the ikebana, grief is suggested through an action rather than through directly communicated feelings. Impermanence is experienced in a visual form: the configuration of the ikebana changes, and the new configuration retains the trace of someone who is no longer present.

Freud's (1922) essay *Mourning and Melancholia* distinguishes healthy mourning from its pathological form, melancholia, describing mourning as a gradual psychological response to the loss of a loved object. Melancholia means losing all contact with the external world, and identifying oneself with the lost object. However, healthy mourning does not lead, eventually, to complete detachment from the loss, but only to a reduction of the intensity of feelings about the loss. Relationships with the dead persons can be preserved through memories and rituals. The widow's reaction to loss is visible in her dealing with the ikebana: she makes the ikebana reflect her emotional state. She represents loss in her ikebana, suggesting to readers that she is trying to come to terms with it, by accepting it. By removing one lily, she makes a representation of the world or of her own personal universe without her husband. She modifies the ikebana, reflecting the way in which her world has changed with her loss. She does not express how she feels about her loss in words, but in her work on the ikebana. Her ikebana suggests ephemerality, loss, and change.

Readers rely on a process similar to free associations when they interpret this poem, since one word or series of words and images lead to others. The allusions attached to words and images function similarly to the process of free associations in psychoanalytic sessions. Readers, as a result, develop the contents and meaning of the poem. The analysis of the haiku poem by Cruz consists of a close-reading model that uses evidence found in the text which leads to further interpretation.

3. RESULTS

The kireji has the role of creating a clear division between the two parts of the poem. The kireji neither explains nor joins them syntactically. In Atanasiu's (2023; 2024; 2026) terms, the interruption leads to silence and forces the reader to discover a correspondence. At first, the ikebana appears to name the subject of the poem. After the cut, the widow's action specifies what kind of arrangement it: one shaped by loss and grief.

The removal of the lily lies at the centre of the poem. The verb *to remove* presupposes that the lily belongs to an existing configuration of the arrangement and that the configuration changes when it is taken away.

The use of the numeral *one* shows an isolation of the removed flower. In addition, it implies that there are other flowers that remain. There is a further layer of meaning: one irreplaceable person is permanently absent, while life and other relations continue.

The lily is first a material object in a flower arrangement. Once removed, it may symbolize the deceased husband. In addition, its absence is visible only because it previously belonged to the arrangement.

For this poem, the reader completes the meaning, as no reason is given, directly expressed in words in the poem, for the removal. The widow might be improving the arrangement, or trying to come to terms with the death of her husband. The omission activates the reader's imagination.

3.1. Findings

The emotional content of the poem is expressed through the visual image of the removed lily, which symbolizes loss and grief. The ikebana represents the way in which the loss of a dear person changes the world, both external and internal, for the person grieving. The removed lily becomes a visual image of absence and the accompanying psychological emptiness. The experience of grief and loss can be explained using psychology, psychoanalysis, just as much as Zen Buddhist philosophy. The gradual reduction of the intensity of feelings related to the loss are suggested by all approaches, through mourning, grief work, and acceptance of the fact that this world is subject to change, that it is ephemeral, and that eventually we are going to lose everything and everyone we love. The ikebana is a visual image, and the haiku poem itself relies on visual images to express abstract concepts and reflections.

4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATION

Cruz's haiku poem achieves its emotional effect by making the removal of the lily and the feelings of loss and grief coincide. The action of removing a lily from the ikebana becomes, at a deeper level, a meditation on how life, objects, and the psychological world of the self are reorganized after experiencing loss. Grief is not described and not interpreted for the reader. It is visualized in the removal of the lily and in the imagined empty space left by the flower in the ikebana. The absent husband is not named, yet absence is felt all throughout the the poem based on the noun *widow*. This haiku exemplifies the allusive, elliptical, and cooperative reading model promoted by Atanasiu (2023; 2024; 2026) and Codrin (2018).

Atanasiu's (2023; 2024; 2026) concepts of autonomous parts, silence, allusive density, and correspondence describe the mechanics of Cruz's English haiku. Codrin's (2018) underlining that a good haiku must go beyond flat observation also clarifies why the poem's value cannot be reduced to the simple reporting of a flower-arranging act.

The concept of impermanence from Zen Buddhist philosophy is highly relevant because cut flowers fade, widowhood means death, and the arrangement changes. The attitude of the widow towards the loss is ambiguous and left to the readers' interpretation, regarding the stage of grief work she is in. Removal of the lily might mean acceptance of the loss, refusal, remembrance, anger, an attempt at self-control, etc.

REFERENCES

Atanasiu, C. T. (2023). Un cerc de linguri: Comentarii la poeme haiku de Șerban Codrin Denk. PIM Publsihing House.

Atanasiu, C. T. (2024). Dialog protocolar cu margareta: Haiku, comentarii instructive. PIM Publishing House.

Atanasiu, C.T. (2026). Prin sindrila sparta fan din Carul Mare. PIM Publishing House.

Codrin, Ș. (2018). Stâlpi de felinar: Antologie sezonală de poezie epigramatică haiku. Ex Ponto Publishing House, Romania.

Cruz, A.B. (2026). Haiku in English: Sept. 10, 2026. https://mainichi.jp/english/articles/20260825/p2g/00m/0su/032000c

Freud, S. (1922). Mourning and melancholia. The journal of nervous and mental disease, 56(5), 543-545.

Freud, S., Strachey, J., & Richards, A. (2016). Introductory lectures on psychoanalysis (Vol. 15, pp. 358-77). Harmondsworth: Penguin.

Kimura, T. (2022). Haiku and Modernism in Japan. Haiku, other arts, and literary disciplines, 234-246.

Ross, B. (2007). The essence of haiku. Modern Haiku, 38(3), 51-62.

İTKİN DÜŞƏN GERÇƏKLİYİN ƏHVALI, YAXUD MİFOLOJİ DÜŞÜNCƏDƏ GÖBƏKLİTƏPƏNİN SÜMER-ƏCDAD VARİSLİYİ

Google Akademik, PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ

ORCID: 0009-0001-1327-3425 ezimliebulfez@yahoo.com.tr Google Akademik, Dünya Sülh Səfiri; Nobel Prıze & Indıa- Birliyinin Yönətici üzvü; Qlobal Yazarlar Akademiyası üzvü-Hindistan; Türk Dünyası Vətəndaşlığı və Eyitimçilər Birliyi üzvü-Bişkek; TÜRKSOY üzvü; Mery`s Ange`ls İnternacional Qroup üvü; Poetas İntergaláctıcos-üzvü; World Peace Lıterature Academy-nin yönətici üzvü; Saib Təbrizi Elm Mərkəzinin üvü; Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin üzvü; Naxçıvan Dövlət Universiteti; Naxçıvan Müəllimlər İnstitutu-BÜTÖV AZERBAYCAN

ÖZƏT

Sumer-Əcdad Türk mitoloji düşünce modernizmi ve insan idrakının məzmun və badii forma kavrayışları- qədim dünya svilizasiyasının davamlı olan mədəniyyət nişanlarıdır. Tarixi sürəclərin yaşı və mədəni-mənəvi və iradi varlığının cahanşümul yansımalarıdır. Bu, bilavasitə Sumer-əcdad Türk varlığının mifoloji Modernizminin inikasıdır.

Göbekli Tepe ile Dünyanın ilkin mitoloji katlarına aid olan daha bir sıra gizlinlerin üstü açıldı. Göbekli Tepe İnsan ağlının, idarakının ve onların doğurduğu icadların inikasıdır. Bu bilgiler yalnız Köklü-Gömecli toplumun-Türk Dünya bakışlarının sistemlerine aid olan açılımdır. Tarihin tarih sehifelerini mitoloji düşünceler belirleyir. Və Qədim dünyanın Sümer mifologiyası özündən əvvəlki minilliklərin zaman bəlirtilərini də nişan verirdi; ancaq bu bəlirtiləri üzə çıxaracaq nişanlar görünmürdü. Nişanlar var, ancaq olub-keçmişin necə olması haqqındakı təsəvvürləri hərəkətə gətirən naşanlar yox idi.

Yer gizlətdiyi nişanları bir gün aşkara çıxarır: “Zəlzələ” surəsində deyildiyi kimi, “yer öz qiymətli yüklərini və çox dəyərli mallarını çıxarıb atacağı zaman” var: sözsüz ki, “məhz o gün Yer öz xəbərlərini açıb söyləyər”/ayə 2-4/. Yer öz nişanələrini titrəyişlə üzə çıxardar: məcazın gerçək mənasında söyləsək, arxeoloji araşdırmalar da yerin üstünü örtdüyü nişan və nişanələri aşkara çıxartdı- min illər torpağın ağuşuna aldığı və gizlində saxladığı Göbəklitəpə kimi bir nişanı nişan verdi Yer əhlinə.

Qədim dünyanın Mesepatomiya ve çevrələrinin nişanları ilə nişan tapmışdır: Sumer əcdadlarımız ən üstün elmi-kültürəm məzmunda özlərini dünya yaddaşına həkk etmişlər. Yazıları-Gil lövhələrdən ibarət nişanlarla özlərini tarixin səhifələrinə həkk edib. Son əlli ildə Dünya alimləri öz qısqanclıqlarından əl çəkib: Sümer-Əcdad yazılı mətn-nümunələri ilə etiraf etdilər ki, bu yazı-sözlər Türklərə mxsus dil-yazı nişanlarıdır. Və o sözlərin bütün varlığı bəşərin dünya varlığını canlandırdı, elmi kəşflərin ağzı açıldı: axtarışlar yeni-yeni maraqlar doğurdu. Sümer-Türklərin bu qədim başlanğıcı o qədər heyrətli idi ki, onları təsbit etdikləri- əsaslandırdıqları elmi icad və kəşflər qarşısında heyrətə gəldilər.

Mitoloji sistem insanın dünyaya, varlık alemine ve yaşamına mahsus olan alametlerin gerçek taraflarını açıklamak-anlatmak, tasvir ve taktim etmek sistemidir; bu sistemde alake ve münasibetler tipoloji karakter taşıyor: başka sözle desek, dünya mitoloji görüm, düşünce ve tefekkürünün vahit dili, vahit modeli vardır: bu Türk düşünce dili, Türk modelidir.

AÇAR SÖZLƏR: Türk mifoloji modernizmi; Sumer-əcdad varisliyi;Göbəkli Təpə nişanları

THE MOOD OF A LOST REALİTY, OR THE SUMERİAN-ANCESTRAL TURKİC LİNEAGE OF GÖBEKLİ TEPE İN MYTHOLOGİCAL THOUGHT

ABSTRACT

Sumerian-Ancestral Turkic mythological modernism—along with human cognition’s grasp of content and artistic form—represents enduring cultural markers of ancient world civilization. These elements reflect the age of historical processes and the universal manifestations of cultural, spiritual, and volitional existence. This is a direct reflection of the mythological modernism inherent in the Sumerian-Ancestral Turkic identity.

With Göbekli Tepe, a number of other mysteries belonging to the primordial mythological strata of the world have been unveiled. Göbekli Tepe is a reflection of the human mind, cognition, and the inventions born of them. This knowledge represents a revelation belonging solely to the systems of the "Köklü-Gömecli" (deep-rooted/ancestral) society—the Turkic worldview. Mythological thought shapes the pages of history.

Ancient Sumerian mythology hinted at temporal markers from the millennia preceding it; yet, the specific signs capable of fully revealing these markers were absent. The markers existed, but there were no indicators to trigger the conceptualization of the past's true nature. The Earth eventually reveals the signs it has kept hidden: as stated in Surah *Az-Zalzalah* (The Earthquake), there comes a time when "the earth casts forth its precious burdens and highly valuable treasures"—indeed, "on that Day, the Earth shall recount its tidings" (verses 2–4).

The Earth brings its signs to light through tremors; to speak literally, archaeological research has also unearthed the traces and markers the earth had covered—revealing to humanity a site like Göbekli Tepe, which the soil had held in its embrace and kept concealed for millennia.

It bears the marks of the ancient world—specifically Mesopotamia and its surrounding regions: our Sumerian ancestors etched themselves into the collective memory of the world through supreme scientific and cultural achievements. They inscribed themselves onto the pages of history using clay tablets—artifacts bearing their writing. In the last fifty years, scholars worldwide have set aside their prejudices and acknowledged—based on the written texts of our Sumerian ancestors—that these scripts and words belong to the Turkic language and writing tradition. The essence of those words revitalized humanity's global existence and unlocked the door to scientific discovery, sparking new avenues of inquiry and interest. The ancient origins of the Sumerian-Turks

were so remarkable that even they themselves marveled at the scientific inventions and discoveries they established and substantiated.

A mythological system is a framework for explaining, describing, and presenting the true nature of phenomena pertaining to the world, the realm of existence, and human life; within this system, connections and relationships possess a typological character—in other words, there is a unified language and model for this mythological worldview and mode of thought: specifically, the Turkic language of thought and the Turkic model.

KEYWORDS: Turkic mythological modernism; Sumerian-ancestral heritage; Göbekli Tepe symbols.

TƏSƏVVÜFÜN MERİDİAN ÜFÜQLƏRİ: ŞEYX ÜBRAHİM GÜLŞƏNİ BƏRDƏİ DİVANINDA İLAHİ EŞQ MƏRTƏBƏLƏRİ

(Anadan olmasının 600 illiyi)

Google Akademik, PROF. DR. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ

ORCID: 0009-0001-1327-3425 ezimliebulfez@yahoo.com.tr Google Akademik, Dünya Sülh Səfiri; Nobel Prıze & Indıa- Birliyinin Yönətici üzvü; Qlobal Yazarlar Akademiyası üzvü-Hindistan; Türk Dünyası Vətəndaşlığı və Eyitimçilər Birliyi üzvü-Bişkek; TÜRKSOY üzvü; Mery`s Ange`ls İnternacional Qroup üvü; Poetas İntergaláctıcos-üzvü; World Peace Lıterature Academy-nin yönətici üzvü; Saib Təbrizi Elm Mərkəzinin üvü; Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin üzvü; Naxçıvan Dövlət Universiteti; BÜTÖV AZERBAYCAN

ÖZET

Bu il- -1426-cı il Böyük AZərbaycan mütəfəkkir şairi, məşhur Təsəvvüf bilgini, İlahi Eşq vəsflərinin sultanı Şeyx İbrahim Gülşəni Bərdəinin (1426-1535). anadan oluşunun 600 illiyidir. Faciə burasındadır ki, yaşadığı zamandan 500- bş yüz il sonra Şairin Azərbaycan Türkcəsində olan Divan-ı Başıda 2006-cı ildə nəşr edildi. Düz 500 il sonra. Əsərləri nəşr edilməyən, haqlarında tədqiqat aparılmayan Yüzlərlə belə dahilərimiz vardır**.**

Şeyx İbrahim bin Mehemmed bin Hacı İbrahim Şihabeddin Gülşeni Berde'i h.830/ m.1426-27-de Azerbaycan'ın Berde kentinde doğulmuştur. Gençliğinde Tebrize getmiş, Dede Ömer Rövşeni'nin müridi olmuşdur.

Gülşəni poeziyasında Tasavvufun mana tutarları - vasıflar üzerindedir. Bütün təsəvvüf alimləri-şairləri bu vasflar elmində özlərini ifadə etmişlər.Vasıflar yalnız İlahi Kudret'e bağlıdır. Onda evvel de Aşktır, Ahir de. Aşik sevgilinin Aşk alemine sığınıp; bununla Aşik hem Evvel'e, hem de Ahir'e mahsus olduğunu anlayıp; Aşik, nece deyerler, Evvel'le Ahir'in bütünlüğünde makam tapıp.

İbrahim Gülşəni təsəvvüfü aləmində Eşq vəsfləri qatbaqat göylərin uca məqamlarına üztutma əsas üsuldur. İlahi Eşqin mərtəbələri çoxdur. Şair o mərtəbələrdə Özünün Eşq mərtəbəsini inikas etdirmiş olur. Eşq Gülşəninin Poetika Məqamında çox ucadır. Ucalığı Qaf Dağında olan Eşqinin ucalığı kimidir. Ucalıqdan vəsf etməyin Janrı Minacatdır. Bütün klassik vəslər minacat formasındadır. Minacat Müraciətin daha təsirli janrıdır. Gülşəninin Vəsflərində, tərənnüm vəcdlərində hər şey Mincatlı- Aşiqanədir.

Şeyx İbrahim Gülşəni Bərdənin poeziyasında Tasavvufun mana tutarları - vasıflar üzerindedir. Bütün təsəvvüf alimləri-şairləri bu vasflar elmində özlərini ifadə etmişlər.Vasıflar yalnız İlahi Kudret'e bağlıdır. Onda evvel de Aşktır, Ahir de. Aşik sevgilinin Aşk alemine sığınıp; bununla Aşik hem Evvel'e, hem de Ahir'e mahsus olduğunu anlayıp; Aşik, nece deyerler, Evvel'le Ahir'in bütünlüğünde makam tapıb. Hər vəsfin öz mənzilləri və ucalıqları və yayımları və heyrətləri vardır. Bütün Heyrətlər şairin Təsəvvüfü Vəcdlərinin iradəsidir. Bu vəcdlərin ifafə forması olan Minacatlar şirin qəlbinə sərinlik gətirir. Gülşənidə Heyrət Heyrət gətirir. Bu, Eşqin tükənməzliyinin inikasıdır.

Aşikin kalpi hak nurunun nurunadan ışık tapıp; orada bütün şekiller ve nizamlar bir silsile üstündedir: bu, bağlantısı evvelden ahire silsilenen vahtetin tesbih nişanları saklanır; şair İbrahim Gülşeni'nin tasavvuf poeziyasında bu irfan nişanları aşikin irfan dünyasının gizlinlerini daha da gizleden, aşkarlarını daha da aşkarladan, batini zahirden, zahiri batinden doğuran ve batina aşkar, aşkara batin nişanları veren o Eşq- Aşiqin bağlantılarının əlametleri kimii vasıf olunur.

AÇAR SÖZLƏR: İbrahim Gülşəni Bərdəi; İbrahim Gülşənidə İlahi Eşq qatları; Təsəvvüfü təlqinlər və heyrətlər şairi-İbrahim Gülşəni.

THE MERİDİAN HORİZONS OF SUFİSM: STAGES OF DİVİNE LOVE İN THE DİVAN OF SHEİKH IBRAHİM GULSHANİ BARDA'İ (600th anniversary of his birth)

ABSTRACT

This year marks the 600th anniversary of the birth of Sheikh Ibrahim Gulshani Barda'i (1426–1535)—a great Azerbaijani thinker and poet, a renowned Sufi scholar, and a master in describing Divine Love. Tragically, it was not until 2006—five centuries after his lifetime—that the poet's *Divan* (collected works), written in Azerbaijani Turkic, was finally published. A full five hundred years later. There are hundreds of such geniuses of ours whose works remain unpublished and unstudied.

Sheikh Ibrahim bin Muhammad bin Haji Ibrahim Shihab al-Din Gulshani Barda'i was born in the city of Barda, Azerbaijan, in 830 AH (1426–27 CE). In his youth, he traveled to Tabriz and became a disciple of Dede Omar Rovshani.

Gulshani's poetry centers on the spiritual dimensions—the attributes—of Sufism. All Sufi scholar-poets have expressed themselves through the science of these attributes. These attributes are rooted solely in Divine Power; therein, Love is both the First and the Last. The lover seeks refuge in the realm of the Beloved's Love, realizing that they belong to both the First and the Last; thus, the lover attains a spiritual station within the unity of the First and the Last.

In the Sufi world of Ibrahim Gulshani, the description of Love serves as the fundamental method for ascending toward the exalted stations of the layered heavens. There are many stages of Divine Love. In these stages, the poet reflects his own level of Love. Gülşəni's Love stands at a very lofty poetic station; its sublimity rivals that of the legendary Mount Qaf. The genre used to describe such sublimity is the *Munajat* (supplication). All classical encomiums take the form of *Munajat*, which is a deeply moving mode of address. In Gülşəni's praises and ecstatic hymns, everything is imbued with the spirit of both supplication and passionate love.

In the poetry of Sheikh Ibrahim Gülşəni, the essence of Sufism is grounded in the concept of Divine Attributes ("vasfs"). All Sufi scholar-poets have expressed themselves through the science of these attributes. These attributes are rooted solely in Divine Power; therein, Love is both the Beginning and the End. The lover takes

refuge in the realm of the Beloved's Love, realizing that he belongs to both the Beginning and the End; thus, he attains a spiritual station within the unity of the First and the Last. Each attribute possesses its own stations, heights, emanations, and states of awe. All such states of awe are the manifestation of the poet's Sufi ecstasies. The "Munajat"—the form in which these ecstasies are expressed—brings coolness and solace to the heart. In Gülşəni's work, one state of awe begets another; this is a reflection of the inexhaustible nature of Love.

The lover's heart finds illumination in the light of the Divine Light; There, all forms and orders exist within a continuous chain; this preserves the signs of the unity that connects the beginning to the end. In the Sufi poetry of Ibrahim Gulshani, these signs of spiritual insight are characterized as the hallmarks of the bond between the Beloved and the Lover—a connection that further veils the secrets of the lover's spiritual world while making its manifest aspects even more apparent, giving birth to the inner from the outer and the outer from the inner, and imbuing the inner with signs of the outer and the outer with signs of the inner.

KEYWORDS: Ibrahim Gulshani Barda'i; layers of Divine Love in Ibrahim Gulshani; Ibrahim Gulshani—poet of Sufi teachings and states of spiritual awe.

%1 N-BÜTANOL–DİZEL YAKIT KARIŞIMINA PPM DÜZEYİNDE HİDROJEN PEROKSİT İLAVESİNİN MOTOR GÜRÜLTÜSÜ VE TİTREŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Doç. Dr., Samet ÇELEBİ[1,2]/ Doç. Dr., Ömer CİHAN[2,3*] / Doç. Dr., Üsame DEMİR[4] / Dr. Öğr. Üyesi Emrah ARDA[2,5]

[1]Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Arifiye Vocational School, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Türkiye, İçten Yanmalı Motorlar, scelebi@subu.edu.tr, ORCID:0000-0002-4616-3935

[2]Automotive Technologies Application and Research Center, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Türkiye

[3*]Department of Machinery and Metal Technologies, Hendek Vocational School, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Türkiye, İçten Yanmalı Motorlar, omercihan@subu.edu.tr, ORCID:0000-0001-8103-3063

[4]Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Bilecik, Türkiye, İçten Yanmalı Motorlar, usame.demir@bilecik.edu.tr, ORCID:0000-0001-7383-1428

[5]Department of Machinery and Metal Technologies, Arifiye Vocational School, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Türkiye, İçten Yanmalı Motorlar, emraharda@subu.edu.tr, ORCID:0000-0002-5496-3764

Özet

Yakıt katkılarının performans ve emisyonlar üzerindeki etkileri yaygın biçimde araştırılmasına rağmen, sıkıştırma ile ateşlemeli motorların vibroakustik davranışına etkileri nadiren nicel olarak incelenmektedir. Tutuşma gecikmesini ve dolayısıyla yanma gürültüsünü doğrudan etkileyen hidrojen peroksit de bu açıdan yeterince değerlendirilmemiştir. Bu çalışmada n-bütanol, hacimce %1 oranında hem oksijenli yakıt bileşeni hem de dizel yakıtla doğrudan karışmayan hidrojen peroksit için taşıyıcı faz olarak kullanılmıştır. Saf dizel (D100), n-bütanol–dizel karışımı (B1) ve bu karışıma 500 ve 1000 ppm hidrojen peroksit eklenerek hazırlanan yakıtlar (B1HP500 ve B1HP1000), tek silindirli, hava soğutmalı ve doğrudan püskürtmeli bir dizel motorda 1800 dev/dak sabit hızda; 0, 4, 8, 12 ve 16 Nm fren torklarında test edilmiştir. Her çalışma koşulunda motor bloğu ivmesi ve A-ağırlıklı ses basınç düzeyi ölçülmüştür. Gürültü değerleri tüm yakıtlarda 94,83–97,24 dBA aralığında kalmıştır. B1, rölantide en düşük, 16 Nm'de ise en yüksek gürültüyü üretmiş ve yüke bağlı gürültü artış eğimi D100'den %74 daha yüksek olmuştur. Her iki hidrojen peroksit dozajı bu eğilimi ortadan kaldırarak yüksek yükteki gürültüyü referans yakıt düzeyine veya altına düşürmüştür. Titreşim sonuçları yakıtlar arasındaki farkları daha belirgin göstermiştir. D100, rölantide en yüksek titreşimi (110,32 m/s²) oluşturmuş, ancak yük arttıkça titreşim azalmıştır. B1'in titreşimi tüm koşullarda D100'den %4,1–5,0 daha düşük bulunmuştur. B1HP1000, rölantide en düşük titreşim değerini sağlamış (99,51 m/s²; D100'den %9,8 düşük), ancak yükle birlikte artış göstermiştir. B1HP500 ise yalnızca 2,66 m/s² değişim aralığıyla en kararlı davranışı sergilemiş ve hiçbir yükte gürültüyü artırmadan ortalama motor bloğu ivmesini %4,8 azaltmıştır. Sonuçlar, optimum dozajın yaklaşık 500 ppm olduğunu ve katkı miktarının çalışma çevrimine göre belirlenmesi gerektiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Dizel motor titreşimi; yanma gürültüsü; alternatif yakıtlar; hidrojen peroksit katkısı; n-bütanol–dizel yakıt karışımı

EFFECTS OF PPM-LEVEL HYDROGEN PEROXIDE ADDITION TO A 1% N-BUTANOL–DIESEL BLEND ON ENGINE NOISE AND VIBRATION

Abstract

Fuel additives are routinely evaluated for performance and emissions, yet their effect on the vibro-acoustic behavior of compression-ignition engines is seldom quantified. Hydrogen peroxide is a case in point. It acts directly on the ignition delay, which governs combustion noise, but has not been assessed on this basis. In the present study n-butanol was employed at 1 % by volume, serving both as an oxygenate and as a carrier phase for hydrogen peroxide, which is otherwise immiscible with diesel. Four fuels were tested in a single-cylinder, air-cooled, direct-injection diesel engine at 1800 rpm under brake torques of 0, 4, 8, 12 and 16 N·m: neat diesel (D100), the butanol blend (B1), and the same blend doped with 500 and 1000 ppm hydrogen peroxide (B1HP500 and B1HP1000). Block acceleration and A-weighted sound pressure level were recorded at every operating point. Noise proved the less sensitive metric, all fuels lying within 94.83–97.24 dBA. The butanol blend was nevertheless the quietest fuel at idle and the loudest at 16 N·m, its load gradient exceeding that of neat diesel by 74 %. Both peroxide doses removed this reversal and returned the noise level to or below the reference at high load. Vibration was more discriminating. Neat diesel was roughest at idle (110.32 m/s²) and smoothed under load, whereas the butanol blend lay 4.1–5.0 % below it throughout. At 1000 ppm the idle vibration was the lowest recorded (99.51 m/s², 9.8 % below diesel) but rose with load, while 500 ppm gave the flattest response, spanning only 2.66 m/s². B1HP500 reduced mean block acceleration by 4.8 % without raising noise at any load. An optimum therefore exists near 500 ppm, and the dose should be matched to the duty cycle rather than maximized.

Keywords: Diesel engine vibration, Combustion noise, Alternative Fuels, Hydrogen peroxide additive, n-Butanol–diesel blend

1. INTRODUCTION

Compression-ignition (CI) engines remain the dominant prime mover in agricultural machinery, stationary power generation, marine propulsion and non-road construction equipment. In these applications the operator is positioned in the immediate acoustic near field of the engine block, frequently for the duration of an entire shift and over a working lifetime. The vibro-acoustic output of the engine therefore constitutes occupational exposure rather than a matter of comfort. Sustained exposure to sound pressure levels at or above 85 dBA is sufficient to induce permanent noise-induced hearing loss, tinnitus and degraded speech intelligibility, and has further been associated with cardiovascular disease, depressive disorders and impaired balance (Themann & Masterson, 2019). The World Health Organization and the International Labour Organization have accordingly incorporated occupational noise into their joint estimates of the work-related burden of disease, on the basis of a systematic review covering seventeen studies and more than half a million workers in eleven countries (Teixeira et al., 2021). Mechanical vibration imposes a parallel cost on the machine itself, accelerating crank-train fatigue, loosening fastened joints, shortening bearing service life and propagating to the operator through the seat and control interfaces. Noise and vibration are thus simultaneously a health outcome and a durability outcome, and both warrant treatment as primary performance metrics.

Both quantities originate predominantly within the combustion chamber. Following injection, the fuel autoignites after a finite delay period, during which a portion of the charge is prepared for near-instantaneous premixed combustion. The resulting steep pressure gradient excites the engine structure, which subsequently radiates airborne sound and responds in flexural vibration. The coupling between these phenomena is sufficiently direct so that block acceleration has been employed as a surrogate measure of the apparent heat release rate (Lee et al., 2015). Consequently, any intervention that lengthens the ignition delay enlarges the premixed burn fraction, increases the maximum rate of pressure rise, and manifests as a harsher vibro-acoustic signature. Fuel-side modification represents the most economical means of manipulating this variable, since it requires no alteration of the engine hardware or of the injection system calibration.

Among oxygenated additives, n-butanol has received particular attention for CI applications. Relative to methanol and ethanol, it exhibits a higher lower heating value, superior miscibility with diesel across a wide temperature range, reduced hygroscopicity and adequate lubricity, such that it may be blended without emulsifiers and without modification of the fuel delivery system (Kumar & Saravanan, 2016). Its molecularly bound oxygen content of approximately 21.6 % by mass suppresses soot inception within fuel-rich regions of the spray plume. These advantages, however, are offset by an unfavourable ignition quality. The low cetane number of n-butanol, compounded by its elevated latent heat of vaporisation and the associated charge-cooling effect, extends the ignition delay period. Experimental investigations of butanol–diesel blends have consistently reported a longer

ignition delay, a shorter combustion duration and higher peak cylinder pressures and heat release rates relative to neat diesel, attributable to the rapid oxidation of the fuel accumulated during the extended delay (Yao et al., 2010; Zheng et al., 2015). Comparative assessments of lower and higher alcohol additions to diesel in direct-injection engines have confirmed the same behavioural trend (Li et al., 2019). The mechanism responsible for the reduction in particulate emissions therefore also governs the deterioration in combustion harshness.

A limited body of work has quantified the corresponding vibro-acoustic response. Satsangi and Tiwari (2018) evaluated four diesel/n-butanol blends in a genset engine and reported that noise and vibration characteristics improved at lower loads but that this trend reversed at higher loads; a strong correlation was established between combustion noise, rate of pressure rise and vibration amplitude. This load-dependent reversal constitutes the most reproducible finding in the alcohol–NVH literature. Morgul (2021) examined a 10 % butanol–diesel blend at injection pressures of 190, 210 and 230 bar and observed a general increase in engine vibration at all three pressures, with the difference in noise level relative to neat diesel confined to approximately 2–3 dBA. Additive-based strategies have yielded weaker effects than anticipated. Ağbulut et al. (2020) dispersed several metal-oxide nanoparticles in waste cooking oil methyl ester blends and observed no remarkable change in noise or vibration, notwithstanding measurable improvements in thermal efficiency and specific fuel consumption; comparable conclusions have been drawn for cottonseed methyl ester–diesel blends (Sarıdemir & Ağbulut, 2022). Investigations of other fuel families corroborate the general finding. Patel et al. (2016) coupled spray characterisation with noise and vibration measurements on a Jatropha biodiesel-fuelled genset engine, while Seifi et al. (2016) quantified the power, torque and noise emission of a diesel engine operating on water–diesel emulsions. Collectively, these studies establish that fuel composition propagates measurably into the vibro-acoustic behaviour of the engine, yet the high-load penalty associated with alcohol addition remains unresolved.

Hydrogen peroxide (H_2O_2) provides a chemically antagonistic mechanism. Under compression-stroke conditions it decomposes exothermically and, more significantly, seeds the pre-ignition charge with hydroxyl (OH) and hydroperoxyl (HO_2) radicals. Fundamental kinetic studies have quantified this effect: Gribi et al. (2018) characterised the influence of H_2O_2 addition on the combustion of n-decane/air mixtures, and Hui et al. (2019) examined its effect on the two-stage ignition characteristics of n-heptane/air mixtures. Engine-level evidence is consistent with the underlying chemistry. Zhou et al. (2019) introduced H_2O_2 into n-butanol in a homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine at low and medium loads, demonstrating that the additive promoted OH and HO_2 formation during the low-temperature oxidation stage and produced a pronounced improvement in indicated thermal efficiency at reduced mixture concentration or intake temperature; NO_x emissions remained at an ultra-low level while total hydrocarbon and CO emissions decreased across almost all test conditions. In a direct-injection CI engine, Saleh (2021) added H_2O_2 and water at concentrations of 0–20 % to a diesel–jojoba oil–

butanol blend and reported NO_x reductions of up to 39 %, accompanied by increases of 15.3 % in CO and 32.8 % in unburned hydrocarbons, with 5 % H_2O_2 providing the most favourable overall balance. A common feature of these results is that the observed benefit does not scale monotonically with additive concentration.

Two implications follow. First, aqueous hydrogen peroxide is essentially immiscible with hydrocarbon fuels and consequently requires a carrier phase. n-Butanol constitutes a rational candidate, since its amphiphilic molecular structure—a hydroxyl head group coupled to a four-carbon aliphatic chain—enables it to bridge the aqueous and hydrocarbon phases. The alcohol therefore functions simultaneously as an oxygenate and as a co-solvent, and the two additives cannot be evaluated independently of one another. Second, and more consequentially, none of the peroxide studies cited above reported noise or vibration data; their scope was restricted to performance and gaseous emissions. Since H_2O_2 acts specifically upon the ignition delay, which is the governing variable for combustion noise, its vibro-acoustic influence is expected to be neither negligible nor arbitrary. The relevant dosage range likewise remains unexplored, as the published literature employs percent-level concentrations whereas the radical-seeding mechanism suggests that substantially smaller quantities may be sufficient.

The present study addresses this gap. A single-cylinder, direct-injection CI engine operated at a constant speed of 1800 rpm across five brake load conditions spanning 0 to 16 Nm. Four test fuels were employed: neat diesel (D100), a 1 % n-butanol blend (B1), and the same blend doped with 500 and 1000 ppm of hydrogen peroxide delivered through the butanol phase (B1HP500 and B1HP1000). The investigation was deliberately confined to the vibro-acoustic response of the engine: engine block vibration and A-weighted sound pressure level were recorded at each operating point and evaluated as functions of fuel formulation and brake load. Three objectives are pursued: to determine whether a 1 % butanol addition reproduces the load-dependent reversal in noise and vibration reported for higher blend ratios; to assess whether ppm-level hydrogen peroxide can recover the acoustic penalty introduced by the alcohol at high load; and to establish whether the vibro-acoustic response scales monotonically with peroxide dosage or exhibits an optimum beyond which further addition ceases to yield benefit. The third objective is of primary significance, as it advances the discussion from the demonstrated feasibility of peroxide additives towards the definition of a rational dosing window.

2. MATERİALS AND METHODS

2.1. Test Fuels and Fuel Preparation

Four fuels were investigated in order to isolate the individual and combined vibro-acoustic contributions of the alcohol carrier and the peroxide dopant. These comprised the reference diesel fuel, a 1 % n-butanol–diesel blend, and two peroxide-doped variants of that blend containing 500 and 1000 ppm of hydrogen peroxide. The fuel codes and corresponding mixing ratios are summarised in Table 1. The n-butanol fraction was defined on a volume

basis, whereas the hydrogen peroxide dose was defined on a mass basis at ppm level, in accordance with the convention adopted for trace ignition promoters (Kılıçalp & Demir, 2025).

Table 1. Test fuels and their mixing ratios.

Test fuel	Mixing ratio
D100	100% diesel (reference fuel)
B1	99 % diesel + 1 % n-butanol
B1HP500	99 % diesel + 1 % n-butanol + 500 ppm H_2O_2
B1HP1000	99 % diesel + 1 % n-butanol + 1000 ppm H_2O_2

B: n-butanol; HP: hydrogen peroxide. The n-butanol fraction is given on a volume basis and the hydrogen peroxide dose by mass (ppm). Neat diesel (D100) serves as the reference fuel, and B1 serves as carrier reference against which the peroxide effect is isolated.

The preparation sequence was dictated by the mutual immiscibility of aqueous hydrogen peroxide and diesel fuel. Since a stable single-phase fuel cannot be obtained by direct addition, the peroxide was first dissolved in the n-butanol fraction, which acts as an amphiphilic co-solvent between the aqueous and hydrocarbon phases (Saleh, 2021). The resulting butanol–peroxide solution was then introduced into the measured quantity of diesel fuel in a clean mixing vessel. Each mixture was subsequently homogenised with a magnetic stirrer at room temperature for 2 h at constant stirring speed. This two-stage route ensured that the peroxide was distributed through the continuous hydrocarbon phase rather than remaining as a dispersed aqueous phase.

Because hydrogen peroxide decomposes slowly under ambient conditions, the doped fuels were prepared immediately before each test series and stored in sealed, light-protected containers to limit evaporation, moisture uptake and photolytic decomposition. Prior to every test series the corresponding fuel was gently agitated and visually inspected to verify the absence of phase separation, turbidity or sedimentation. No instability was observed for any of the formulations over the duration of a test campaign.

Cross-contamination between fuels was avoided by draining the fuel line at the end of each test series and flushing the supply line and filter section with a sufficient volume of the succeeding test fuel. The engine was then operated briefly under light load so that the residual fuel remaining in the injection line was consumed and the system reached a condition representative of the new fuel. Data acquisition commenced only once engine speed, torque and thermal response had stabilized.

2.2. Test Engine and Experimental Setup

The experiments were performed on a single-cylinder, four-stroke, air-cooled, direct-injection diesel engine coupled to a dynamometer through a shaft system. The principal technical specifications of the engine are listed in Table 2, and the experimental arrangement is shown schematically in Fig. 1. The engine, its injection system and the intake–exhaust arrangement were retained in their original configuration throughout the campaign, and

no mechanical or calibration modification was introduced. The vibro-acoustic variations reported in the following section therefore was investigated to fuel formulation and engine load alone.

Table 2. Technical properties of the tested engine

Engine Name	Antor 3 LD 510
Engine type	Four-stroke, air-cooled, single-cylinder direct injection diesel engine
Stroke volume	510 cm³
Stroke x Diameter	90 x 85 (mm x mm)
Compression ratio	17.5:1
Power	9@3000 (kW)
Torque	32.5@1800 (Nm)
Injection angle	126°
Number of injector holes	4

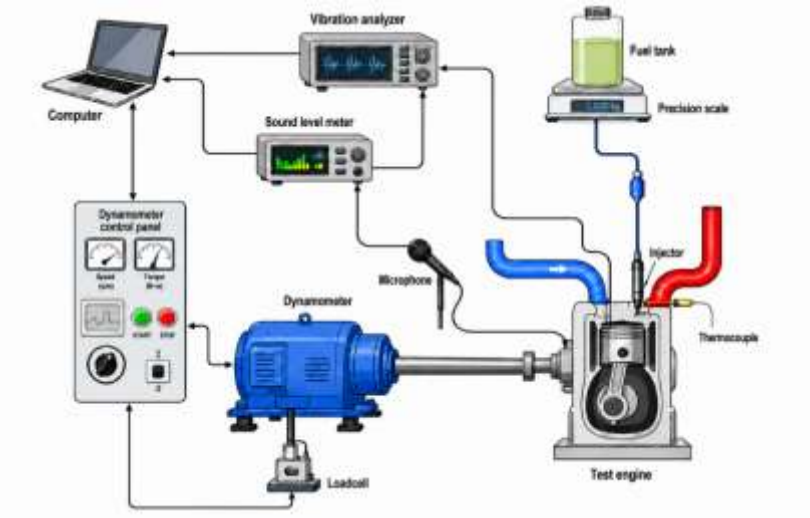


Fig. 1. Schematic view of the diesel engine test setup used for vibration and noise measurements under different engine loads.

2.3. Test Procedure and Measurements

All tests were conducted at a constant engine speed of 1800 rpm, which corresponds to the rated torque speed of the engine. Each fuel was evaluated under five brake torque conditions: no-load, 4, 8, 12 and 16 Nm. The load was applied incrementally, and the engine was permitted to attain steady-state operation at every set point before acquisition began. Warm-up intervals, load transitions and periods exhibiting abnormal fluctuation were excluded from the evaluation.

Vibration was recorded through a measurement line attached to the engine body and transmitted to a vibration analyser, the acquired signal being expressed as RMS acceleration. Radiated noise was measured with a microphone connected to a sound level meter and reported as the A-weighted sound pressure level; this weighting was adopted because it approximates the frequency response of the human ear and is therefore the metric relevant

to occupational exposure. The accelerometer mounting location, the microphone distance and orientation, and the acquisition configuration were fixed at the outset and maintained without alteration for every fuel and load condition, so that the measured differences reflect the combustion event rather than the measurement geometry. This precaution is necessary, since block acceleration follows the apparent heat-release rate closely and is consequently sensitive to sensor placement (Lee et al., 2015).

The dynamometer, load measurement unit, vibration analyser, sound level meter, precision balance and temperature instrumentation were subjected to routine calibration and verification in accordance with laboratory practice prior to the experimental study. An identical test sequence, sensor arrangement, fuel supply configuration and acquisition procedure were applied to all four fuels. This uniform protocol, comparable to that adopted in previous vibro-acoustic assessments of alcohol–diesel blends (Morgul, 2021; Satsangi & Tiwari, 2018), permits the reference diesel fuel, the butanol carrier blend and the two peroxide-doped fuels to be compared directly and without confounding.

3. RESULT AND DISCUSSION

Noise and vibration are examined separately, since the two quantities interrogate different portions of the same excitation. The A-weighted sound pressure level describes the far-field acoustic output of the whole machine and therefore aggregates the combustion source with mechanical, valve-train and cooling-fan contributions that are indifferent to fuel chemistry. Block acceleration, by contrast, is measured directly on the structure excited by the gradient of the cylinder pressure and follows the apparent heat-release rate almost point for point (Lee et al., 2015). A change in combustion phasing is consequently compressed in the noise metric and amplified in the vibration metric, and the results presented below conform to this expectation.

3.1. Engine Noise

The A-weighted sound pressure levels of the four fuels are presented in Fig. 2. The entire data set is contained within a band of 94.83–97.24 dBA, and at any single load the maximum spread attributable to fuel formulation does not exceed 0.78 dBA. Fuel chemistry therefore exerts a second-order influence on the radiated sound of this engine. Load, however, produces a systematic and monotonic increase for every fuel, since a larger injected quantity raises both the premixed burn fraction and the maximum rate of pressure rise ($dp/d\theta$), which is the principal source of combustion-generated noise.

The interest of Fig. 2 lies in the differing slopes rather than in the absolute levels. Neat diesel rises from 95.61 dBA at no-load to 96.93 dBA at 16 N·m, an increase of 1.32 dBA corresponding to a load gradient of 0.083 dBA $N^{-1}m$. The butanol blend behaves quite differently: it begins 0.67 dBA below the reference at idle but climbs to 97.24 dBA at full load, a total increase of 2.30 dBA and a gradient of 0.144 dBA $N^{-1}m$, some 74 % steeper than that of neat diesel. The two curves intersect between 4 and 8 N·m, so that B1 is the quietest fuel at light load and

the loudest at high load. This crossover reproduces, at a blend ratio of only 1 %, the load-dependent reversal reported by Satsangi and Tiwari (2018) for diesel/n-butanol mixtures in a genset engine and confirms that the reversal is a property of alcohol chemistry rather than of blend concentration. The mechanism is the ignition delay: the low cetane number and high latent heat of vaporization of n-butanol prolong the delay period, and at high load the enlarged premixed fraction sharpens the pressure gradient.

The addition of hydrogen peroxide moderates this behaviour. Both doped fuels retain the low idle level of the butanol blend (94.98 and 94.83 dBA for B1HP500 and B1HP1000, respectively) while reducing the load gradient of the noise level to 0.118 and 0.123 dBA $N^{-1}m$. At 12 N·m they are 0.52 and 0.34 dBA below neat diesel and approximately 0.7 dBA below B1, and at 16 N·m both remain marginally below the reference fuel. This behaviour is attributable to the ignition-improving action of hydrogen peroxide. Decomposed during the compression stroke, the additive intensifies the low-temperature heat release preceding autoignition and thereby increases the chemical reactivity of the charge, which shortens the ignition delay in the manner of a conventional cetane improver (Zhou et al., 2019). Shock-tube measurements reporting the advance of two-stage ignition under hydrogen peroxide addition support the same interpretation (Hui et al., 2019). A shorter delay reduces the quantity of fuel prepared before the onset of combustion, so that a smaller proportion of the total heat is released in the premixed phase and a larger proportion in the mixing-controlled phase. The maximum rate of pressure rise is lowered accordingly, and since combustion noise in a direct-injection diesel engine is governed principally by this gradient, the radiated sound level falls. That the two doped fuels differ by less than 0.1 dBA at every load indicates that the acoustic response is already saturated at 500 ppm, and that increasing the dose to 1000 ppm yields no further improvement in the noise level.

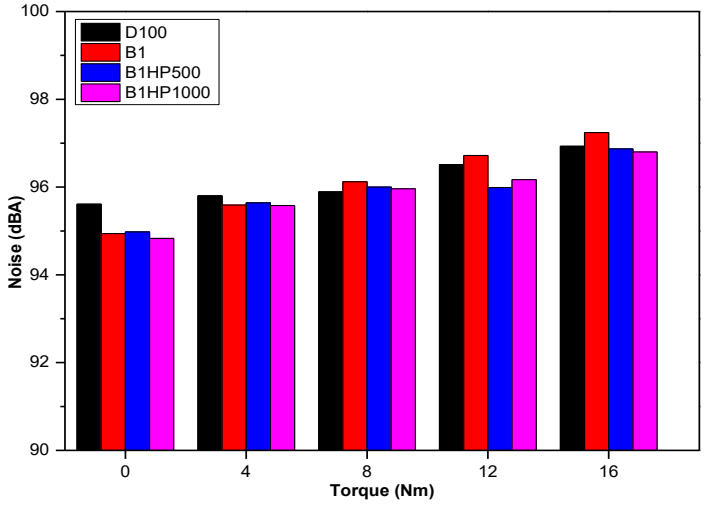


Fig. 2. Variation of the A-weighted engine noise level with brake torque at 1800 rpm for neat diesel (D100), the 1 % n-butanol blend (B1) and the peroxide-doped blends containing 500 ppm (B1HP500) and 1000 ppm (B1HP1000) hydrogen peroxide.

3.2. Engine Vibration

The block vibration results, given in Fig. 3, span 99.51–110.32 m/s² and are markedly more discriminating than the noise data. Neat diesel is roughest at idle (110.32 m/s²) and decreases monotonically to 106.58 m/s² at 16 N·m. This descending trend is characteristic of an unthrottled CI engine: at no-load the small, injected quantity and low charge temperature produce a comparatively long ignition delay and a cyclically unstable premixed spike, whereas increasing load raises the wall and residual gas temperatures, shifts combustion towards a diffusion-controlled regime and reduces cycle-to-cycle variability.

The 1 % n-butanol blend follows the same descending trend as neat diesel but at a consistently lower level throughout the load range, decreasing from 105.78 m/s² at no-load to 101.25 m/s² at 16 Nm and thus remaining 4.1 % and 5.0 % below the reference fuel at these two extremes. The improvement is most readily explained by the oxygen bound within the butanol molecule, which becomes available in the fuel-rich core of the spray and assists the completion of the weak and poorly stabilised idle combustion. A more complete oxidation of the injected charge reduces the cycle-to-cycle variability of the combustion event, and since the block responds to the pressure gradient of each individual cycle, a more repeatable combustion produces a lower RMS acceleration. At the blend ratio employed here the charge-cooling effect associated with the high latent heat of vaporization of n-butanol remains too small to counteract this benefit, so the structural excitation is reduced at every load without an accompanying lengthening of the ignition delay of practical consequence. It is worth emphasising that the butanol blend achieves its largest reduction in vibration at precisely the load at which its noise level exceeds that of neat diesel.

The peroxide-doped fuels reveal a clear dose dependence. At 1000 ppm the idle vibration falls to 99.51 m/s², the lowest value recorded in the campaign and 9.8 % below neat diesel, confirming that radical seeding is most effective where the ignition delay is longest and the combustion least stable. The trend then reverses: B1HP1000 rises with load and reaches 104.73 m/s² at 16 N·m, exceeding B1 by 3.4 %. At high load the charge is already hot and the delay already short, so the additional radical pool advances ignition further before top dead centre, where the reduced clearance volume converts the same heat release into a steeper pressure gradient. The supplementary oxygen released by peroxide decomposition simultaneously intensifies the premixed heat-release peak.

At 500 ppm the two competing effects are balanced. B1HP500 traces the flattest curve of the campaign, varying only between 104.62 and 101.96 m/s² with a peak-to-peak spread of 2.66 m/s² (2.5 %), against 3.74 m/s² for D100 and 5.32 and 5.22 m/s² for B1 and B1HP1000. The shallow minimum at 8 N·m indicates that the optimum radical dose is itself load-dependent. The water introduced with the aqueous peroxide plausibly contributes to this damping, since its high specific heat capacity moderates the local temperature rise, an effect previously invoked to explain the acoustic behaviour of water–diesel emulsions (Seifi et al., 2016).

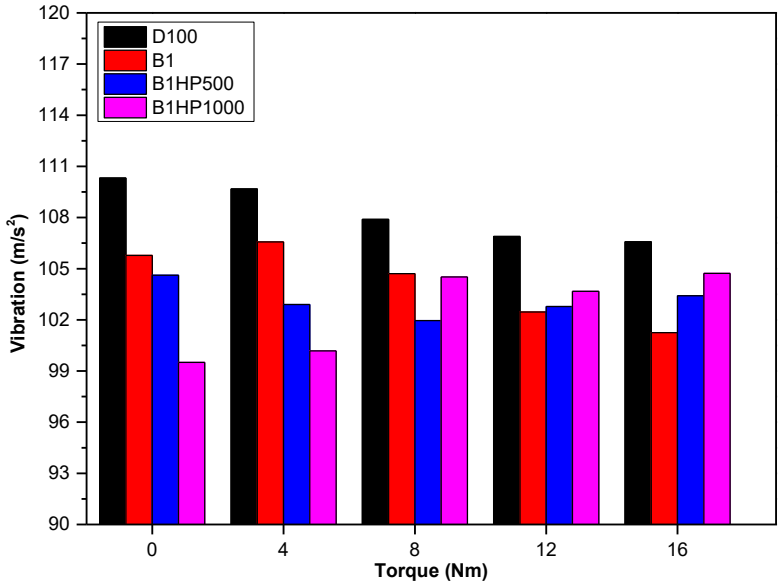


Fig. 3. Variation of engine block vibration (RMS acceleration) with brake torque at 1800 rpm for neat diesel (D100), the 1 % n-butanol blend (B1) and the peroxide-doped blends containing 500 ppm (B1HP500) and 1000 ppm (B1HP1000) hydrogen peroxide.

3.3. Combined Assessment and Dosing Implications

Considered together, the two data sets identify B1HP500 as the most favourable formulation. Averaged over the load range it reduces block vibration by 4.8 % relative to neat diesel, holds the response essentially flat across the entire operating envelope, and remains at or below the reference noise level at every load. B1HP1000 achieves the lowest idle vibration and the lowest mean level (102.52 m/s², 5.3 % below D100) but relocates the roughness towards high load rather than eliminating it. The undoped B1 blend is the only fuel that is acoustically worse than neat diesel at high load.

This ranking carries a clear implication for how the additive should be done. The vibro-acoustic response does not improve continuously as the peroxide concentration is raised: the reduction in noise is already complete at 500 ppm, whereas the block acceleration at high load continues to increase as the dose is doubled, so that the advantage obtained at idle is transferred out of the range in which the engine spends most of its operating time. An optimum therefore exists in the vicinity of 500 ppm, and the dose must be matched to the duty cycle of the application rather than maximized. Comparable non-monotonic behaviour has been reported at percent-level concentrations in emission-oriented studies, where 5 % hydrogen peroxide gave a more favorable overall result than higher fractions (Saleh, 2021). The present findings extend that observation to the ppm range and to the vibration and noise characteristics that had not previously been examined for this class of additive.

4. CONCLUSIONS, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

This study examined whether ppm-level hydrogen peroxide can moderate the vibro-acoustic response of a 1% n-butanol–diesel blend. Tests were conducted at 1800 rpm under five brake torque conditions. The A-weighted sound pressure level was less responsive to fuel formulation than block acceleration. Across the full data set, noise remained between 94.83 and 97.24 dBA, and the maximum fuel-to-fuel difference at a fixed load was 0.78 dBA. B1 was the quietest fuel at no load but the loudest at 16 Nm. Its noise increase with load was 74% steeper than that of D100. Both peroxide-doped blends eliminated this high-load acoustic penalty and remained at or below the D100 noise level at 12 and 16 Nm.

The vibration response showed a stronger interaction between additive dose and engine load. B1 produced 4.1–5.0% lower block acceleration than D100 across the tested range. B1HP1000 yielded the lowest no-load value (99.51 m/s², 9.8% below D100), but its acceleration increased as the load rose. At 16 N·m, it exceeded B1 by 3.4%. B1HP500 gave the most uniform response, with a peak-to-peak variation of only 2.66 m/s². It also reduced mean block acceleration by 4.8% relative to D100 without increasing noise at any test point. Among the formulations evaluated, B1HP500 therefore provided the best overall vibro-acoustic balance.

The response was not monotonic with peroxide concentration. Doubling the dose from 500 to 1000 ppm produced no meaningful additional reduction in A-weighted noise and shifted the vibration benefit toward no-load operation. This pattern is consistent with a load-dependent change in low-temperature reactivity and ignition delay. However, combustion phasing was not measured directly in the present study. The proposed mechanism should therefore be treated as an interpretation rather than a verified causal relationship. Likewise, 500 ppm should be identified as the best-performing tested dose, not as a universal optimum. This conclusion is limited to the tested engine, the constant speed of 1800 rpm, the selected load range, and the two hydrogen peroxide concentrations.

Further studies should refine the dosage range around 500 ppm using smaller concentration intervals and repeated measurements accompanied by uncertainty analysis. These experiments should include in-cylinder pressure, ignition delay, apparent heat-release rate, cycle-to-cycle variation, and frequency-domain vibration and noise analyses. Additional engine speeds and transient duty cycles should also be examined. Performance, emissions, fuel stability, and long-term compatibility with the injection system must be assessed before practical application. For fixed-speed operation comparable to the present conditions, 500 ppm may be considered a technically reasonable starting dose. Nevertheless, the absolute sound levels remained high, whereas the differences among fuels were small. Fuel modification should therefore complement, rather than replace, conventional noise and vibration control measures such as acoustic enclosures, exhaust silencing, and vibration isolation.

REFERENCES

Ağbulut, Ü., Karagöz, M., Sarıdemir, S., & Öztürk, A. (2020). Impact of various metal-oxide based nanoparticles and biodiesel blends on the combustion, performance, emission, vibration and noise characteristics of a CI engine. *Fuel, 270*, Article 117521. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117521

Gribi, B., Lin, Y., Hui, X., Zhang, C., & Sung, C.-J. (2018). Effects of hydrogen peroxide addition on combustion characteristics of n-decane/air mixtures. *Fuel, 223*, 324–333.

Hui, X., Zheng, D., Zhang, C., Xue, X., & Sung, C.-J. (2019). Effects of hydrogen peroxide addition on two-stage ignition characteristics of n-heptane/air mixtures. *International Journal of Hydrogen Energy, 44*(44), 24312–24320.

Kılıçalp, M. I., & Demir, U. (2025). Performance, emission, vibration and noise characteristics of gasoline-based fuel blends with JP-8, Jet A-1, and nitromethane mixtures in a single-cylinder gasoline engine. *Fuel, 393*, Article 134893.

Kumar, B. R., & Saravanan, S. (2016). Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60*, 84–115.

Lee, S., Lee, Y., Lee, S., Song, H. H., Min, K., & Choi, H. (2015). *Study on the correlation between the heat release rate and vibrations from a diesel engine block* (SAE Technical Paper No. 2015-01-1673). SAE International.

Li, X., Guan, C., Yang, K., Cheung, C. S., & Huang, Z. (2019). Impact of lower and higher alcohol additions to diesel on the combustion and emissions of a direct-injection diesel engine. *Environmental Science and Pollution Research, 26*(21), 21001–21012.

Morgul, O. K. (2021). Experimental analysis for assessing noise and vibration of the diesel engine fuelled with a butanol–diesel blend under different injection pressures and engine speeds. *International Journal of Environmental Science and Technology, 18*(7), 2019–2030. https://doi.org/10.1007/s13762-020-02945-0

Patel, C., Lee, S., Tiwari, N., Agarwal, A. K., Lee, C. S., & Park, S. (2016). Spray characterization, combustion, noise and vibrations investigations of Jatropha biodiesel fuelled genset engine. *Fuel, 185*, 410–420.

Saleh, H. E. (2021). Performance and emissions characteristics of direct injection diesel engine fueled by diesel-jojoba oil-butanol blends with hydrogen peroxide. *Fuel, 285*, Article 119048. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119048

Sarıdemir, S., & Ağbulut, Ü. (2022). Combustion, performance, vibration and noise characteristics of cottonseed methyl ester–diesel blends fuelled engine. *Biofuels, 13*(2), 201–210. https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1667658

Satsangi, D. P., & Tiwari, N. (2018). Experimental investigation on combustion, noise, vibrations, performance and emissions characteristics of diesel/n-butanol blends driven genset engine. *Fuel, 221*, 44–60. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.060

Seifi, M. R., Hassan-Beygi, S. R., Ghobadian, B., Desideri, U., & Antonelli, M. (2016). Experimental investigation of a diesel engine power, torque and noise emission using water–diesel emulsions. *Fuel, 166*, 392–399. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.122

Teixeira, L. R., Pega, F., Dzhambov, A. M., Bortkiewicz, A., Correa da Silva, D. T., de Andrade, C. A. F., Gadzicka, E., Hadkhale, K., Iavicoli, S., Martínez-Silveira, M. S., Pawlaczyk-Łuszczyńska, M., Rondinone, B. M., Siedlecka, J., Valenti, A., & Gagliardi, D. (2021). The effect of occupational exposure to noise on ischaemic heart disease, stroke and hypertension: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-Related Burden of Disease and Injury. *Environment International, 154*, Article 106387. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106387

Themann, C. L., & Masterson, E. A. (2019). Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. *The Journal of the Acoustical Society of America, 146*(5), 3879–3905. https://doi.org/10.1121/1.5134465

Yao, M., Wang, H., Zheng, Z., & Yue, Y. (2010). Experimental study of n-butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions. *Fuel, 89*(9), 2191–2201.

Zheng, Z., Li, C., Liu, H., Zhang, Y., Zhong, X., & Yao, M. (2015). Experimental study on diesel conventional and low temperature combustion by fueling four isomers of butanol. *Fuel, 141*, 109–119.

Zhou, A., Zhang, C., Li, Y., Li, S., & Yin, P. (2019). Effect of hydrogen peroxide additive on the combustion and emission characteristics of an n-butanol homogeneous charge compression ignition engine. *Energy, 169*, 572–579. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.076

K_2BH_7 BİLEŞİĞİNİN YAPISAL, ELEKTRONİK, MEKANİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İLK İLKELER YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Dr., Sümeyra YAMÇIÇIER[1]/ Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER[2]/Prof. Dr., Cihan Kürkçü[3]

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

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

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

Özet

Katı hâlde hidrojen depolama teknolojileri, temiz ve sürdürülebilir enerji arayışında kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, umut verici bir hidrojen depolama adayı olan K_2BH_7 bileşiğinin yapısal, elektronik, mekanik, termodinamik ve optik özellikleri Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) tabanlı CASTEP kodu kullanılarak genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA-PBE) çerçevesinde incelenmiştir. Hesaplanan negatif oluşum enerjisi (-0.2787 eV/atom), yapının termodinamik olarak kararlı olduğunu doğrulamaktadır. Malzemenin yüksek hidrojen depolama kapasitesi (%10.41 wt) ve 553.72 K olarak belirlenen desorpsiyon sıcaklığı (T_{des}), K_2BH_7'nin orta sıcaklık uygulamaları için elverişli bir termal kararlılığa ve kinetiğe sahip olduğunu göstermektedir. Elektronik bant yapısı ve durum yoğunluğu (DOS) analizleri, K_2BH_7'nin 6.029 eV değerinde geniş ve doğrudan bir bant aralığına sahip yalıtkan karakterde bir malzeme olduğunu ortaya koymuştur. Valans bandı kenarındaki durumların baskın olarak H-s ve B-p orbitallerinin hibritleşmesinden oluştuğu tespit edilmiştir. Elastik sabitler analizi (Hill yaklaşımı) sonucunda; bulk modülü (B) 8.97 GPa, kayma modülü (G) 4.92 GPa ve Young modülü (E) 12.49 GPa olarak belirlenmiş olup malzemenin mekanik stabilitesi teyit edilmiştir. B/G oranının 1.82 ve Poisson oranının 0.27 olması, malzemenin sünek (ductile) karaktere sahip olduğunu göstermektedir. Universal anizotropi indeksi (3.62) yapının belirgin elastik anizotropisini kanıtlamaktadır. Dielektrik fonksiyonu, optik iletkenlik, absorpsiyon ve yansıma gibi optik özellikler, malzemenin özellikle derin morötesi (UV) bölgede güçlü bir soğurma sergilediğini doğrulamaktadır. Elde edilen bulgular, K_2BH_7 bileşiğinin güvenli ve verimli hidrojen depolama sistemleri için güçlü bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: K_2BH_7, DFT, CASTEP, Hidrojen Depolama, Elastik Özellikler, Elektronik Bant Yapısı.

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, ELECTRONIC, MECHANICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF THE K_2BH_7 COMPOUND USING THE FIRST-PRINCIPLES METHOD

Abstract

Solid-state hydrogen storage technologies play a critical role in the quest for clean and sustainable energy. In this study, the structural, electronic, mechanical, thermodynamic, and optical properties of the K_2BH_7 compound a promising candidate for hydrogen storage were investigated using the CASTEP code based on Density Functional Theory (DFT) within the generalized gradient approach (GGA-PBE) framework. The calculated negative formation energy (-0.2787 eV/atom) confirms that the structure is thermodynamically stable. The material's high hydrogen storage capacity (10.41 wt%) and desorption temperature (T_{des}) determined to be 553.72 K indicate that K_2BH_7 possesses thermal stability and kinetics suitable for medium-temperature applications. Electronic band structure and density of states (DOS) analyses revealed that K_2BH_7 is an insulating material with a broad, direct band gap at 6.029 eV. It was determined that the states at the valence band edge are predominantly formed by the hybridization of H-s and B-p orbitals. As a result of the elastic constants analysis (Hill approach), the bulk modulus (B) was determined to be 8.97 GPa, the shear modulus (G) 4.92 GPa, and the Young's modulus (E) 12.49 GPa, confirming the material's mechanical stability. The B/G ratio of 1.82 and the Poisson's ratio of 0.27 indicate that the material exhibits ductile behavior. The universal anisotropy index (3.62) confirms the structure's pronounced elastic anisotropy. Optical properties such as the dielectric function, optical conductivity, absorption, and reflection confirm that the material exhibits strong absorption, particularly in the deep ultraviolet (UV) region. The findings demonstrate that the K_2BH_7 compound is a strong alternative for safe and efficient hydrogen storage systems.

Keywords: K_2BH_7, DFT, CASTEP, Hydrogen Storage, Elastic Properties, Electronic Band Structure.

1. GİRİŞ

Fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi, artan sera gazı salımları ve buna bağlı küresel iklim krizleri, enerji arzında temiz, sürdürülebilir ve sıfır karbon emisyonlu alternatif taşıyıcılara yönelimi zorunlu kılmıştır (Chu & Majumdar, 2012). Bu doğrultuda moleküler hidrojen (H_2), gravimetrik enerji yoğunluğunun (~142 MJ/kg) konvansiyonel hidrokarbon yakıtların yaklaşık üç katı olması ve yakıt hücresinde elektrokimyasal tüketimi sonucunda yalnızca su açığa çıkarması sebebiyle geleceğin en ideal yeşil enerji taşıyıcısı olarak kabul edilmektedir (Schlapbach & Züttel, 2001). Günümüzde hidrojen; yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV), ağır taşımacılık, mikro-taşınabilir güç sistemleri ve rüzgâr/güneş gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimini dengeleyen şebeke ölçekli sabit depolama tesisleri başta olmak üzere geniş bir uygulama alanına sahiptir (Staffell et al., 2019). Bununla birlikte, hidrojen ekonomisinin ticarileşmesindeki en kritik darboğazı güvenli, ekonomik ve kompakt depolama teknolojileri oluşturmaktadır (Züttel, 2003). Konvansiyonel fiziksel yöntemlerden yüksek basınçlı gaz depolama (350–700 bar) ciddi patlama riskleri ve düşük hacimsel verim taşırken; kriyojenik sıvı depolama (20 K) ise yüksek enerji tüketen sıvılaştırma süreçleri ve sürekli buharlaşma (boil-off) kayıpları ile sınırlıdır (Barthélémy et al., 2017). Bu teknik engelleri aşmak amacıyla, hidrojenin kimyasal veya fiziksel bağlarla hapsedildiği katı hâl hidrojen depolama sistemleri (metal ve kompleks hidrürler); yüksek hacimsel depolama kapasitesi, ılımlı çalışma basınçları ve üstün çalışma emniyeti sunarak en umut vadeden alternatif olarak öne çıkmaktadır (Sakintuna et al., 2007).

Katı hâl depolama ortamları arasında özellikle bor bazlı kompleks hidrürler (borohidrürler), teorik olarak sağladıkları yüksek ağırlıkça hidrojen kapasiteleri nedeniyle yoğun bir araştırma ilgisi görmektedir (Orimo et al., 2007). Ancak prototip monometalik borohidrürler (örneğin saf KBH_4 ve $LiBH_4$), metal-hidrojen bağlarının aşırı güçlü olması sebebiyle yüksek termodinamik kararlılık ve yavaş reaksiyon kinetiği sergilemekte; hidrojen salımı için 350–400 °C'yi aşan yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyarak PEM yakıt hücrelerinin pratik çalışma aralığının dışına çıkmaktadır (Li et al., 2011). Bu kinetik ve termodinamik bariyerleri aşmak adına; kafes yapısını kararsızlaştırarak desorpsiyon entalpisini pratik hedef aralığına $\Delta H \sim 30 - 50\ kJ/mol\ H_2$ çekmek amacıyla çok metalli yapılar ve zengin hidrojen stokiyometrisine sahip yeni hidrür fazları araştırılmaktadır (Ley et al., 2014). Bu bağlamda önerilen potasyum-bor heptahidrür (K_2BH_7) konfigürasyonu, hem yüksek hidrojen koordinasyonu hem de büyük alkali katyonunun (K^+) kafes geometrisindeki etkisiyle dikkat çekici bir potansiyel barındırmaktadır. Literatürde geleneksel alkali borohidrürlerin (KBH_4) ve alanatların yapısal kararlılıkları ile elektronik özellikleri incelenmiş olmasına karşın, K_2BH_7 bileşiğinin taban durumu kafes parametreleri, mekanik anizotropisi, elektronik yük transfer mekanizmaları ve fonon dispersiyon dinamikleri literatürde henüz kapsamlı olarak ele alınmamıştır. Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) tabanlı ilk-ilkeler (*ab initio*) hesaplamaları, deneysel sentez öncesinde yeni malzemelerin mekanik, elektronik ve dinamik kararlılıklarını atomik ölçekte

belirlemede güvenilir bir yöntemdir (Segall et al., 2002). Bu çalışmanın amacı; K_2BH_7 bileşiğinin yapısal, elastik, elektronik ve titreşimsel özelliklerini DFT yöntemiyle sistematik olarak incelemek ve elde edilen sonuçları literatürdeki benzer hidrür sistemleriyle karşılaştırarak katı hâl hidrojen depolama uygulamalarındaki uygulanabilirliğini değerlendirmektir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada K_2BH_7 bileşiğinin yapısal, elektronik, mekanik, optik ve termodinamik özellikleri, yoğunluk fonksiyoneli teorisi (DFT) tabanlı CASTEP (*Cambridge Sequential Total Energy Package*) simülasyon kodu kullanılarak ilk-ilkeler (*ab initio*) yaklaşımıyla incelenmiştir (Clark et al., 2005; Segall et al., 2002). Elektronlar arasındaki değişim ve korelasyon (*exchange-correlation*) etkileri, genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA) çerçevesinde Perdew–Burke–Ernzerhof (PBE) fonksiyoneli ile parametrize edilmiştir (Perdew et al., 1996). İyonik çekirdekler ile değerlik elektronları arasındaki etkileşimleri doğru ve hesaplama açısından verimli bir şekilde modellemek amacıyla Ultrasoft sözde-potansiyelleri (USP) kullanılmıştır (Vanderbilt, 1990). Kristal yapının tam denge geometrisini elde etmek adına örgü parametreleri ve atomik iç koordinatlar, Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) minimizasyon algoritması kullanılarak optimize edilmiştir (Pfrommer et al., 1997). Düzlem dalga baz seti için kinetik enerji kesme değeri (*cut-off energy*) 550 eV olarak seçilmiştir. İlk Brillouin bölgesindeki integral hesaplamaları ve elektronik durumların integrasyonu için Monkhorst–Pack şemasına dayalı 6x9x12 boyutlarında optimize edilmiş bir k-noktası ağı uygulanmıştır (Monkhorst & Pack, 1976). Optimize edilen temel taban durumu geometrisi üzerinden malzemenin mekanik kararlılığı ve tek kristal elastik sabitleri (C_{ij}), gerinim–gerilme (*stress–strain*) ilişkisi üzerinden hesaplanmıştır. Elde edilen elastik tensörlerden hareketle polikristal bulk modülü (B), kayma modülü (G), Young modülü (E) ve Poisson oranı (ν), Voigt–Reuss–Hill (VRH) yaklaşımları çerçevesinde türetilmiştir (Hill, 1952). K_2BH_7 bileşiğinin lineer optik yanıt fonksiyonları (dielektrik fonksiyonu, soğurma katsayısı, optik iletkenlik ve yansıtıcılık), izinli bantlar arası optik geçişlerin hesaba katıldığı kompleks dielektrik fonksiyonunun $\varepsilon(\omega) = \varepsilon_1(\omega) + i\varepsilon_2(\omega)$ reel ve sanal kısımları üzerinden 0–30 eV foton enerjisi aralığında belirlenmiştir. Sıcaklığa bağlı termodinamik büyüklükler ve sabit hacim özgül ısısı (C_v) ise yarı-harmonik yaklaşım (*quasi-harmonic approximation*) sınırları içerisinde analiz edilmiştir (Baroni et al., 2001).

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Yapısal Özellikler ve Termodinamik Kararlılık

K_2BH_7 bileşiğinin taban durumu kristal geometrisi, BFGS algoritması ile gerinim ve atomik kuvvetler tamamen minimize edilene kadar optimize edilmiştir. Elde edilen denge geometrisine ait hesaplanan kristalografik veriler ve örgü parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur. Optimizasyon sonucunda K_2BH_7 yapısının monoklinik sistemde, C_2 uzay grubu simetrisine sahip olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan örgü parametreleri a = 11.6530 Å, b = 5.2998

Å, c = 6.0988 Å ve monoklinik açı beta=136.6118^0 olarak tespit edilmiştir. Malzemenin deneysel sentezlenebilirliğini ve enerjetik kararlılığını değerlendirmek amacıyla taban durumu oluşum enerjisi (E_f) hesaplanmıştır. K_2BH_7 için hesaplanan negatif oluşum enerjisi değeri E_F=-0.2787 eV/atom olup, yapının elementel bileşenlerine kıyasla ekzotermik olarak kararlı bir faz oluşturduğunu ve termodinamik açıdan deneysel olarak elde edilebilir bir potansiyele sahip olduğunu doğrulamaktadır.

Tablo 1. K_2BH_7 bileşiğinin optimize edilmiş örgü parametreleri ve oluşum enerjisi.

Uzay grubu	a (Å)	b (Å)	c (Å)	β (°)	E_F (eV/atom)
C_2 (monoklinik)	11.6530	5.2998	6.0988	136.6118	−0.2787

3.2. Elastik Özellikler

Kristal yapıların dış mekanik yüklere karşı sergilediği direnç, şekil değiştirebilirlik kabiliyeti ve mekanik kararlılığı elastik sertlik tensörleri (C_{ij}) aracılığıyla incelenmektedir. Monoklinik simetriye sahip K_2BH_7 kristali için 13 bağımsız ikinci mertebe elastik sabit bulunmaktadır. Gerinim–gerilme yöntemiyle hesaplanan tek kristal elastik sabitleri Tablo 2'de verilmiştir.

Monoklinik sistemler için mekanik kararlılık, elastik sabitler matrisinin pozitif tanımlı olması ve Born–Huang kararlılık kriterlerinin sağlanması ile ifade edilir (Mouhat & Coudert, 2014). K_2BH_7 yapısına ait elastik sertlik matrisinin tüm özdeğerleri pozitif bulunmuş olup, malzemenin mekanik olarak tamamen kararlı olduğu teyit edilmiştir. Polikristal agregalar için makroskobik mekanik büyüklükler; bulk modülü (B), kayma modülü (G), Young modülü (E) ve Poisson oranı (ν) Voigt, Reuss ve Hill yaklaşımları kullanılarak türetilmiştir (Hill, 1952). Tablo 3'te listelenen değerlere göre Hill yaklaşımıyla elde edilen bulk modülü B = 8.97 GPa, kayma modülü G = 4.92 GPa ve Young modülü E = 12.49 GPa'dır. Malzemelerin sünek (ductile) veya kırılgan (brittle) doğasını öngörmede kritik bir gösterge olan Pugh oranı (B/G), 1.75 sınır değeri ile karşılaştırılmaktadır (Pugh, 1954). K_2BH_7 bileşiği için hesaplanan B/G = 1.82 değeri 1.75'ten büyüktür. Benzer biçimde hesaplanan Poisson oranının ν= 0.268 (~0.27) seviyesinde olması (sünek malzemeler için eşik ν > 0.26), K_2BH_7'nin sünek karakter sergilediğini açıkça kanıtlamaktadır. Bu sünek davranış, hidrojen soğurma-salım döngüleri sırasında hacimsel genişlemelere karşı malzemenin çatlama ve mekanik deformasyonlara karşı direncini artırması bakımından katı hâl depolama ortamları için oldukça avantajlıdır (Sakintuna et al., 2007).

Tablo 2. K_2BH_7 bileşiğinin hesaplanan elastik sabitleri (C_{ij}, GPa).

C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{15}	C_{22}	C_{23}	C_{25}
29.67	3.59	7.95	−10.25	11.38	5.37	2.41
C_{33}	**C_{35}**	**C_{44}**	**C_{46}**	**C_{55}**	**C_{66}**	**A^U (anizotropi)**
13.32	−2.95	5.95	1.41	9.43	3.01	3.62

Tablo 3. Polikristal elastik modüller ve türetilen mekanik parametreler.

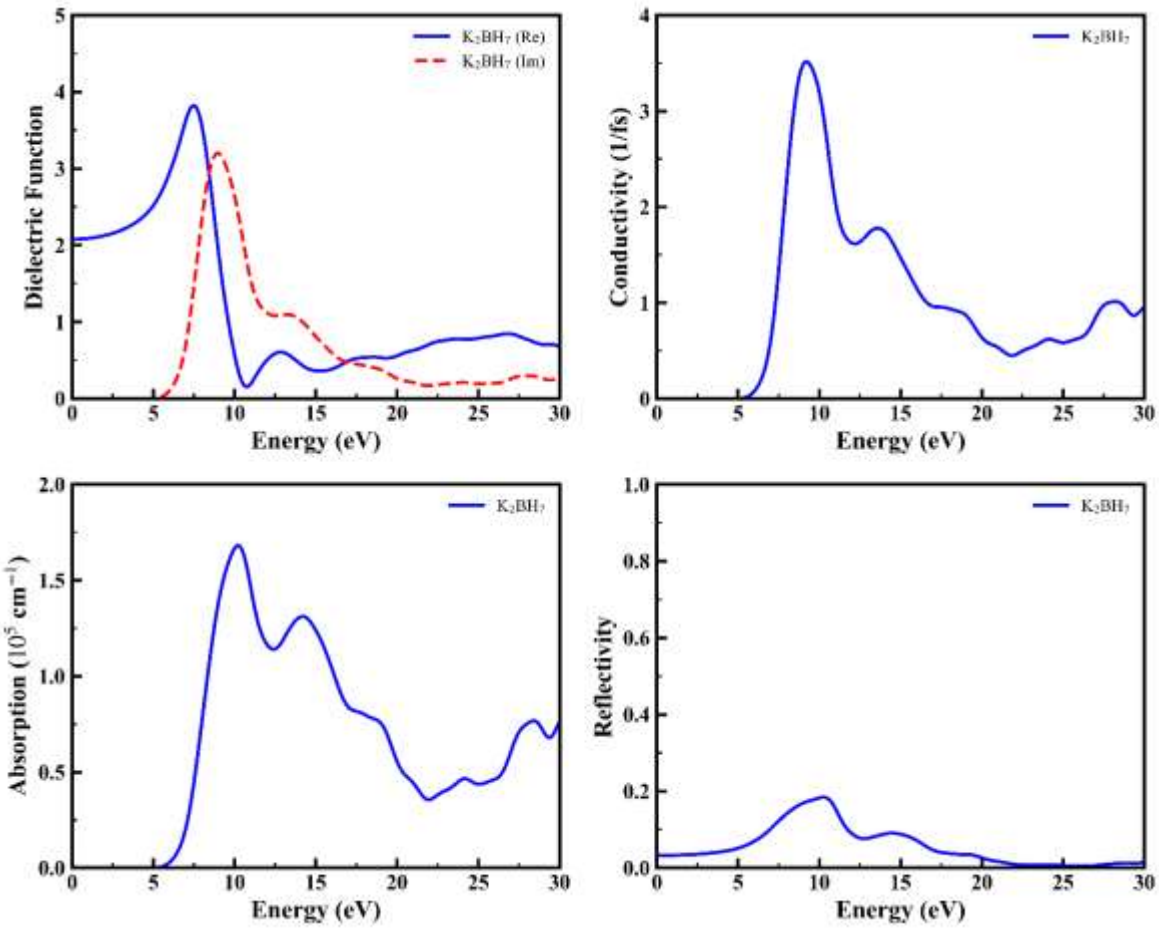
Büyüklük	Voigt	Reuss	Hill
B (GPa)	9.80	8.15	8.97
G (GPa)	6.18	3.67	4.92
E (GPa)	15.31	9.57	12.49
B/G	1.59	2.22	1.82
ν	0.240	0.304	0.268
H_v (GPa)	1.98	0.93	1.44

Yapının yönsel mekanik bağımlılığını tanımlayan evrensel elastik anizotropi indeksi $A^U = 3.62$ olarak belirlenmiş olup yapıda belirgin bir anizotropik elastik karakter mevcuttur (Ranganathan & Ostoja-Starzewski, 2008). Bu durum ana eksenler boyunca hesaplanan yönsel Young modülleri ($E_x = 14.80$ GPa, $E_y = 6.85$ GPa, $E_z = 8.81$ GPa) ile de desteklenmektedir; nitekim kristalin X ekseni doğrultusundaki rijitliği Y eksenine kıyasla iki katından fazladır. Ayrıca malzemenin elastik Debye sıcaklığı θ_D = 308.86 K, ortalama ses hızı v_m = 2435.34 m/s, sıkıştırılabilirliği 0.1227 GPa^{-1} ve kırılma tokluğu $K_{IC} = 0.102$ $MPa.m^{0.5}$ olarak hesaplanmıştır.

3.3. Optik Özellikler

Bir kristalin elektromagnetik radyasyona karşı sergilediği tepkinin ilk-ilkeler yöntemleriyle incelenmesi, malzemenin elektronik bant yapısını, doğrudan ve dolaylı bantlar arası elektronik geçişleri, değerlik elektronlarının polarizasyon kabiliyetini ve kimyasal bağ dinamiklerini aydınlatmada vazgeçilmez bir role sahiptir (Dressel & Grüner, 2002; Fox, 2001). Katı hâl hidrojen depolama malzemelerinde optik özelliklerin analiz edilmesi; bir yandan hidrojenasyon ve dehidrojenasyon evrelerinde malzeme bünyesinde meydana gelen faz dönüşümlerinin optik iletim veya yansıma spektrumları aracılığıyla *in situ* izlenebilmesine zemin hazırlarken, diğer yandan malzemenin optoelektronik ve fotonik aygıt mimarilerinde şeffaf dielektrik yalıtkan katman olarak kullanılabilirliğini değerlendirmeyi mümkün kılar (Slaman et al., 2007). Kristalin lineer optik yanıtı, frekansa bağlı kompleks dielektrik fonksiyonu $\varepsilon(\omega) = \varepsilon_1(\omega) + i\varepsilon_2(\omega)$ üzerinden karakterize edilir (Wooten, 1972). Bu ifadede yer alan reel bileşen $\varepsilon_1(\omega)$ gelen foton alanına karşı malzemenin elektrik polarizasyonunu ve dispersiyon davranışını tanımlarken; sanal bileşen $\varepsilon_2(\omega)$ dolu değerlik bantlarından boş iletim durumlarına yönelik bantlar arası doğrudan uyarılmaların yol açtığı optik enerji kaybını temsil eder. Diğer tüm makroskobik optik fonksiyonlar (optik iletkenlik σ, soğurma katsayısı α ve yansıtıcılık R), Kramers–Kronig bağıntıları çerçevesinde doğrudan bu kompleks fonksiyondan türetilmektedir. Bu çalışmada K_2BH_7 bileşiğine ait temel optik yanıt fonksiyonları 0–30 eV foton enerjisi spektral aralığında hesaplanmış olup elde edilen spektrumlar Şekil 1'de sunulmuştur. Kompleks dielektrik fonksiyonunun reel kısmı $\varepsilon_1(\omega)$ incelendiğinde, sıfır frekans sınırındaki statik dielektrik sabiti $\varepsilon_1(\omega)$~2.08 olarak tespit edilmiştir. Bu ılımlı değer, bileşikteki iyonik-kovalent bağ ağının polarize edilebilirliğinin dengeli bir seviyede olduğunu ve yapının kararlı bir dielektrik yalıtkan karakteri

sergilediğini ortaya koymaktadır. Foton enerjisinin artışıyla birlikte $\varepsilon_1(\omega)$ eğrisi kademeli bir yükseliş göstererek yaklaşık 7.5 eV civarında 3.85 genliğindeki en belirgin rezonans pikine ulaşmakta, ardından keskin bir düşüşle 10–12 eV bandında yerel minimum seviyelerine gerilemektedir. İncelenen tüm 0–30 eV enerji aralığında $\varepsilon_1(\omega)$ değerinin sıfırın altına inmemesi, malzemede serbest elektronların sebep olduğu plazmonik ekranlama rezonansının (metalik karakter) bulunmadığını ve yalıtkan doğanın korunduğunu açıkça kanıtlamaktadır. Doğrudan elektronik geçişlerin bir göstergesi olan sanal dielektrik fonksiyonu $\varepsilon_2(\omega)$ ise yaklaşık 5.5 eV foton enerjisine kadar pratik olarak sıfır seviyesinde seyretmektedir. Bu durum, malzemenin optik soğurma eşiğini tanımlamakta olup hesaplanan doğrudan elektronik bant aralığı değeri (E_g = 6.029 eV) ile kusursuz bir uyum içerisindedir. 5.5 eV sonrasında hızla dikleşen $\varepsilon_2(\omega)$ fonksiyonu, yaklaşık 8.95 eV civarında 3.22 değerine ulaşarak ana absorpsiyon tepesini oluşturmaktadır. Bu baskın uyarılma, durum yoğunluğu (DOS) analizlerinde görüldüğü üzere, değerlik bandının üst kenarını domine eden hibritleşmiş H-s ve B-p durumlarından iletim bandındaki K-s ve B-p orbitallerine gerçekleşen yoğun bantlar arası elektronik geçişlerden ileri gelmektedir.



Şekil 1. K_2BH_7 bileşiğinin optik özellikleri.

Gelen foton akısının malzeme içerisinde meydana getirdiği foto-akım tepkisini simgeleyen optik iletkenlik $\sigma(\omega)$ spektrumu, dielektrik fonksiyonunun sanal bileşeniyle mükemmel bir paralellik sergilemektedir. Görünür ışık ve

yakın UV bölgesinde (~0-5.5 eV) optik iletkenlik sıfır düzeyindedir; bu durum malzemenin görünür bölgede kayıpsız ve şeffaf bir iletim karakterine sahip olduğunu doğrular. Optik bant aralığının aşılmasıyla birlikte hızla artan optik iletkenlik, 9.20 eV foton enerjisinde 3.52 fs^{-1} seviyesine ulaşarak keskin ana tepe noktasını vermektedir. Daha yüksek enerji bölgelerinde ise 13.7 eV civarında 1.78 fs^{-1} genliğinde ikincil bir omuz sergilenmekte ve 20 eV üzerindeki yüksek frekanslarda iletkenlik kademeli olarak zayıflamaktadır.

Malzemenin elektromagnetik radyasyonu zayıflatma ve soğurma kabiliyetini nicelleştiren optik soğurma spektrumu $\alpha(\omega)$ incelendiğinde; 0–5.5 eV aralığında soğurmanın gerçekleşmediği, dolayısıyla K_2BH_7 kristalinin kızılötesi ve görünür bölgede tamamen saydam bir optik pencereye sahip olduğu görülmektedir. Soğurma katsayısı yaklaşık 5.8 eV seviyesinde tırmanışa geçerek derin ultraviyole (DUV) bölgesinde çok yüksek büyüklüklere erişmektedir. Spektrumdaki ana soğurma piki 10.2 eV foton enerjisinde $1.68x10^5$ cm^{-1} değerine ulaşmakta, bunu 14.2 eV civarında $1.31x10^5$ cm^{-1} genliğinde ikincil bir omuz takip etmektedir. 10^5 cm^{-1} mertebesindeki bu kayda değer absorpsiyon katsayısı, K_2BH_7 bileşiğinin derin UV radyasyonunu soğurmada olağanüstü yüksek bir etkinliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

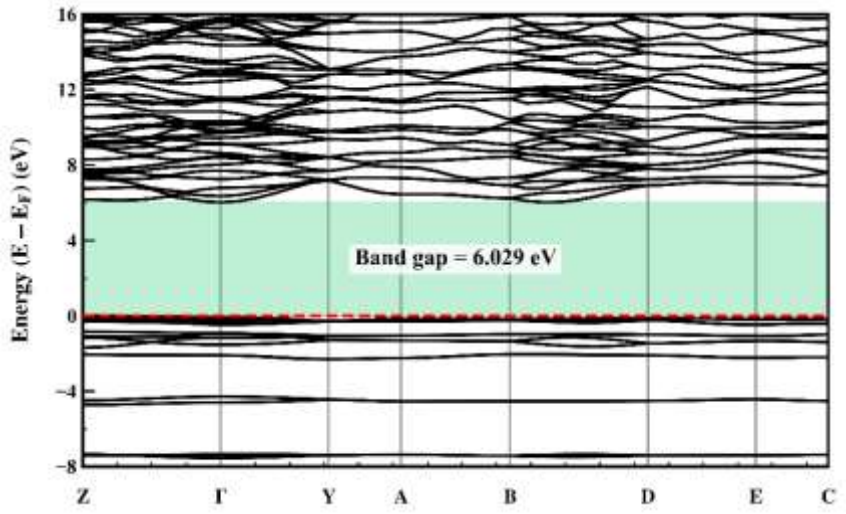
Malzeme yüzeyine dik doğrultuda gelen ışığın yansıma oranını ifade eden optik yansıtıcılık $R(\omega)$ spektrumu, statik sıfır enerji sınırında ve görünür spektral bölgede $R(0)\sim0.033$ (yaklaşık %3.3) gibi son derece düşük bir başlangıç değeri sergilemektedir. Foton enerjisinin yükselmesiyle artış kaydeden yansıtıcılık eğrisi, yaklaşık 10.1 eV civarında maksimum seviyesine ulaşmakta ancak bu tepe noktasında bile en fazla %18.4 değerine erişebilmektedir. İncelenen tüm spektral bant boyunca yansıtıcılık değerinin %20 eşiğinin altında kalması, malzemenin metallerde rastlanan ayna benzeri parlak optik yansıtma özelliğinden uzak olduğunu, aksine yüksek optik geçirgenlik ve güçlü derin-UV soğurma karakterine sahip dielektrik bir matriks yapısında bulunduğunu doğrulamaktadır.

Elde edilen tüm optik parametreler bir bütün olarak değerlendirildiğinde; K_2BH_7 bileşiğinin geniş optik bant aralığı, görünür spektrumdaki mükemmel saydamlığı, derin UV bölgesindeki kuvvetli absorpsiyonu ve düşük yansıtıcılığı, malzemenin hidrojen depolama kabiliyetinin yanı sıra optoelektronik aygıtlarda ve derin ultraviyole koruyucu filtreleme teknolojilerinde şeffaf yalıtkan katman olarak değerlendirilebilecek yüksek nitelikli bir malzeme olduğunu göstermektedir.

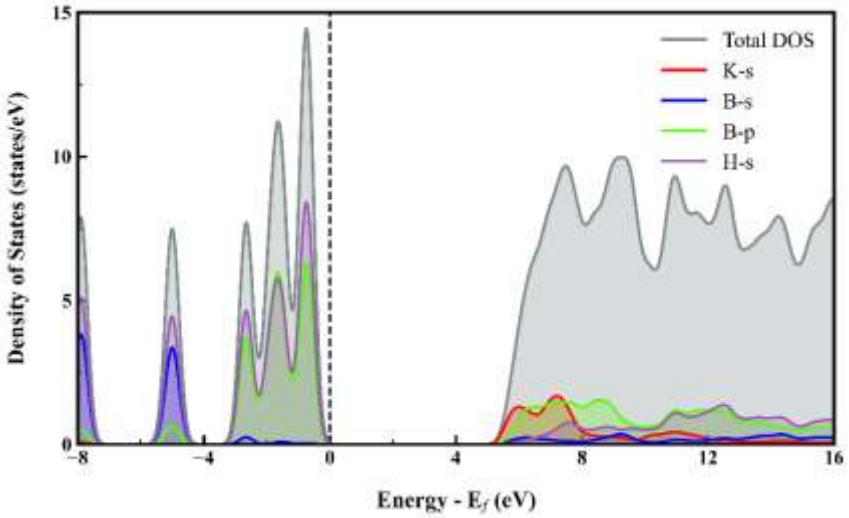
3.4. Elektronik Özellikler

Bir kristal yapının temel fiziksel, kimyasal ve mekanik tepkilerini atomik düzeyde anlamanın ve öngörmenin en temel yolu, elektron yük dağılımını ve durum yoğunluklarını aydınlatmaktan geçer. Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) çerçevesinde gerçekleştirilen elektronik bant yapısı (Şekil 2), toplam durum yoğunluğu (TDOS) ve kısmi durum yoğunluğu (PDOS) (Şekil 3) analizleri; malzemenin elektriksel iletkenlik doğasını, Fermi enerji seviyesi (E_{Fermi}) civarındaki yük taşıyıcı dinamiklerini, atomlar arası kimyasal bağlanmanın kovalent ve iyonik

dengesini doğrudan ortaya koymaktadır. Katı hâl hidrojen depolama malzemeleri özelinde ise hidrojen atomlarının ana metalik kafes ile meydana getirdiği bağların mukavemeti, değerlik bandının derinliği ve bant aralığı büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir; zira çok kuvvetli kimyasal etkileşimler hidrojenin desorpsiyonu için istenmeyen yüksek sıcaklıklar gerektirirken, zayıf etkileşimler kafes kararsızlığına yol açmaktadır. Bu doğrultuda K_2BH_7 bileşiğinin elektronik bant dispersiyon eğrileri monoklinik Brillouin bölgesindeki yüksek simetri yolu (Z-Gamma-Y-A-B-D-E-C) boyunca incelenmiş, orbital melezleşmelerini netleştirmek amacıyla -8 eV ile +16 eV aralığında TDOS ve PDOS spektrumları hesaplanmıştır.



Şekil 2. K_2BH_7 bileşiğinin elektronik bant yapısı.



Şekil 3. Toplam ve kısmi durum yoğunluğu (TDOS / PDOS).

Hesaplanan elektronik bant dispersiyonu incelendiğinde, referans sıfır noktası olarak alınan Fermi seviyesinde durum yoğunluğunun kesin olarak sıfır olduğu ve K_2BH_7 kristalinin 6.029 eV değerinde oldukça geniş ve

doğrudan (*direct*) bir temel bant aralığına (E_g) sahip olduğu görülmektedir. Bu belirgin bant ayrışması, malzemenin klasik bir geniş bant aralıklı dielektrik yalıtkan davranışı sergilediğini kanıtlamaktadır. Değerlik bandının en üst kenarında (VBM) yer alan bantların simetri doğrultuları boyunca son derece sığ ve düz (*flat band*) bir profil sergilemesi, değerlik elektronlarının uzaysal olarak güçlü biçimde yerelleştiğini ve deşik yük taşıyıcılarının efektif kütlelerinin hayli büyük olduğunu işaret etmektedir.

Elektronik durumların orbital dağılımlarını ve kimyasal bağlanma kökenlerini ortaya koyan TDOS ve PDOS grafikleri incelendiğinde, değerlik bandı bölgesinin birbirinden bağımsız iki ana enerji aralığına ayrıldığı belirlenmiştir. Yaklaşık -8 eV ile -4 eV arasındaki alt değerlik bölgesinde yer alan keskin ve dar pikler, ağırlıklı olarak B-s ile H-s orbitallerinin güçlü örtüşmesinden meydana gelmekte olup kafes içerisindeki anyonik bor-hidrojen birimlerinin varlığını doğrulamaktadır. Fermi seviyesinin hemen altında yer alan -3.5 eV ile 0 eV aralığındaki üst değerlik bandı ise neredeyse tamamen hibritleşmiş H-s ve B-p orbitalleri tarafından kontrol edilmektedir. H-s ve B-p spektral eğrilerinin enerji ekseni boyunca mükemmel bir örtüşme sergilemesi, bor ile hidrojen atomları arasında belirgin ve yönlü kovalent bağların teşekkül ettiğini göstermektedir. Bu enerji aralığında potasyum atomlarının katkısının ihmal edilebilir seviyede kalması, K atomlarının değerlik elektronlarını anyonik kafese aktararak yapı içerisinde ağırlıklı olarak elektrostatik (iyonik) bir denge unsuru görevi üstlendiğini ortaya koymaktadır. Doğrudan bant eşiğinin ardından +6 eV civarında başlayan iletim bandı ise boş K-s ve B-p durumlarının baskın olduğu geniş ve yayvan bir enerji dağılımı sunmakta; yüksek enerjilere doğru H-s katkılarının da sürece dahil olmasıyla delokalize bir yapı kazanmaktadır.

Bütün bu veriler birlikte değerlendirildiğinde; K_2BH_7 bileşiğinin güçlü yönlü kovalent B-p ve H-s bağları ile elektrostatik K^+ iyonik etkileşimlerinin dengeli bir arada varlığı sayesinde hem termodinamik açıdan kararlı hem de 6.029 eV'lik doğrudan bant aralığıyla geniş bant yalıtkanı niteliğinde bir elektronik yapı sergilediği anlaşılmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, katı hâl hidrojen depolama uygulamaları için umut vadeden potasyum-bor heptahidrür K_2BH_7 bileşiğinin yapısal, termodinamik, elastik, elektronik ve optik özellikleri Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) tabanlı CASTEP kodu vasıtasıyla, genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA-PBE) çerçevesinde ilk-ilkeler (*ab initio*) yöntemleriyle kapsamlı biçimde incelenmiştir. Yapılan geometri optimizasyonu sonucunda K_2BH_7 kristalinin monoklinik sistemde, C_2 uzay grubu simetrisinde kararlı bir faz oluşturduğu belirlenmiş; denge örgü parametreleri a = 11.6530 Å, b = 5.2998 Å, c = 6.0988 Å ve monoklinik açı beta = 136.6118^0 olarak tespit edilmiştir. Taban durumu için hesaplanan negatif oluşum enerjisi (E_f = -0.2787 eV/atom), yapının elementel bileşenlerine kıyasla ekzotermik ve termodinamik açıdan kararlı olduğunu, dolayısıyla laboratuvar ortamında sentezlenebilir bir faz potansiyeli taşıdığını doğrulamıştır.

Mekanik kararlılık analizinde, monoklinik simetriye özgü 13 bağımsız elastik sabitin (C_{ij}) tümünün Born–Huang kararlılık kriterlerini sağladığı ve sertlik matrisinin pozitif tanımlı olduğu belirlenerek kristalin dış mekanik gerilmelere karşı dayanıklı olduğu teyit edilmiştir. Voigt–Reuss–Hill yaklaşımıyla türetilen polikristal elastik modüller doğrultusunda bulk modülü B = 8.97 GPa, kayma modülü G = 4.92 GPa ve Young modülü E = 12.49 GPa olarak elde edilmiştir. Malzemelerin deformasyon mekanizmasını tayin eden Pugh oranının B/G = 1.82 > 1.75 ve Poisson oranının υ = 0.268 > 0.26 olarak belirlenmesi, K_2BH_7 bileşiğinin belirgin bir sünek (*ductile*) davranış sergilediğini ortaya koymuştur. Bu sünek karakter, katı hâl depolama ortamlarında hidrojen soğurma ve boşaltma döngüleri sırasında kaçınılmaz olarak gerçekleşen kafes hacim genleşmelerine ve mikro çatlak oluşumlarına karşı malzemenin yapısal bütünlüğünü koruyacağını göstermesi bakımından kritik bir avantajdır. Evrensel anizotropi indeksi (A^U = 3.62) ve yönsel elastik modüller arasındaki belirgin farklar (E_x = 14.80 GPa, E_y = 6.85 GPa, E_z = 8.81GPa), kristalin X ekseni doğrultusunda rijit, Y ekseninde ise daha esnek bir anizotropik mekanik yanıt sunduğunu kanıtlamıştır.

Elektronik bant yapısı ve durum yoğunluğu (DOS/PDOS) hesaplamaları, malzemenin Fermi seviyesinde durum yoğunluğunun sıfır olduğunu ve 6.029 eV değerinde geniş, doğrudan (*direct*) bir bant aralığına sahip dielektrik bir yalıtkan niteliğinde bulunduğunu göstermiştir. Değerlik bandının en üst kenarında gözlenen düz bant profili, değerlik elektronlarının uzaysal olarak güçlü biçimde yerelleştiğine işaret etmektedir. Ayrıntılı PDOS analizleri, değerlik bandının üst sınırının temel olarak hibritleşmiş H-s ve B-p orbitallerinin oluşturduğu yönlü kovalent bağlardan meydana geldiğini; potasyum atomlarının ise değerlik elektronlarını anyonik kafese aktararak elektrostatik iyonik dengeyi sağladığını ortaya koymuştur. Bu hibrit bağ doğası, malzemenin termodinamik dengesini pekiştirmektedir.

Frekansa bağlı lineer optik fonksiyonlar, K_2BH_7 bileşiğinin statik dielektrik sabitinin $\varepsilon_1(0)\sim2.08$ olduğunu ve doğrudan bant aralığı ile uyumlu olarak optik soğurma eşiğinin yaklaşık 5.8 eV'den başladığını ortaya koymuştur. Malzeme kızılötesi ve görünür bölgede neredeyse sıfır soğurma ve sıfır optik iletkenlik sergileyerek tamamen şeffaf bir davranış gösterirken, derin ultraviyole (DUV) bölgesine girildiğinde soğurma katsayısı 10.2 eV enerjide $1.68x10^5$ cm^{-1} seviyesine ulaşarak güçlü bir UV absorpsiyon kabiliyeti sergilemiştir. Tüm spektral aralıkta yansıtıcılığın %20'nin altında kalması, bileşiğin hidrojen depolama kabiliyetine ek olarak derin UV filtreleme aygıtlarında ve optoelektronik mimarilerde şeffaf dielektrik koruyucu katman olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Tüm bu temel fiziksel parametrelerin yanı sıra K_2BH_7 bileşiğinin teorik gravimetrik hidrojen depolama kapasitesi ağırlıkça %10.41 wt olarak hesaplanmıştır. Bu kapasite, ABD Enerji Bakanlığı (DOE) teknik hedeflerinin ve birçok geleneksel metal hidrürün oldukça üzerindedir. Yarı-harmonik yaklaşımla belirlenen 553.72 K desorpsiyon sıcaklığı (T_{des}), saf KBH_4 ve $LiBH_4$ gibi klasik borohidrürlerin gerektirdiği yüksek dehidrojenasyon

sıcaklıklarının aşağıya çekildiğini ve orta sıcaklık uygulamalarında pratik hidrojen salımının mümkün olabileceğini ortaya koymaktadır.

Gelecek çalışmalar için; K_2BH_7 sisteminin hidrojen salım kinetiğini daha düşük sıcaklıklara (tercihen PEM yakıt hücresi çalışma penceresi olan ~80–120 °C bandına) taşımak amacıyla geçiş metali nanoparçacıkları (özellikle Ti, Ni, Fe) veya karbon nanotüp destekleri ile katkılanarak katalitik etkilerin araştırılması önerilmektedir. Ayrıca kafes içerisindeki hidrojen atomlarının difüzyon bariyerlerinin ve göç yollarının esnetilmiş elastik bant (*nudged elastic band* - NEB) metoduyla teorik olarak modellenmesi ile bileşiğin yüksek enerjili bilyeli öğütme (*ball milling*) yöntemiyle deneysel mekanokimyasal sentezinin gerçekleştirilmesi, bu malzemenin geleceğin katı hâl hidrojen depolama teknolojilerine kazandırılmasında kritik adımlar olacaktır.

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

Baroni, S., de Gironcoli, S., Dal Corso, A., & Giannozzi, P. (2001). Phonons and related crystal properties from density-functional perturbation theory. *Reviews of Modern Physics*, *73*(2), 515–562. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.515

Barthélémy, H., Weber, M., & Barbier, F. (2017). Hydrogen storage: Recent improvements and industrial perspectives. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(11), 7254–7262. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.178

Chu, S., & Majumdar, A. (2012). Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature*, *488*(7411), 294–303. https://doi.org/10.1038/nature11475

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

Dressel, M., & Grüner, G. (2002). *Electrodynamics of solids: Optical properties of electrons in matter*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511606168

Fox, M. (2001). *Optical properties of solids*. Oxford University Press.

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

Ley, M. B., Jepsen, L. H., Lee, Y. S., Cho, Y. W., Bellosta von Colbe, J. M., Dornheim, M., Rokni, M., Jensen, J. O., Sloth, M., Filinchuk, Y., Jørgensen, J. E., Besenbacher, F., & Jensen, T. R. (2014). Complex hydrides for hydrogen storage—new perspectives. *Materials Today*, *17*(3), 122–128. https://doi.org/10.1016/j.mattod.2014.02.013

Li, C., Peng, P., Zhou, D. W., & Wan, L. (2011). Research progress in destabilized system of complex borohydrides for hydrogen storage: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, *36*(22), 14512–14526. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.08.045

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

Orimo, S. I., 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

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

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

Segall, M. D., Lindan, P. J., Probert, M. J., Pickard, C. J., Hasnip, P. J., Clark, S. J., & Payne, M. C. (2002). First-principles methods using CASTEP. *Journal of Physics: Condensed Matter*, *14*(11), 2717–2744. https://doi.org/10.1088/0953-8984/14/11/301

Slaman, M., Dam, B., Pasturel, M., Borsa, D., Schreuders, H., van Gogh, J. H., & Griessen, R. (2007). Fiber optic hydrogen detectors containing Mg–Ni sub-stoichiometric thin films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *123*(1), 538–545. https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.09.049

Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., Shah, N., & Ward, K. R. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, *12*(2), 463–491. https://doi.org/10.1039/C8EE01157E

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

Wooten, F. (1972). *Optical properties of solids*. Academic Press.

Züttel, A. (2003). Materials for hydrogen storage. *Materials Today*, *6*(9), 24–33. https://doi.org/10.1016/S1369-7021(03)00922-2

$LiVH_5$ BİLEŞİĞİNİN YAPISAL, MEKANİK VE TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İLK İLKELER YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Dr., Sümeyra YAMÇIÇIER[1]/ Doç. Dr., Çağatay YAMÇIÇIER[2]/Prof. Dr., Cihan Kürkçü[3]

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

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

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

Özet

Temiz enerji dönüşümünde hidrojenin katı hâlde güvenli ve verimli depolanması temel araştırma alanlarından biridir. Bu çalışmada, umut vadeden bir kompleks hidrür adayı olan $LiVH_5$ bileşiğinin yapısal, mekanik ve termodinamik özellikleri, Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) tabanlı CASTEP kodu kullanılarak genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA-PBE) seviyesinde ilk ilkelerle incelenmiştir. Kristal yapı optimizasyonu, $P4/mmm$ uzay grubundaki tetragonal simetriye sahip malzemenin örgü parametrelerini $a = b = 2.8621$ Å ve $c = 4.9280$ Å olarak vermiştir. Malzemenin negatif oluşum enerjisi (-0.1115 eV/atom), yapının enerjetik ve termodinamik açıdan kararlı olduğunu teyit etmektedir. $LiVH_5$ bileşiği, %8.01 gibi yüksek bir gravimetrik hidrojen depolama kapasitesi sergilemektedir. Ayrıca bileşiğin hacimsel depolama kapasitesi (C_v) 205.60 g/L olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan elastik sertlik katsayıları (C_{ij}), tetragonal sistem için Born mekanik kararlılık kriterlerini eksiksiz sağlamaktadır. Polikristal elastik özellikler doğrultusunda; bulk modülü (B) 96.51 GPa, kayma modülü (G) 66.71 GPa ve Young modülü (E) 162.65 GPa olarak elde edilmiştir. Malzemenin B/G oranının 1.45 ve Poisson oranının 0.22 bulunması, Pugh ve Frantsevich kriterlerine göre $LiVH_5$'in gevrek bir mekanik davranış sergilediğini ortaya koymaktadır. Yapının sertliği (Tian modeli) 11.83 GPa olarak belirlenirken, evrensel anizotropi indeksinin 0.61 olması yapay elastik anizotropinin oldukça ılımlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca yüksek Debye sıcaklığı (919.51 K) ve ortalama ses hızı (5538.57 m/s), yapının güçlü kimyasal bağlara ve yüksek kafes rijitliğine sahip olduğuna işaret etmektedir. Elde edilen bulgular, $LiVH_5$ bileşiğinin yüksek depolama kapasitesi ve güçlü mekanik bütünlüğü ile hidrojen depolama uygulamalarında kayda değer bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: $LiVH_5$, Hidrojen Depolama, DFT, CASTEP, Elastik Sabitler, Mekanik Kararlılık.

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, MECHANICAL, AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF THE $LiVH_5$ COMPOUND USING THE FIRST-PRINCIPLES METHOD

Abstract

The safe and efficient storage of hydrogen in its solid state is one of the key research areas in the clean energy transition. In this study, the structural, mechanical, and thermodynamic properties of the $LiVH_5$ compound a promising candidate for a complex hydride were investigated at the first-principles level using the generalized gradient approach (GGA-PBE) within the CASTEP code based on Density Functional Theory (DFT). Crystal structure optimization yielded lattice parameters of a = b = 2.8621 Å and c = 4.9280 Å for the material, which exhibits tetragonal symmetry in the P4/mmm space group. The material's negative formation energy (-0.1115 eV/atom) confirms that the structure is energetically and thermodynamically stable. The $LiVH_5$ compound exhibits a high gravimetric hydrogen storage capacity of 8.01%. Additionally, the compound's volumetric storage capacity (C_v) was calculated to be 205.60 g/L. The calculated elastic stiffness coefficients (C_{ij}) fully satisfy the Born mechanical stability criteria for the tetragonal system. Based on the polycrystalline elastic properties, the bulk modulus (B) was determined to be 96.51 GPa, the shear modulus (G) 66.71 GPa, and the Young's modulus (E) 162.65 GPa. The material's B/G ratio of 1.45 and Poisson's ratio of 0.22 indicate that $LiVH_5$ exhibits brittle mechanical behavior according to the Pugh and Frantsevich criteria. While the structure's hardness (Tian model) was determined to be 11.83 GPa, the universal anisotropy index of 0.61 indicates that the artificial elastic anisotropy is quite moderate. Furthermore, the high Debye temperature (919.51 K) and average sound velocity (5538.57 m/s) indicate that the structure possesses strong chemical bonds and high lattice rigidity. The findings demonstrate that the $LiVH_5$ compound has significant potential for hydrogen storage applications due to its high storage capacity and strong mechanical integrity.

Keywords: $LiVH_5$, Hydrogen Storage, DFT, CASTEP, Elastic Constants, Mechanical Stability.

1. GİRİŞ

Fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi, artan sera gazı salımları ve buna bağlı küresel iklim krizleri, enerji arzında temiz, sürdürülebilir ve sıfır karbon emisyonlu alternatif enerji taşıyıcılarına yönelimi zorunlu kılmıştır (Chu & Majumdar, 2012). Bu doğrultuda moleküler hidrojen (H_2), gravimetrik enerji yoğunluğunun (~142 MJ/kg) geleneksel hidrokarbon yakıtların yaklaşık üç katı olması ve yakıt hücresinde elektrokimyasal tüketimi sonucunda yalnızca su buharı açığa çıkarması sebebiyle geleceğin en ideal yeşil enerji taşıyıcısı olarak kabul edilmektedir (Schlapbach & Züttel, 2001). Günümüzde hidrojen; yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV), ağır taşımacılık, mikro-taşınabilir güç sistemleri ve rüzgâr/güneş gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimini dengeleyen şebeke ölçekli sabit depolama sistemleri başta olmak üzere geniş bir uygulama alanına sahiptir (Staffell et al., 2019).

Bununla birlikte, hidrojen ekonomisinin geniş ölçekte ticarileşmesindeki en kritik darboğazı güvenli, ekonomik ve kompakt depolama teknolojileri oluşturmaktadır (Züttel, 2003). Konvansiyonel fiziksel depolama yöntemlerinden yüksek basınçlı gaz depolama (350–700 bar) ciddi patlama riskleri ve düşük hacimsel verim taşırken; kriyojenik sıvı depolama (20 K) ise yüksek enerji tüketen sıvılaştırma maliyetleri ve sürekli buharlaşma (boil-off) kayıpları ile sınırlıdır (Barthélémy et al., 2017). Bu teknik engelleri aşmak amacıyla, hidrojenin kimyasal veya fiziksel bağlarla kafes içine hapsedildiği katı hâl hidrojen depolama sistemleri (metal ve kompleks hidritler); yüksek hacimsel depolama kapasitesi, ılımlı çalışma basınçları ve üstün çalışma emniyeti sunarak en umut vadeden alternatif olarak öne çıkmaktadır (Sakintuna et al., 2007).

Katı hâl depolama ortamları arasında özellikle hafif alkali metaller ile geçiş metallerinin oluşturduğu kompleks hidrit sistemleri hem yüksek gravimetrik kapasite potansiyelleri hem de geçiş metallerinin sağladığı katalitik ve elektronik avantajlar sebebiyle yoğun araştırma ilgisi görmektedir (Ley et al., 2014; Orimo et al., 2007). Hafif bir alkali metal olan lityum (Li), sisteme ağırlıkça yüksek hidrojen yoğunluğu kazandırma kabiliyetine sahipken; vanadyum (V) gibi 3d geçiş metalleri hidrojen soğurma-salma reaksiyonlarının aktivasyon enerjilerini düşürmekte ve dehidrojenasyon kinetiğini belirgin biçimde iyileştirmektedir (Li et al., 2011). Bu iki elementin zengin hidrojen stokiyometrisi ile bir araya geldiği lityum vanadyum pentahidrür ($LiVH_5$) konfigürasyonu, hafif yapısı, yüksek teorik hidrojen içeriği ve güçlü kafes rijitliği beklentisiyle dikkat çekici bir potansiyel barındırmaktadır.

Literatürde geleneksel metal hidritlerin yapısal ve termodinamik parametreleri sıklıkla araştırılmış olmasına karşın, $LiVH_5$ fazının taban durumu örgü parametreleri, elastik anizotropisi, elektronik bant yapısı, kimyasal bağlanma dinamikleri ve optik yanıt fonksiyonları henüz kapsamlı bir şekilde incelenmemiştir. Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) tabanlı ilk-ilkeler (ab initio) hesaplamaları, deneysel sentez öncesinde yeni malzemelerin mekanik, elektronik ve termodinamik kararlılıklarını atomik ölçekte belirlemede rüştünü ispatlamış

güvenilir bir yöntemdir (Clark et al., 2005; Segall et al., 2002). Bu çalışmanın temel amacı; $LiVH_5$ bileşiğinin yapısal kararlılığını, mekanik ve elastik davranışını, elektronik durum yoğunluğunu ve optik özelliklerini DFT yaklaşımıyla sistematik olarak aydınlatmak ve malzemenin katı hâl hidrojen depolama sistemlerindeki uygulanabilirliğini kapsamlı biçimde değerlendirmektir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada $LiVH_5$ bileşiğinin yapısal, mekanik, elektronik ve optik özellikleri, yoğunluk fonksiyoneli teorisi (DFT) tabanlı CASTEP (Cambridge Sequential Total Energy Package) simülasyon kodu kullanılarak ilk-ilkeler (ab initio) çerçevesinde incelenmiştir (Clark et al., 2005; Segall et al., 2002). Elektronlar arasındaki değişim ve korelasyon (exchange-correlation) etkileri, genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA) dahilindeki Perdew–Burke–Ernzerhof (PBE) fonksiyoneli ile parametrize edilmiştir (Perdew et al., 1996). İyonik çekirdekler ile değerlik elektronları arasındaki elektrostatik etkileşimlerin hassas ve hesaplama açısından verimli bir biçimde tanımlanabilmesi amacıyla Ultrasoft sözde-potansiyelleri (USP) kullanılmıştır (Vanderbilt, 1990).

Kristal yapının tam taban durumu denge geometrisini elde etmek adına örgü parametreleri ve atomik iç koordinatlar, Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) kuazi-Newton enerji minimizasyon algoritması vasıtasıyla optimize edilmiştir (Pfrommer et al., 1997). Düzlem dalga baz seti için kinetik enerji kesme değeri (cut-off energy) E_{cut} = 450 eV olarak belirlenmiştir. İlk Brillouin bölgesindeki elektronik durumların integrasyonu ve ters örgü örneklemesi için Monkhorst–Pack şemasına dayalı 13x13x7 boyutlarında optimize edilmiş homojen bir k-noktası ağı uygulanmıştır (Monkhorst & Pack, 1976).

Optimize edilen taban durumu geometrisi üzerinden tek kristal elastik sabitleri (C_{ij}), sonlu gerinim–gerilme (stress–strain) ilişkisi aracılığıyla hesaplanmıştır. Elde edilen elastik tensörlerden hareketle polikristal agregalar için makroskobik bulk modülü (B), kayma modülü (G), Young modülü (E) ve Poisson oranı (ν), Voigt–Reuss–Hill (VRH) yaklaşımları çerçevesinde türetilmiştir (Hill, 1952). Bileşiğin lineer optik yanıt fonksiyonları (kompleks dielektrik fonksiyonu, optik iletkenlik, soğurma katsayısı ve yansıtıcılık); izinli doğrudan bantlar arası optik geçişlerin hesaba katıldığı kompleks dielektrik fonksiyonunun reel $\varepsilon_1(\omega)$ ve sanal $\varepsilon_2(\omega)$ bileşenleri üzerinden 0–30 eV foton enerjisi aralığında belirlenmiştir (Wooten, 1972).

3. BULGULAR

3.1. Yapısal Özellikler ve Termodinamik Kararlılık

$LiVH_5$ bileşiğinin taban durumu kristal geometrisi, BFGS algoritması ile birim hücre üzerindeki kalıntı gerilmeler ve atomlar arası net kuvvetler tamamen minimize edilene kadar optimize edilmiştir. Elde edilen denge geometrisine ait hesaplanan kristalografik veriler ve örgü parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur. Optimizasyon sonucunda $LiVH_5$ yapısının tetragonal kristal sisteminde, P4/mmm (No. 123) uzay grubu simetrisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan örgü parametreleri a = b = 2.8621 Å ve c = 4.9280 Å olarak elde edilmiştir. Eksenel

oran c/a = 1.7218 olup, birim hücrenin c kristalografik ekseni boyunca belirgin bir uzama sergilediği görülmektedir.

Malzemenin deneysel sentezlenebilirlik eğilimini ve enerjetik kararlılığını değerlendirmek amacıyla taban durumu oluşum enerjisi (E_f) formülü üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir. $LiVH_5$ için hesaplanan oluşum enerjisi değeri: E_f = -0.1115 eV/atom seviyesindedir. Elde edilen bu negatif oluşum enerjisi, yapının elementel bileşenlerine ayrışmaya kıyasla ekzotermik olarak kararlı bir faz oluşturduğunu, enerjetik açıdan tercih edilebilir olduğunu ve termodinamik bakımdan deneysel şartlarda elde edilebilir bir kararlılığa sahip olduğunu teyit etmektedir.

Ayrıca katı hâl hidrojen depolama ortamlarının performans değerlendirilmesinde temel ölçüt kabul edilen gravimetrik hidrojen depolama kapasitesi (C_{wt}%),

$$C_{WT}\% = \frac{\left(\frac{H}{M}\right)M_H}{M_{host}+\left(\frac{H}{M}\right)M_H} x100$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde $LiVH_5$ bileşiğinin %8.01 gibi yüksek bir gravimetrik hidrojen kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten bileşiğin hacimsel hidrojen depolama kapasitesi (C_v) 205.60 g/L olarak saptanmıştır. %8.01'lik gravimetrik kapasite ve 205.60 g/L hacimsel yoğunluk, ABD Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından belirlenen hedeflerin oldukça üzerinde olup malzemenin kompakt hidrojen depolama potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 1. $LiVH_5$ bileşiğinin optimize edilmiş yapısal parametreleri ve oluşum enerjisi.

Uzay grubu	Sistem	a = b (Å)	c (Å)	c/a	E_f (eV/atom)
P4/mmm	Tetragonal	2.8621	4.9280	1.7218	−0.1115

3.2. Elastik Özellikler

Kristal katıların dış mekanik yüklere, basınca ve şekil değiştirme zorlamalarına karşı sergilediği mukavemet ve elastik kararlılık, ikinci mertebe elastik sertlik tensörleri (C_{ij}) aracılığıyla belirlenmektedir. P4/mmm uzay grubundaki tetragonal simetri için bağımsız 6 elastik sertlik katsayısı (C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{33}, C_{44}, C_{66}) bulunmaktadır. Gerinim–gerilme yaklaşımıyla hesaplanan tek kristal elastik sabitleri Tablo 2'de listelenmiştir.

Tetragonal kristal kafeslerin mekanik açıdan kararlı sayılabilmesi için Born mekanik kararlılık kriterlerinin eksiksiz sağlanması zorunludur (Mouhat & Coudert, 2014). Hesaplanan değerlerin bu dört bağımsız koşulu eksiksiz sağlaması, $LiVH_5$ fazının mekanik olarak tamamen kararlı olduğunu kesinleştirmektedir.

Tablo 2. $LiVH_5$ bileşiğinin hesaplanan tek kristal elastik sabitleri (C_{ij}, GPa).

$C_{11} = C_{22}$	C_{12}	$C_{13} = C_{23}$	C_{33}	$C_{44} = C_{55}$	C_{66}
215.34	81.47	30.03	172.07	46.87	103.99

Mühendislik uygulamalarında kullanılan polikristal agregalara ait makroskobik mekanik büyüklükler; Voigt, Reuss ve bunların aritmetik ortalamasını alan Hill (VRH) yaklaşımlarıyla hesaplanmıştır (Hill, 1952). Elde edilen modüller Tablo 3'te özetlenmiştir.

Hill yaklaşımı çerçevesinde belirlenen bulk modülü (B = 96.51 GPa), malzemenin hidrostatik basınca karşı kayda değer bir sıkıştırılamazlık direncine sahip olduğunu gösterir. Şekil değişimine karşı direnci temsil eden kayma modülü G = 66.71 GPa iken, tek eksenli rijitliği temsil eden Young modülü E = 162.65 GPa olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek elastik modül değerleri, bileşiğin hidrojen yükleme-boşaltma çevrimlerinde yapısal kafes çökmesine karşı yüksek boyutsal kararlılık sunacağını göstermektedir.

Katı malzemelerin plastik deformasyon kabiliyeti veya kırılganlığı Pugh oranı (B/G) ve Poisson oranı (ν) ile karakterize edilmektedir (Pugh, 1954). B/G>1.75 ve ν> 0.26 kriterleri sünek davranışa işaret ederken; bu sınırların altındaki değerler gevrek (brittle) yapıyı temsil eder. $LiVH_5$ bileşiği için elde edilen B/G = 1.45 ve ν= 0.219 değerleri, malzemenin net bir biçimde gevrek mekanik davranış sergilediğini kanıtlamaktadır. Bu durum, Tian modeliyle hesaplanan H_v = 11.83 GPa'lık yüksek Vickers sertliği ve K_{IC} = 1.074 MPa.$m^{0.5}$ mertebesindeki düşük kırılma tokluğu ile tamamen örtüşmektedir. Yüksek sertlik aşınma direncini artırırken, düşük tokluk malzemenin mikro çatlak ilerlemelerine karşı hassas olduğunu; bu nedenle pratik hidrojen depolama tanklarında monolitik bloklar yerine toz, pelet veya kompozit matrisler hâlinde kullanılmasının daha elverişli olacağını ortaya koymaktadır.

Tablo 3. $LiVH_5$ bileşiğinin Voigt, Reuss ve Hill yaklaşımlarıyla elde edilen polikristal elastik büyüklükleri.

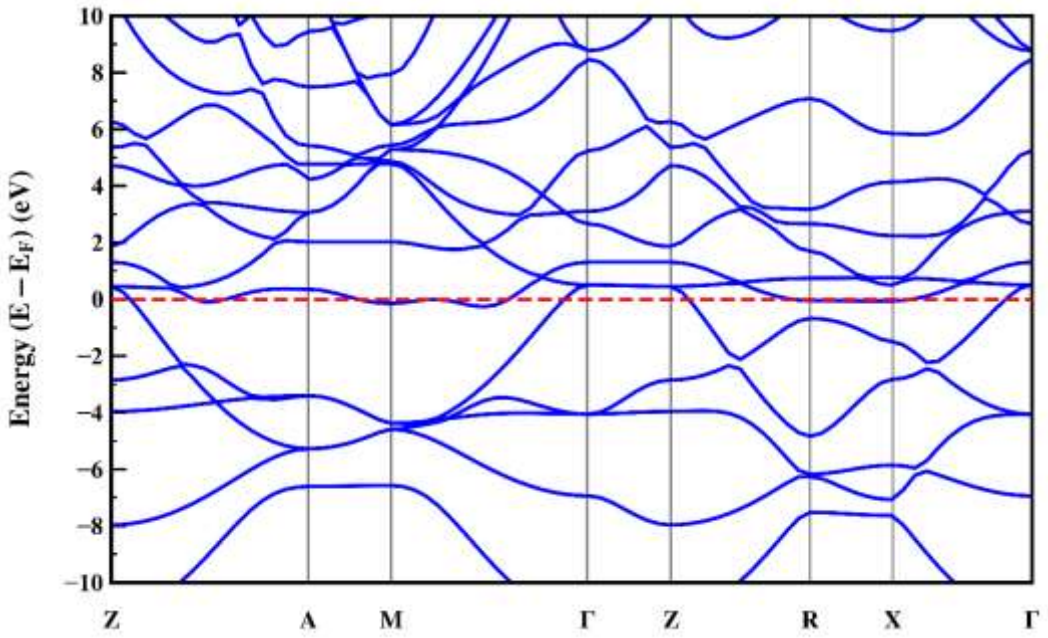
Büyüklük	Voigt	Reuss	Hill
B (GPa)	98.43	94.60	96.51
G (GPa)	70.29	63.12	66.71
E (GPa)	170.33	154.91	162.65
B/G	1.40	1.50	1.45
ν	0.212	0.227	0.219
H_v (GPa)	12.74	10.93	11.83
K_{Ic} (MPa·$m^{0.5}$)	1.114	1.035	1.074

Eksenel Young modülleri incelendiğinde; E_x = E_y = 182.44 GPa ve E_z = 165.99 GPa bulunmuştur. Z ekseni yönündeki elastik rijitlik X-Y düzlemine kıyasla yalnızca %9 oranında daha düşüktür. Bu hafif yönsel bağımlılık, evrensel elastik anizotropi indeksinin A^U = 0.61 olarak elde edilmesiyle desteklenmekte ve kristalin ılımlı bir elastik anizotropiye sahip olduğunu göstermektedir (Ranganathan & Ostoja-Starzewski, 2008). Ayrıca malzemenin elastik Debye sıcaklığı θ_D= 919.51 K, ortalama ses hızı v_m = 5538.57 m/s ve sıkıştırılabilirliği 0.0106 GPa^{-1} olarak hesaplanmıştır. 919.51 K gibi son derece yüksek bir Debye sıcaklığı ve 5538 m/s'yi aşan ses hızı,

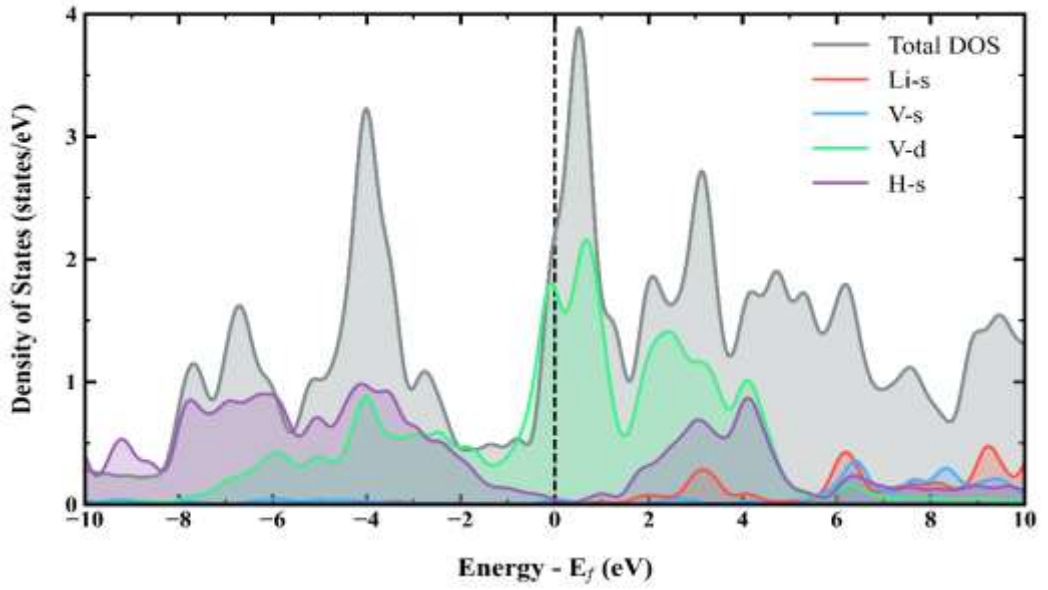
kristal kafesteki kimyasal bağların son derece kuvvetli ve kafes rijitliğinin olağanüstü yüksek olduğunu doğrulamaktadır.

3.3. Elektronik Özellikler

Kristal yapıların elektriksel iletim doğası ve atomlar arası bağlanma mekanizmaları, elektron durum yoğunlukları ve bant dispersiyon eğrileri üzerinden aydınlatılmaktadır. $LiVH_5$ bileşiğinin elektronik bant yapısı (Şekil 1) tetragonal Brillouin bölgesindeki Z-A-M-Gamma-Z-R-X-Gamma yüksek simetri yolu boyunca hesaplanmış; toplam (TDOS) ve kısmi (PDOS) durum yoğunlukları (Şekil 2) -10 eV ile +10 eV aralığında incelenmiştir.



Şekil 1. $LiVH_5$ bileşiğinin elektronik bant yapısı.



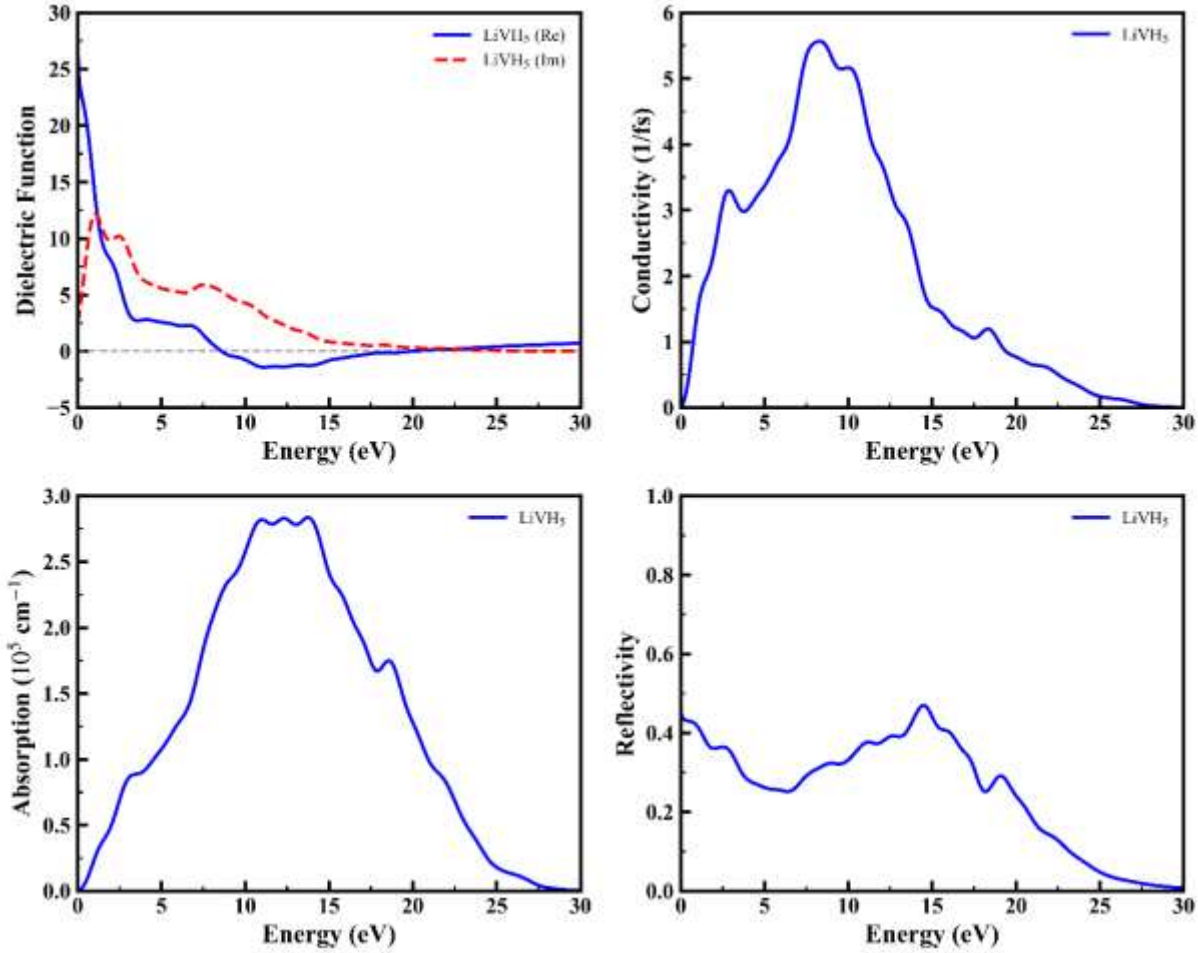
Şekil 2. Toplam ve kısmi durum yoğunluğu (TDOS / PDOS).

Hesaplanan elektronik bant yapısı incelendiğinde, referans olarak 0 eV seviyesine ayarlanan Fermi enerjisini (E_F) birden fazla enerji bandının kestiği açıkça görülmektedir. Malzemede değerlik ve iletim bantları arasında herhangi bir enerji aralığı (band gap) bulunmamakta; bu durum $LiVH_5$ kristalinin belirgin bir metalik karakter sergilediğini ortaya koymaktadır. Katı hâl hidrojen depolama malzemelerinde metalik karakter, dehidrojenasyon ve hidrojenasyon faz dönüşümleri sırasında yüzeyde ve kafes içinde serbest elektronlar aracılığıyla hızlı yük transferi sağlanmasına imkân vermekte; bu da hidrojen moleküllerinin ayrışma ve birleşme kinetiğini ivmelendiren termodinamik/kinetik bir üstünlük sunmaktadır.

TDOS ve PDOS spektrumları değerlendirildiğinde; Fermi seviyesinde sonlu bir durum yoğunluğunun ($N(E_F) > 0$) mevcut olduğu ve E_F civarındaki elektronik durumların neredeyse tamamen vanadyumun 3d (V-3d) orbitalleri tarafından kontrol edildiği belirlenmiştir. -8 eV ile -2 eV arasındaki alt enerji kuşağında H-s durumları ile V-d orbitalleri arasında kuvvetli ve yayvan bir rezonans örtüşmesi (hibritleşme) gözlemlenmektedir. Bu belirgin hibritleşme, V ile H atomları arasında güçlü yönlü bağların teşekkül ettiğini kanıtlamakta olup malzemenin hesaplanan yüksek Debye sıcaklığını ve kafes mukavemetini doğrudan açıklamaktadır. Enerji spektrumunun tamamında lityumun (Li-s) katkısının ihmal edilebilir düzeyde kalması, lityum atomlarının değerlik elektronlarını kafese bırakarak yapı içerisinde baskın olarak elektrostatik (katyonik) bir denge unsuru görevi üstlendiğini göstermektedir.

3.4. Optik Özellikler

$LiVH_5$ kristalinin lineer optik yanıtı, frekansa bağlı kompleks dielektrik fonksiyonu $\varepsilon(\omega) = \varepsilon_1(\omega) + i\varepsilon_2(\omega)$ aracılığıyla 0–30 eV foton enerjisi aralığında karakterize edilmiştir (Wooten, 1972). Dielektrik fonksiyonunun reel kısmı $\varepsilon_1(\omega)$ malzemenin polarizasyon kabiliyetini temsil ederken; sanal kısmı $\varepsilon_2(\omega)$ bantlar arası geçişlerin yol açtığı optik soğurmayı yansıtmaktadır. Bu fonksiyonlar üzerinden optik iletkenlik $\sigma(\omega)$, soğurma katsayısı $\alpha(\omega)$ ve yansıtıcılık $R(\omega)$ spektrumları elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. $LiVH_5$ bileşiğinin optik özellikleri.

Kompleks dielektrik fonksiyonunun reel bileşeni incelendiğinde; statik sıfır enerji sınırındaki dielektrik sabiti $\varepsilon_1(0)$ ~25 gibi oldukça yüksek bir değer sergilemektedir. Bu yüksek statik polarizasyon, malzemedeki serbest yük taşıyıcılarının (elektronların) varlığından kaynaklanan güçlü bir perdeleme (screening) mekanizmasını yansıtmakta ve elektronik bant yapısındaki metalik doğayı optik açıdan teyit etmektedir. Foton enerjisi arttıkça $\varepsilon_1(\omega)$ hızla azalarak 10–15eV enerji bandında negatif değerlere gerilemekte, bu plazmonik ekranlama davranışı malzemenin kolektif serbest elektron salınımlarına (plazmon rezonansına) işaret etmektedir. Sanal bileşen $\varepsilon_2(\omega)$ ise sıfır foton enerjisinde sonlu bir değerden başlamakta olup metalik sistemlere özgü Drude benzeri serbest taşıyıcı uyarılmalarını doğrulamaktadır.

Optik iletkenlik $\sigma(\omega)$ spektrumu, sıfır enerjide sonlu bir başlangıç sergileyerek enerjinin artışıyla yükselmekte ve yaklaşık 8 eV en yüksek tepe noktasına (~ 5.5 fs^{-1}) ulaşmaktadır. Malzemenin optik soğurma spektrumu $\alpha(\omega)$ incelendiğinde; soğurmanın sıfır enerjiden itibaren aktif olduğu, 10–14 eV enerji bandında ise $2.8x10^5$ cm^{-1} mertebesinde güçlü bir plato oluşturduğu saptanmıştır. Optik yansıtıcılık $R(\omega)$ eğrisi ise sıfır frekans sınırında $R(\omega)$~0.44$ (%44) seviyesindedir. Bu kayda değer yansıtma katsayısı, serbest elektronların ışığı yansıtmasıyla

ortaya çıkan metalik parlaklık özelliğini kanıtlamaktadır. Katı hâl hidrojen depolama aygıtlarında yansıtıcılık ve geçirgenlik spektrumlarında hidrojen yükleme/boşaltma esnasında meydana gelen değişimler, ince film sensör mimarilerinde hidrojenasyon derecesinin optik olarak eş zamanlı (in situ) izlenebilmesine olanak tanımaktadır (Slaman et al., 2007).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, katı hâl hidrojen depolama uygulamaları için umut vadeden $LiVH_5$ kompleks hidrit bileşiğinin yapısal, mekanik, elektronik, elastik ve optik özellikleri; Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) tabanlı CASTEP kodu kullanılarak genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA-PBE) çerçevesinde ilk-ilkeler yöntemleriyle kapsamlı biçimde incelenmiştir. Geometri optimizasyonu sonucunda $LiVH_5$ kristalinin P4/mmm uzay grubunda tetragonal simetride kararlı bir faz meydana getirdiği belirlenmiş; optimize örgü parametreleri a = b = 2.8621 Å ve c = 4.9280 Å (c/a = 1.7218) olarak hesaplanmıştır. Taban durumu için elde edilen negatif oluşum enerjisi (E_f = -0.1115 eV/atom), yapının elementel bileşenlerine kıyasla enerjetik ve termodinamik açıdan kararlı olduğunu ve deneysel olarak sentezlenebilir bir nitelik taşıdığını teyit etmiştir. Malzemenin teorik hidrojen depolama kabiliyeti değerlendirildiğinde, ağırlıkça %8.01 gibi oldukça yüksek bir gravimetrik depolama kapasitesi ve 205.60 g/L hacimsel hidrojen yoğunluğu sergilediği görülmüştür. Bu kapasite değerleri, ABD Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından belirlenen teknik hedeflerin oldukça üzerinde olup $LiVH_5$'in hafif ve kompakt depolama sistemleri için kayda değer bir aday olduğunu ortaya koymaktadır.

Mekanik kararlılık analizinde, tetragonal simetriye özgü bağımsız 6 elastik sertlik katsayısının (C_{11}=215.34, C_{12}=81.47, C_{13}=30.03, C_{33}=172.07, C_{44}=46.87, C_{66}=103.99 GPa) Born kararlılık kriterlerini eksiksiz sağladığı belirlenerek kristalin mekanik mukavemeti ve kararlılığı kanıtlanmıştır. Voigt–Reuss–Hill (Hill) yaklaşımıyla polikristal modüller bulk modülü B = 96.51 GPa, kayma modülü G = 66.71 GPa ve Young modülü E = 162.65 GPa şeklinde elde edilmiştir. Malzemenin deformasyon dinamiğini tayin eden Pugh oranının B/G = 1.45 < 1.75 ve Poisson oranının υ= 0.22 < 0.26 olarak saptanması, $LiVH_5$ bileşiğinin belirgin bir kırılgan (brittle) karaktere sahip olduğunu doğrulamıştır. Bu durum, 11.83 GPa düzeyindeki yüksek Vickers sertliği ve 1.074 MPa.m$^{0.5}$ mertebesindeki düşük kırılma tokluğu dengesiyle uyum içerisindedir. Malzemenin elastik Debye sıcaklığının θ_D= 919.51 K ve ortalama ses hızının v_m = 5538.57 m/s gibi yüksek değerlere ulaşması kafes rijitliğinin ve atomlar arası kimyasal bağların son derece kuvvetli olduğunu gösterirken; 0.61 olarak hesaplanan evrensel anizotropi indeksi (A^U) yapay elastik yön bağımlılığının ılımlı bir düzeyde kaldığını işaret etmektedir.

Elektronik bant yapısı ve durum yoğunluğu (DOS/PDOS) hesaplamaları, enerji bantlarının Fermi seviyesini kestiğini ve yapıda herhangi bir bant aralığı bulunmadığını göstererek $LiVH_5$'in iletken metalik karakterini ortaya koymuştur. Fermi seviyesi civarındaki durumlar baskın olarak V-3d orbitalleri tarafından kontrol edilirken, değerlik kuşağında V-d ile H-s orbitalleri arasında gözlemlenen kuvvetli hibritleşme yapının yüksek kafes

mukavemetini açıklamaktadır. Bu metalik iletkenlik, hidrojen depolama süreçlerinde faz dönüşümleri esnasında hızlı yük transferine zemin hazırlayarak emme ve salma reaksiyon kinetiğini kolaylaştıran mühim bir avantaj sunmaktadır. Optik yanıt fonksiyonları ise statik dielektrik sabitinin $\varepsilon_1(0)\sim25$ seviyesinde bulunması, optik iletkenliğin sıfır enerjide sonlu değer alması ve sıfır frekansta $R(0)\sim0.44$ mertebesindeki metalik yansıtıcılık ile elektronik yapıdaki serbest elektron katkısını ve metalik davranışı desteklemiştir.

Gelecek araştırmalar için, $LiVH_5$ fazının deneysel olarak üretilebilmesi adına reaktif bilyeli öğütme (reactive ball milling) yöntemiyle hidrojen gazı atmosferinde mekanokimyasal sentez süreçlerinin gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Malzemenin saptanan gevrek doğası ve düşük kırılma tokluğu dikkate alındığında, hidrojenasyon ve dehidrojenasyon çevrimleri sırasında kafes hacim genleşmelerinin sebep olabileceği mekanik ufalanma ve mikro çatlak ilerlemelerini engellemek amacıyla bileşiğin nano-toz hâlinde gözenekli karbon iskeletler (grafen, karbon nanotüp) veya hafif polimer matriksler içerisinde kompozit formda yapılandırılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, hidrojen desorpsiyon kinetiğini daha ılımlı sıcaklıklara çekebilmek adına yapıya Ti, Ni veya Fe gibi geçiş metallerinin nano ölçekte katalitik katkılanması ile hidrojen atomlarının kafes içi difüzyon bariyerlerinin esnetilmiş elastik bant (NEB) ve ilk-ilkeler moleküler dinamik (AIMD) simülasyonlarıyla modellenmesi, bu malzemenin hidrojen teknolojilerindeki pratik uygulamalarına yönelik önemli adımlar olacaktır.

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

Baroni, S., de Gironcoli, S., Dal Corso, A., & Giannozzi, P. (2001). Phonons and related crystal properties from density-functional perturbation theory. *Reviews of Modern Physics*, 73(2), 515–562. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.515

Barthélémy, H., Weber, M., & Barbier, F. (2017). Hydrogen storage: Recent improvements and industrial perspectives. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(11), 7254–7262. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.178

Chu, S., & Majumdar, A. (2012). Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature*, 488(7411), 294–303. https://doi.org/10.1038/nature11475

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

Dressel, M., & Grüner, G. (2002). *Electrodynamics of solids: Optical properties of electrons in matter*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511606168

Fox, M. (2001). *Optical properties of solids*. Oxford University Press.

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

Ley, M. B., Jepsen, L. H., Lee, Y. S., Cho, Y. W., Bellosta von Colbe, J. M., Dornheim, M., Rokni, M., Jensen, J. O., Sloth, M., Filinchuk, Y., Jørgensen, J. E., Besenbacher, F., & Jensen, T. R. (2014). Complex hydrides for hydrogen storage—new perspectives. *Materials Today*, 17(3), 122–128. https://doi.org/10.1016/j.mattod.2014.02.013

Li, C., Peng, P., Zhou, D. W., & Wan, L. (2011). Research progress in destabilized system of complex borohydrides for hydrogen storage: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(22), 14512–14526. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.08.045

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

Orimo, S. I., 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

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). 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), Article 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

Segall, M. D., Lindan, P. J., Probert, M. J., Pickard, C. J., Hasnip, P. J., Clark, S. J., & Payne, M. C. (2002). First-principles methods using CASTEP. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 14(11), 2717–2744. https://doi.org/10.1088/0953-8984/14/11/301

Slaman, M., Dam, B., Pasturel, M., Borsa, D., Schreuders, H., van Gogh, J. H., & Griessen, R. (2007). Fiber optic hydrogen detectors containing Mg–Ni sub-stoichiometric thin films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 123(1), 538–545. https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.09.049

Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., Shah, N., & Ward, K. R. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, 12(2), 463–491. https://doi.org/10.1039/C8EE01157E

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

Wooten, F. (1972). *Optical properties of solids*. Academic Press.

Züttel, A. (2003). Materials for hydrogen storage. *Materials Today*, 6(9), 24–33. https://doi.org/10.1016/S1369-7021(03)00922-2

SİHİR OLMAYAN TEKNOLOJİ: YAPAY ZEKÂ

Prof. Dr. Süreyya KARSU[1]

[1]Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Pazarlama, karsu_s@ibu.edu .tr, ORCID: 0000-0002-2724-7420

Özet

Bilgisayarların ve akıllı makinelerin/ cihazların insanlara özgü öğrenme, kavrama, problem çözme, karar verme, yaratıcılık ve özerklik süreçlerini taklit edebilmesini sağlayan yapay zekâ (YZ) teknolojisi (Stryker ve Kavlakoğlu, 2026), dünya genelindeki işletmelerin yüzde 94'ünde iş süreçlerinin en az bir aşamasında kullanılmaktadır (Naik, 2026). YZ teknolojisi kullanımındaki hız 2026'da da devam etmiş örneğin, ChatGPT düzenli kullanıcısı 900 milyon ve Google Gemini 750 milyon değerine ulaşmıştır (Zao-Sanders, 2026). YZ kullanımı dünya genelinde çalışma çağındaki nüfusun yüzde 17,8'inde aktif kullanılmakta, küresel işletmeler YZ yatırımlarını yüzde 130'luk artışla 581 milyar dolara taşımıştır (Technource, 2026).

İşletme ve bireysel kullanıcı sayısının her gün artarak devam ettiği YZ teknolojilerinin gündelik yaşamda ve iş süreçlerinde olumlulukları bulunmaktadır. Ancak YZ kullanımı arttıkça YZ teknolojisinin olumsuz karar süreçleri, hatalı işleyiş, yanlış tahminleme, hatalı rapor/ bilgi sunumu gibi durumların yaşanması da söz konusu olmuştur. Lugo (2026), "kazançları ölçmek zor olsa da kayıpları ölçmek kolaydır" ifadesi ile olumsuz durumların işletmelerde çok kısa sürede karşılık bulacağına işaret eder. DeBoe (2026), işletmelerin ölçümünü bu denli az yaptıkları bir teknolojiye daha önce hiç bu kadar büyük harcama yapmadığını belirtir. Dünya çapında işletmelerin yüzde 59'u YZ teknolojisine yılda 1 milyon dolar ve üstü harcama yapmakta yalnızca yüzde 29'u olumlu getiriler elde etmektedir (Writer Team, 2026). 95 ülkeden 4.454 üst düzey yöneticinin katılımı ile gerçekleşen PwC 2026 Küresel CEO Araştırma sonucunda, işletmelerin yüzde 12'sinde YZ kullanımı sayesinde daha yüksek gelir, daha az gider sağlandığı, yüzde ellisinde ise YZ kullanımının herhangi bir etki yapmadığı belirtilmiştir.

YZ teknolojisi sihir ve sonsuz başarı sunmamaktadır. İlgili çalışmanın amacı göz ardı edilemeyecek denli güçlü ve ileri yönlü bir teknoloji olan YZ kullanımı ile işletmelerde gerçekleşen olumsuz durumların literatür kapsamında incelenmesidir. Çalışmanın, YZ teknolojisi kullanımı sonucunda işletmelerin yaşadıkları başarısızlıklar üzerinde yoğunlaşması yönü ile özgün olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, Yapay zekâ teknolojisi, Yatırımın geri dönüş oranı

Abstract

Artificial intelligence (AI) technology enables computers and smart machines or devices to mimic human-like processes such as learning, comprehension, problem-solving, decision-making, creativity, and autonomy (Stryker and Kavlakoğlu, 2026). AI is utilized in at least one stage of business processes within 94% of businesses worldwide (Naik, 2026). The rapid adoption of AI technology continued in 2026. For instance, the number of regular users reached 900 million for ChatGPT and 750 million for Google Gemini (Zao-Sanders, 2026). AI is actively used by 17.8% of the global working-age population and global businesses increased their AI investments by 130%, bringing the total to $581 billion (Technource, 2026).

AI technologies, the adoption of which by businesses and individual users continues to grow daily, offer benefits in both daily life and business processes. However, as AI usage increases, problems as adverse decision-making processes, operational errors, inaccurate forecasting, and the erroneous reports/ information also arise. Lugo (2026) points out that while gains may be difficult to quantify, losses are easily measured, suggesting that the negative consequences of AI will quickly manifest within businesses. DeBoe (2026) notes that businesses have never before invested so much in a technology that they measure such few. All over the world, 59% of businesses spend $1 million or more annually on AI technology, yet only 29% achieve positive returns (Writer Team, 2026). The PwC 2026 Global CEO Survey, which involved 4,454 senior executives from 95 countries, revealed that 12% of businesses achieved higher revenues and lower costs through AI adoption, whereas 50% saw no impact from its use.

AI technology does not offer magic or guaranteed success but also cannot be neglected. It has great power. The aim of this study is to examine the AI, adverse situations encountered by businesses with AI within the literature. And the study is considered unique in its focus on the failures experienced by businesses because of utilizing AI technology.

Keywords: Artificial intelligence, Artificial intelligence technology, Return on investment rate

1. GİRİŞ

Yapay zekâ teknolojisi günümüzde fütüristik bir kavram olmaktan çıkmıştır; işletmelerin gelişmelerinde, büyümelerinde iş stratejisi, müşteri deneyimi, hizmetlerde yenilik, iş modellemeleri, lojistik vb. iş alanlarına destsek sunan yapı taşı haline gelmiştir. Küresel dünyanın ekonomi dinamiklerinde yapay zekâyı bu kapsamda anlaşılması ve işletme faaliyetlerine bu çerçevede destek vermesi günümüzde bir tercih ve/ veya gelişim önerisi değil var oluşsal bir dinamiktir.

Her olguda ve/ veya olayda olduğu gibi yapay zekâ teknolojisinin de hem pozitif hem de negatif noktaları bulunmaktadır. Kullanım deneyimi arttıkça başarılı olunması durumu ise yapay zekâ teknolojisi için bu doğrusal oranı yakalayamamaktadır. Yapay zekâ teknolojisinin beraberinde getirebileceği risklerin açıklıkla ve net bir bakış açısı ve stratejik öngörü ile yönetebilmesi çok önemlidir.

Bu çalışmada yapay zekâ yatırımlarının getirisi konusu, yapay zekâ teknolojisinin sınırlılıkları ve engelleri çerçevesinde sürdürülebilir teknolojik dönüş olarak nitelikti sınırlarını ve liderlerin sürdürülebilir bir dönüşüm sağlamak adına aşmaları gereken uygulama engelleri ele alınmaktadır. Ayrıca, yapay zekâ teknolojisine yapılan yatırımlar temelinde mevcut durumun ne olduğu, çeşitli sektörlerde elde edebileceği başarı puanların bilinmelidir.

1.1. Yapay Zekâ Teknolojisi Kavramsal Çerçeve

Yapay zekâ dil anlama, görüntü tanıma, veriden öğrenme, akıl yürütme ve karar verme gibi insan benzeri bir zekâyla görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemlerini kapsayan geniş bir terimdir (Standford University, 2026). Bir makinenin muhakeme, öğrenme, planlama ve yaratıcılık gibi insan benzeri yetenekler sergileme becerisi olarak belirtilen YZ, teknik sistemlerin çevrelerini algılamasını, algıladıklarını değerlendirmesini, sorunları çözmesini ve belirli bir hedefe ulaşmak üzere harekete geçmesini sağlar (European Parliament, 2023). Belirli hedeflere ulaşmak amacıyla çevresini analiz edip belli bir düzeyde özerklikle eyleme geçen ve akıllı davranışlar sergileyen sistemleri ifade eder (European Commission, 2019).

NASA (2026) YZ tanımlamasında şu özelliklere yer vermektedir;

- Değişken ve öngörülemez koşullar altında, önemli bir insan gözetimi olmaksızın görevleri yerine getiren ya da veri setlerine maruz kaldığında deneyimden öğrenip performansını geliştirebilen her türlü yapay sistem.
- İnsan benzeri algılama, biliş, planlama, öğrenme, iletişim veya fiziksel eylem gerektiren görevleri çözen; bilgisayar yazılımı, fiziksel donanım veya başka bir bağlamda geliştirilmiş yapay sistem.
- Bilişsel mimariler ve sinir ağları da dahil olmak üzere, bir insan gibi düşünecek veya hareket edecek şekilde tasarlanmış yapay sistem.
- Bilişsel bir görevi taklit etmek veya ona yaklaşmak üzere tasarlanmış, makine öğrenimi de dahil olmak üzere bir dizi teknik.

- Algılama, planlama, muhakeme, öğrenme, iletişim kurma, karar verme ve eyleme geçme süreçlerini kullanarak hedeflere ulaşan akıllı yazılım ajanları veya fiziksel gövdeye sahip robotlar dahil olmak üzere, rasyonel hareket edecek şekilde tasarlanmış yapay sistem.

YZ tabanlı sistemler; örneğin çevrimiçi ortamda faaliyet gösteren sesli asistanlar, görüntü analiz yazılımları, arama motorları, konuşma ve yüz tanıma sistemleri gibi tamamen yazılım tabanlı yapılar/ sistemler olabileceği gibi, örneğin gelişmiş robotlar, otonom araçlar, dronlar veya nesnelerin interneti uygulamaları gibi donanım cihazları ile bütünleştirilmiş sistemler de olabilir (European Commission, 2019). Modern YZ genellikle büyük miktardaki verilerde örüntüler bularak ve bu örüntüleri tahminler ya da yanıtlar üretmekte kullanarak çalışmaktadır. YZ, belirli bir görevde uzmanlaşmış biçimde dar kapsamlı olabileceği gibi, günümüzdeki çok sayıda görevi yerine getirebilen büyük dil modelleri gibi daha genel amaçlı da olabilir (Standford University, 2026).

1.1.1. Yapay Zekâ Türleri

Farklı yeteneklere sahip bir dizi teknolojiyi içeren YZ, satrançta büyük ustaları yenebilen tepkisel makine yapay zekâsından teorik aşamada olan öz farkındalığa sahip yapay zekâya öğrenen, uyum sağlayan ve/ veya otonom şekilde hareket eden sistemleri içerir (Tiwari, 2026). Her şeyden önce *rasyonel bir sistem* olma (Russell ve Norvig, 2009) özelliği üzerinde durulan YZ teknolojisi çok yönlüdür. Çok çeşitli durumlar ve senaryolar dahilinde sayısız biçimde uygulamalar yürütebilir bu çerçevede YZ teknolojisinin türlerinin anlaşılırlığını sağlamak değerlidir (Syracuse University, 2025). Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve pek çok diğer gelişmelerin etkisi ile YZ teknolojisi sürekli ve hızlı biçimde değişmektedir. Bu değişim dinamiğinde YZ sınıflandırmalarının ve terminolojisinin farklı bakış açılarına göre farklılık gösterebileceği ve/ veya birbirleri ile örtüşebileceği düşünülmekle birlikte genel kategorizasyonda YZ türleri büyük ölçüde (i) YZ yetenekleri ve (ii) YZ işlevleri şeklinde iki temel başlıkta incelenir (IBM Data & IBM Team, 2026).

1.1.1.1. Yeteneklerine Göre Yapay Zekâ Türleri

Yapay zekâ ne kadar geniş bir kapsamda düşünebildiği ve hareket edebildiği temelinde yeteneklerine göre üç türde kategorize edilmektedir; Dar Yapay Zekâ, Genel Yapay Zekâ ve Süper Yapay Zekâ bu kategorizasyon, YZ teknolojisinin artan yetenek düzeylerini yansıtmaktadır (Tiwari, 2026).

Dar Yapay Zekâ (Artificial Narrow AI-ANI): Bu sistemler, tek bir görevi veya sınırlı bir işlev alanını insan zihninden çok daha hızlı ve iyi bir şekilde yerine getirmek üzere eğitilebilir ancak, kendilerine tanımlanan görevin dışına çıkamazlar. Bilişsel yeteneklerin tek bir alt kümesine odaklanan Dar Yapay Zekâ, o alanda gelişim gösterir. Siri, Amazon Alexa ve IBM Watson®; Dar YZ örnekleridir. ChatGPT'de metin tabanlı sohbet gibi tek bir görevle sınırlı olduğu için bir tür Dar YZ olarak kabul edilir. Dar Yapay Zekâ, günümüzde var olan tek yapay zekâ türüdür. Diğer tüm yapay zekâ türleri *henüz* teorik düzeydedir (IBM Data & IBM Team, 2026).

Genel Yapay Zekâ (General AI- AGI): İnsanın bilişsel yeteneklerine denk veya onlardan üstün bir düzeyde, çok çeşitli görevler genelinde bilgiyi anlayabilen, öğrenebilen ve uygulayabilen makineleri ifade eden Genel yapay zekâ, bilince, öz farkındalığa ve bağımsız karar verme yeteneğine sahip olacağı düşünülmektedir (Tiwari, 2026). Güçlü Yapay Zekâ olarak da bilinen Genel Yapay Zekâ günümüzde henüz teorik bir kavramdan ibarettir (IBM Data & IBM Team, 2026; Tiwari, 2026). Temel modellerin insanlar tarafından eğitilmesine gerek kalmaksızın, farklı bağlamlardaki yeni görevleri yerine getirmek için önceki öğrenimlerini ve becerilerini kullanabileceği ön görülen Genel Yapay Zekâda bu yetenekler yapay zekânın bir insanın yapabildiği her türlü entelektüel görevi öğrenmesini ve gerçekleştirmesini sağlayacaktır (IBM Data & IBM Team, 2026).

Süper Yapay Zekâ (Artificial Superintelligence- ASI), yapay zeka gelişiminin zirvesini temsil eder; en karmaşık sorunları çözebilen ve benzeri görülmemiş sonuçlar ortaya koyabilen, eşsiz bir uzman olması durumudur (DDI Development, 2024). Tamamen teorik bir kavramdan ibaret olan Süper Yapay Zekâ bir gün hayata geçirildiğinde düşünecek, muhakeme yapacak, öğrenecek, yargılarda bulunacak ve insanlarınkini aşan bilişsel yeteneklere sahip olacaktır (IBM Data & IBM Team, 2026).

1.1.1.2.İşlevlerine Göre Yapay Zekâ Türleri

Yeteneklere dayalı üç türden biri olan Dar Yapay Zekânın altında, Reaktif Makine Yapay Zekâ ve Sınırlı Bellekli Yapay Zekâ olmak üzere iki işlevsel yapay zekâ kategorisi yer alır (IBM Data & IBM Team, 2026).

Reaktif Makine Yapay Zekâ, önceden tanımlanmış algoritmalara ve verilere dayanır. Yeni bilgilerden öğrenemezler veya öngörülemeyen durumlara uyum sağlayamaz. Önceden belirlenmiş kurallara göre hamleleri dikkatlice hesaplayan Deep Blue gibi satranç programları Reaktif Makinelerin örnekleri arasındadır. Üretim hatlarında ürünleri hassas ve tekrarlayan bir sırayla bir araya getiren robotlar Reaktif Yapay Zekâ ile çalışır. İşletmeler için bu yapay zekâ türü, otomasyonun temelini oluşturmaktadır (DDI Development, 2024).

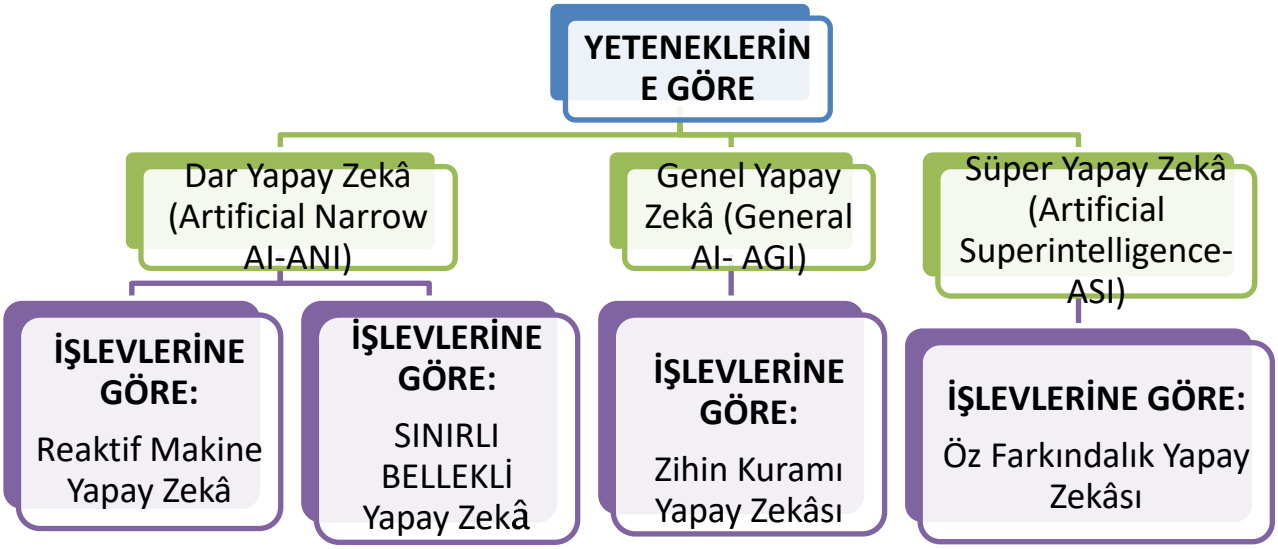
Sınırlı Bellekli Yapay Zekâ, geçmiş olayları ve sonuçları hatırlayabilir, belirli nesneleri veya durumları zaman içinde izleyebilir. Sınırlı Bellekli Yapay Zekâ, hedeflenen sonuca ulaşmaya en çok katkı sağlayacak hareket tarzına karar vermek için hem geçmişe ait hem de o anki verileri kullanabilir. Ancak, Sınırlı Bellekli Yapay Zekâ geçmiş verileri belirli bir süre boyunca kullanabilse de bu verileri uzun vadede yararlanmak üzere bir geçmiş deneyimler kütüphanesinde saklayamaz. Zaman içinde gelişen teknoloji ile daha fazla veriyle eğitildikçe, Sınırlı Bellekli Yapay Zekânın performansı iyileşebileceği ön görülmektedir (IBM Data & IBM Team, 2026).

Zihin Kuramı Yapay Zekâsı, Genel Yapay Zekânın altında yer alan işlevsel bir yapay zekâ kategorisidir. Günümüzde henüz gerçekleştirilebilmiş bir yapay zeka biçimi olmasa da Zihin Kuramı işlevine sahip yapay zekâ, diğer varlıkların düşüncelerini ve duygularını anlayabilir (IBM Data & IBM Team, 2026) nitelikte tasvir edilmektedir. Bu yapay zekâ türü insanların düşüncelerini ve duygularını anlayıp bunlara uygun tepkiler vermeyi

amaçlayan yapay zekânın gelecekteki bir aşamasını temsil eder. Mevcut yapay zeka sistemleri komutlar ve veriler temelinde çalışırken, Zihin Kuramı Yapay Zekâsı duygusal ipuçlarını yorumlama ve tepkilerini buna göre ayarlama yeteneğine sahiptir (Syracuse University, 2025). Duygu Yapay Zekâsı, şu anda geliştirilmekte olan bir Zihin Kuramı Yapay Zekâsıdır; araştırmacılar, sesleri, görüntüleri ve diğer veri türlerini analiz ederek, insanları duygusal düzeyde tanıma, simüle etme, izleme ve uygun şekilde yanıt verme yeteneğine sahip olacağını düşünmektedir (IBM Data & IBM Team, 2026).

Öz Farkındalık Yapay Zekâsı kavramı şu anda yalnızca bilim kurgu ve teorik tartışmalarda mevcuttur; makinelerin bilinç ve öz farkındalığa sahip olacağı varsayımsal bir yapay zekâ aşamasını temsil eder (Syracuse University, 2025).Üstün yapay zekâ yeteneklerine sahip olacak uygulamalar için bir tür işlevsel yapay zekâ kategorisi olan bu tür de tamamen teorik bir kavramdır hayata geçirilebilmesi durumunda Öz Farkındalık Yapay Zekâsının kendi içsel durumlarını ve özelliklerinin yanı sıra insan duygularını ve düşüncelerini de anlama yeteneğine sahip olacağı ifade edilmektedir (IBM Data & IBM Team, 2026).

Şekil 1.1. Yapay Zekâ Türleri



IBM Data & IBM Team, 2026; DDI Development, 2024; European Parliament, 2023 kaynaklarındna faydalanarak Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Günümüz itibari ile çok önemli teknolojik olanakların sunulduğu bir dönem yaşıyoruz. Yapay zekân türleri temelimde insanlığın gelişimine sunduğu olanaklar elbette yadsınamaz kolaylık, hız ve konforu sağlamaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gerekli en önemli taraf yapay zekânın yalnızca bir bilgisayar yazılımı olmasından ziyade iş süreçlerini, günlük yaşamı dönüştürecek güçte teknolojik, ekonomik ve sosyal etkilerinin olduğunun bilinmesidir. Bu çerçevede başarıya ulaşan projeler, yapay zekâyı yalnızca bir araç olarak değil, aynı zamanda kültürel bir dönüşümün itici gücü olarak ele alanların gerçekleştirdiği projelerdir. Yapay zekânın başarılı bir şekilde yönetim süreçlerinde benimsenmesi, matematikten ziyade zihniyetle ilgilidir. Strateji,

kültür ve liderlik; algoritmalardan ve veri platformlarından çok daha büyük bir öneme sahiptir. Gerçek ilerleme, işletmelerin, kurum ve kuruluşların yapay zekâ dönüşümünün temelinde teknolojik değil, insana dair bir zorluk yattığını kabul etmeleriyle sağlanabilir (Thomsen, 2026).

1.2. Yapay Zekâ Teknolojisinde Yatırım Getirisi

Yatırım getirisi ya da yatırımın geri dönüş oranı olarak açıklanan Return on Investmet (ROI), bir yatırımın verimliliğini ve/ veya kârlılığını değerlendirmek için kullanılan performans ölçütüdür (Fernando, Mansa ve Eichler, 2026).Sciencedirect (2026) da ilgili yatırım getirisi ölçütünün, bir yatırımın verimliliğini değerlendirmek veya çeşitli yatırımların verimliliklerini karşılaştırmak için kullanıldığını belirtir. Hopkinson (2025), yatırım getirisini işletmelerde, kurum ve kuruluşlarda karar vericilerin bir yatırımın maliyetlerini getirileriyle kıyaslayarak söz konusu yatırımın değerini değerlendirmelerine yardımcı olan bir ölçüt olarak tanımlamaktadır.

Lloveras (2024), işletmelerde, kurum ve kuruluşlarda, iş dünyasında karar verme sürecinin kesin ve güvenilir bilgi gerektiren karmaşık bir süreç olduğunu belirtir ve kısa vadeli yatırım kararları almada en yaygın kullanılan ölçütlerden birinin, yatırım getirisi (ROI) olduğunu açıklar. Yatırım getirisi, bir yatırımın kârlılığını ölçen finansal bir metrik olarak açıklanır.

Yatırım getirisi, işletmelerin çeşitli yatırım kararlarını değerlendirmek ve bunları başlangıç maliyetleriyle kıyaslamak açısından yararlıdır ve işletmeler gelecekteki ve/ veya geçmişteki yatırımları değerlendirirken yatırım getirisi hesaplamalarından yararlanır. Bireyler, kendi kişisel yatırımlarını değerlendirmek ve yatırım portföylerindeki ister bir hisse senedi isterse küçük bir işletmedeki finansal pay olsun bir yatırımı bir diğeriyle kıyaslamak amacı ile yatırım getirisi hesaplamasından faydalanabilirler (Gillis, 2024). Yatırım getirisi hesaplamasının öncülü belirli bir dönemde yatırım sonucunda elde edilen gelirin ve bu yatırımla ilişkili giderlerin bilinmesinin gerekliliğidir (Lloveras, 2024). Fernando vd. (2026) yüzde olarak ifade edilen yatırım getirisinin bir yatırımın maliyetine kıyasla sağladığı kârı ölçen finansal bir oran olduğunu belirtir ve yatırımın getirisini etkileyen temel ögeleri ilk yatırım tutarı, devam eden bakım maliyetleri ve yatırımın yarattığı nakit akışı olarak açıklar.

Yatırım getiri ölçümünde faydalanılan en genel formül; gelirden yatırım giderlerinin çıkarılması, elde edilen sonucun başlangıçtaki yatırım giderlerine bölünmesi ve son olarak yatırım getirisinin yüzde değerini bulmak için sonucun 100 ile çarpılması işlemlerinden oluşur (Lloveras, 2024). Yatırım getirisi formülü; ROI = [(Gelir – Yatırım) / Yatırım] * 100.

Ticari işlemlerde yer alan her ekonomik değer “yatırım getirisi” ile ölçülür; yeni teknolojinin maliyeti, kârdaki artışla kıyaslanır; yatırımın getirisini hesap edebilmek için yatırım getirisi yatırım maliyetine bölünür. Elde edilen sonuç, yüzde veya oran olarak ifade edilmektedir (Sciencedirect, 2026).

Lloveras (2024), yatırım getirisi uygulamalarını üç temel örnek kapsamında açıklar;

(i) Pazarlama alanında yatırım getirisi hesaplamanın çeşitli yollarından bir tanesi şöyle formülleştirilmiştir;

$$\text{ROI} = \left(\frac{\text{Satış artışı} - \text{kampanya maliyeti}}{\text{kampanya maliyeti}}\right) \cdot 100$$

(ii) Örneğin teknoloji sektöründe hesaplama, şu formül kullanılarak bir yazılım yatırımının performansına odaklanılır;

$$\text{ROI} = \left(\frac{\text{Artan faydalar} - \text{yazılım maliyeti}}{\text{yazılım maliyeti}}\right) \cdot 100$$

(iii) İnsan kaynakları yönetiminde bir eğitim programının yatırım getirisi şu formül kullanılarak değerlendirilir :

$$\text{ROI} = \left(\frac{\text{Verimlilik artışı} - \text{Eğitim Maliyeti}}{\text{Eğitim Maliyeti}}\right) \cdot 100$$

İlgili örnekler yatırım getirinin çeşitli iş alanlarına uygulanabilen bir finansal değerlendirme aracı olarak çok yönlülüğünü ve stratejik karar alma süreçleri için değerli içgörüler sağladığını göstermektedir. Buradaki temel mantık, yatırımın kârlı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla, yatırım sonucunda elde edilen ilave faydayı yatırımın kendisi ile kıyaslamaktır.

Yapay zekâ teknolojisini de içeren teknoloji merkezli projelere yönelik yatırım getirisi; artan verimlilikten sağlanan tasarrufları, kazanılan zamanın değerini ve yeni teknolojik yetenekler sayesinde elde edilen gelirleri kapsayabilmektedir. Bu çerçevede yatırımın getirisine dair kapsamlı bir görünüm sunmak için yürütülen hesaplamalarda, genellikle eğitim ve değişim yönetimi gibi uygulama maliyetlerinin de dikkate alınması esastır (Gillis, 2024).

Michalski, Winters, Gunn ve Holland (2025) Deloitte Danışmanlık için yürüttükleri yapay zekâ yatırımlarının getirisi araştırmasında şu sonuçlara ulaşmışlardır; (i) sektörler genelinde yapay zekâ yatırımları hızla artmaktadır, (ii) araştırmaya katılan kuruluşların yüzde 85'i son 12 ay içinde yapay zekâ yatırımlarını artırmış; yüzde 91'i ise 2025 yılı itibari ile yatırımlarını yeniden artırmayı planlamışlardır, (iii) bu yatırım artımına rağmen katılımcıların çoğu tipik bir yapay zekâ kullanım senaryosunda tatmin edici bir yatırım getirisine ulaşmak ortalama 2 ila 4 yıl sürmektedir ki 2-4 yıl arası süre, teknoloji yatırımları için beklenen 7 ila on iki aylık genel geri ödeme süresinden önemli ölçüde uzundur, (iv) yapa zekâ yatırımının 1 yıldan kısa sürede geri döndüğünü belirten katılımcıların oranı yüzde 6'dır ki en başarılı projeler arasında dahi, on iki ay içinde getiri sağlayanların oranı yalnızca yüzde on üç olarak tespit edilmiştir, (v) ileri yönlü iç görülerinde katılımcıların yüzde onu, ajan tabanlı yapay zekâdan anlık olarak önemli bir yatırım getirisi elde ettiklerini; yarısı 1 ila 3 yıl içinde geri dönüş beklediğini; geri kalanlar ise yapay zekâ yatırım getirisinin 3 ila 5 yıl süreceğini belirtmişlerdir.

Yatırılan her bir dolar karşılığında elde edilen kârın yüzdesi olarak hesaplanan yatırım getirisi, yöneticilerin yatırımlarının, faaliyetlerinin etkinliğini değerlendirmelerine olanak tanıdığı için değerli bir araçtır ve yatırım getirisinin optimizasyonu yalnızca finansal verimliliği artırmamaktadır aynı zamanda işletme hedeflerine ulaşmaya yönelik stratejik kararlara da yön vermektedir; pozitif yönlü yatırım getirisi değeri yatırımın kârlı olduğunu, negatif yönlü yatırım getirisi değeri ise yatırımın kârsız olduğunu gösterir (Lloveras, 2024). Bu kapsamda yapay zekâ yatırımlarına yönlendirilen yatırımların ve bu yatırımlar için ayrılan bütçelerin sıkça denetimlerden geçirilmesi gerekliliği aşikârdır.

Yatırım getirisi, yapay zekâ benimseme sürecindeki en kalıcı zorluklar arasında yer almaktadır. Karmaşık uygulama süreçleri, kullanıcıların sistemi benimsemesinde yaşanan güçlükler ve süreç entegrasyonu gerekliliği yapay zekâ yatırımlarının getirisinde sürenin uzun olması sonuçlarını getirmektedir. İlgili durum beş temel ögede sıralanmaktadır (Michalskivd., 2025);

1. Pek çok fayda somut olmayan niteliktedir, soyuttur: Yapay zekâ teknolojisi çoğunlukla daha iyi tedarikçi ilişkileri, daha güçlü müşteri etkileşimi gibi pozitif yönlü sonuçlar ortaya koymaktadır fakat bunların finansal karşılığını ölçmek çok da kolay olmamaktadır, zorludur. Hem somut hem de somut olmayan faydalar sunan kullanım senaryolarına öncelik vermek, yapay zekâ dönüşümlerinin erken aşamalarında sağlanan değeri göstermenin iyi bir açıklayıcısı olabilir.

2. İzole platformlar ve veri kalitesi sorunları: Parçalı sistemler ve birbirinden kopuk (izole) platformlar, süreç öncesi ve sonrası etkilerin izlenmesini zorlaştırmaktadır. Birçok işletme veya kuruluş, temel veri veya altyapı eksikliklerini gidermeden yapay zekâ uygulamalarına yatırım yaparak veri olgunluk düzeylerini olduğundan yüksek görme eğilimindedir; bu durum da sonuçların gecikmesine yol açar. Gerçekçi olmayan yapay verilerle yürütülen kavram kanıtı çalışmaları işletmeler için genellikle olumlu senaryo/ iyimserlik kaynağı olsa da bu çalışmalar gerçek verilerle beslenmeye başlandığında sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

3. Teknoloji gelişimi teknolojinin ölçümlenmesi kriterlerinden daha hızlı gelişmektedir: Düzenli olarak ortaya çıkan yeni yapay zekâ araçları ve kullanım senaryoları, nelerin mümkün olduğunu değiştirip proje sürecinde beklentileri dönüştürebilmektedir. İş sürecinin ilk başlangıcında belirlenen hedefler ilerleyen teknoloji hızında değişim yaşamakta bu da ölçümlemede olumsuzlukları getirebilmektedir.

4. İnsan ögesi: Yeni teknolojilerin benimsenmesi insanlara bağlıdır bu çerçevede kültürel direncin nasıl yönetildiği, çalışanların yeni araçları ne kadar etkili şekilde benimsediği ve iş akışlarının nasıl uyum sağladığı çok önemli ögeler arasındadır.

5. Yapay zekâ daha geniş bir dönüşümle iç içe geçmiştir: Yapay zekâ genellikle daha geniş dijital, operasyonel veya yapısal değişikliklerle birlikte devreye alınmaktadır bu durum da yapay zekânın katkısını izole etmeyi zorlaştırabilir.

Yatırım getirisi veri kalitesini artırma, çalışma ekiplerini yeniden yapılandırma veya operasyonları daha verimli hale getirme çalışmaları ile eş zamanlı olarak devreye alınmaktadır ki bu durum yapılan yatırımın sağladığı değerin diğer ögelerden bağımsız biçimde ayrıştırılmasını, ölçümlenmesi zorlaştırmaktadır. İlgili tüm gerçekler içinde apay zekâ teknolojisinin uzun vadeli potansiyeline dair inanç, istek işletmelerde artarak devam etmektedir ve yöneticiler yapay zekâ teknolojilerine yatırım yapma konusunda dış ve iç çevrelerinden artan baskılar da hissetmektedirler (Lloveras, 2024).

Yapay zekâ yatırım getiri tartışmaları içinde ayrıca şu da unutulmamalıdır ki yapay zekâ teknolojisinin kendisi de ayrıca bir finansal yatırım aracı olarak görülmektedir. Duggan (2026), yapay zekâ teknolojisi şirketlerinin Wall Street'teki en göz alıcı yatırım araçlarından biri haline geldiğini; otomasyon ve robotik teknolojilerinin, neredeyse tüm küresel sektörlerde köklü değişimlere yol açtığını OpenAI-ChatGPT sohbet botu, Microsoft- Copilot üretkenlik araçları ve GitHub- Copilot kodlama asistanları gibi yapay zekâ inovasyonlarının yapay zekâ teknolojisinin modern ekonomiyi nasıl yeniden şekillendirdiğine dair yalnızca üç örnek olduğuna işaret etmektedir.

Goldman Sachs (2026) yapay zekâ teknolojisine yönelik piyasada, finansal alanda, sosyal alanda zorluklar, başa çıkılması gereken güç taraflar bulunsa da 2026 yılında dünya genelinde 1 trilyon dolarlık bir yapay zekâ yatırımı yapılacağını belirtmektedir. Aynı büyüme eğrisine Gartner da işaret etmektedir; iş dünyası ve teknoloji alanında içgörü sağlayan Gartner verilerine göre dünya genelinde yapay zekâ harcamaları 2026 yılında yıllık bazda yüzde 49,5'lik artışla toplam 2,7 trilyon dolara ulaşması öngörülmektedir (Stanford, 2026).

2. YÖNTEM

Bu çalışmada çeşitli sektörlerden işletmelerin, kurum ve kuruluşların yapay zekâ teknolojilerini iş süreçlerinde uygulama süreçlerinde edindikleri deneyimlere ve yapay zekâ teknolojisine yaptıkları yatırımları karşılığında elde ettiği maddi ve manevi getirilere yönelik gerçek zamanlı örnek olaylar incelenmektedir.

Alan yazında örnek olay çalışması çevre ile bağlamsal ilişkileri bulunan gelişimsel ögeleri vurgulayan, bir kişi veya topluluk gibi bir birimin derinlemesine analizini içerir (Merriam-Webster, 2026). Örnek olay çalışması, tipik olarak bir durumu, süreci ve/ veya bir sorunu derinlemesine ele alan bir yöntemdir; örnek olay yöntemi sorun ve/ veya olgunun incelenebileceği örnekler, misaller ya da ortamlar olarak tanımlanabilecek bir veya daha fazla "örneğin" incelenmesini kapsayabilir (Salmons, 2021).

Çalışmada yapay zekâ teknolojisine yönelik yapılan yatırımlar çerçevesinde yatırımın getiriler incelenmektedir.

Marka itibar kaybı (Olavsrud, 2025);

2024- McDonald's, araç servis (drive-thru) siparişlerinin yönetiminde yapay zekâdan yararlanmak amacı ile 3 yıl süreli IBM ile çalışmış ve ilgili teknolojiyi ABD'de yüzden fazla araç servis noktasında uygulamıştır.

Ancak, yapay zekâya siparişlerini anlatmaya çalışırken sorunlar yaşayan pek çok müşterinin şaşkınlık, sinir ve öfke duygularını gerçek zamanlı aktaran videoları, görüntüleri sosyal medyada paylaşmaları sonucu McDonald's çok önemli itibar kaybı yaşamaya başlamıştır. Özellikle bir TikTok videosunda, iki müşterinin yapay zekâya durması için defalarca yalvardığı ancak yapay zekânın müşterilerin siparişlerine sürekli yeni Chicken McNuggetlar ekleyerek toplam sipariş sayısını 260'a kadar çıkardığı görülmüştür. McDonald's, araç servis sipariş hataları sebebi ile Haziran 2024 tarihinde yapay zekâ uygulama projesini sonlandırmıştır. Yatırım için harcanan bütçe, zaman ve enerji yönetimi sonucunda negatif pozisyonda yatırım getirisi elde edilmiştir.

2024- Bir müşteri, Kasım 2023'te büyükannesinin vefatının ardından "yas indirimi- yakın kaybı nedeni ile uygulanan özel tarife- hakkında bilgi almak için Air Canada'nın sanal asistanına başvurmuştur. Air Canada sohbet robotu, bu müşteriye Vancouver'dan Toronto'ya normal fiyatlı bir bilet alabileceğini ve satın alma işleminden sonraki doksan gün içinde yas indirimine başvurabileceği yanıtını vermiştir. Bu tavsiye üzerine müşteri Toronto'ya 794,98 Kanada doları tutarında bir gidiş bileti ve Vancouver'a dönüş için de 845,38 Kanada doları tutarında bir dönüş bilet satın almıştır. Müşteri zaman gelip de iade talebinde bulunduğunda, Air Canada, biletler satın alındıktan sonra yas indirimi talebinde bulunulamayacağını belirterek müşteri talebini reddetmiştir. Bu red karşısında müşteri, havayolunun ihmalkâr davrandığı ve sanal asistanı aracılığı ile yanlış bilgi verdiğini belirterek Air Canada'yı Kanada'daki bir hakem heyetine şikâyet etmiştir. Şikayet sonucunda Air Canada, sohbet robotunun verdiği yanlış bilgilendirme nedeni ile tazminat ödemeye mahkum olmuştur ve müşteri, 812,02 Kanada doları ödemesini geri almıştır. Yapay zekâ destekli sohbet robotu aracı kullanımının sonucunda sorumlu taraf olarak Air Canada negatif pozisyonda itibar kaybına uğramıştır.

2025- Chicago Sun-Times ve Philadelphia Inquirer Mayıs 2025 tarihinde Marco Buscaglia'nın yönetiminde Mayıs 2025 Yaz Okuma Listesi Özel Bölüm temalı bir projede birliktelik oluşturmuşlar ve Mayıs 2025 yılı sayılarında Yaz Okuma Listesi içeren özel bir bölüm yayınlamışlardır.

Ancak 2025 Yaz Özel Okuma Listesi lansmanı ile sunulan listede çok ses getirir nitelikte yanlışlıklar okurlar tarafından belirlenmiştir. Örneğin, Isabel Allende isimli yazarın yazdığı bir eser olarak Tidewater Dreams isimli eser atfedilmiştir ki bu eser Isabel Allende'nin yazdığı bir kitap değildir; listede bu ve buna benzer birçok gerçek yazarın adı bulunmaktaydı ancak yazarların isimleri ile birlikte kendilerinin yazmadıkları kitaplar atfedilmişti. Azımsanmayacak denli önemli olan bu hatalar zinciri doğal olarak 2025 Yaz Özel Okuma Listesi Özel Bölümün sorumlusu Marco Buscaglia'ya geri bildirim olarak dönmüştür. Buscaglia, durumun açıklanmasında önerilen okuma listesi dâhil olmak üzere tüm 2025 Yaz Okuma Listesi içeriğini hazırlarken yapay zekâdan yararlandığını ve ortaya çıkan sonuçların doğruluğunu teyit etmediğini kabul etmiştir. Yani, esesrler, yazarlar ve eser eşleştirmeleri vb. hatalı bilgiler, eşleşmeler yapay zekâ tarafından uydurulmuş, halüsinasyon ürünü olarak belirlenmiştir. Yapay zekâ hanüsilasyonları sonucunda gerçekte var olmayan kitaplardan ve/ veya

yazarların yazmadığı eserlerden oluşturulan bir yaz okuma listesi olmuştur. Chicago Sun-Times, "Heat Index: Your Guide to the Best of Summer" isimli bu ortak içerik bölümünün, Hearst bünyesindeki King Features Syndicate tarafından sağlandığını açıklamıştır. Her iki kurumun yazı işleri birimleri söz konusu özel içerik ile doğrudan bilgilerinin olmadığını belirtmiş olmalarına rağmen Chicago Sun-Times ve Philadelphia Inquirer, Mayıs 2025 sayılarında yer alan ve aslında var olmayan kitapları öneren bir yaz okuma listesi içeren özel bölüm nedeni ile önemli itibar kaybına uğramıştır.

Büyük bütçeli yatırımlar (Dünya, 2026);

Microsoft, Alphabet, Amazon, Meta Platforms ve Oracle şirketleri dünyada teknoloji devleri olarak kabul edilen ABD'nin teknoloji devleridir -hiperscalers-. Bu şirketlerin tamamı yapay zekâ teknolojisine yatırımlar yapmaktadır. Ancak, analistler tarafından belirtilen temel konu, veri merkezleri ve altyapı harcamalarındaki hızlı artış şirketlerin serbest nakit akışını baskı altına aldığı ve önümüzdeki birkaç yıl içinde -ön görü 2027 için yapılmaktadır – şirketlerin yapay zekâ teknolojilerine yaptıkları yatırım harcamalarının nakit üretimini aşabileceğidir. Analistlerin tahminleri temelinde bu şirketlerin 2025- 2027 yılları arasında yani 2 yıl içinde yapay zekâ teknolojisi faaliyetlerine yönelik yıllık nakit akışını yaklaşık 340 milyar dolar artıracakları yönündedir. Şirketlerin harcamalarının ise ilgili yıllar içinde 534 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir. Bu çerçevede analistler bu 5 şirketin her 1 dolarlık ek nakit akışına karşılık yaklaşık 1,57 dolarlık yatırım yapacaklarını belirtmektedirler. Harcadığından az kazanıldığı bir iş biçiminin sürdürülebilirliğinin işletme genel stratejisi içinde dikkatlice değerlendirilmesi gerekliliği söz konusudur.

Bu şirketler içinde örneğin Microsoft, mali yılının ikinci çeyreğinde 35,8 milyar dolar faaliyet nakit akışı elde ederken, finansal kiralamalar dahil 37,5 milyar dolar sermaye harcaması yapmıştır. Amazon şirketi ise geçen yılın nakit akışını yüzde 30 artışla 148,5 milyar dolara yükselttiğini serbest nakit akışının ise 1,2 milyar dolara gerilediğini açıklamıştır. Oracle şirketinin ise Mayıs 2026 tarihli son mali yıl göstergelerinde 55,7 milyar dolar sermaye harcaması yaptığı faaliyet nakit akışının da 32 milyar dolar olarak gerçekleşti belirtilmektedir. Yatırımların devam ettiği bu dönemde asal konu; yapay zekâ yatırımlarının gelir üretmeye devam edip etmeyeceği ve bunun artan yatırım harcamalarını karşılayıp karşılayamayacağıdır.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Yapay zekâ teknolojilerinde süreklilik sağlaması ve bu teknolojiye yönelik yapılan yatırımlardan pozitif yönlü getiriler elde edebilmesi için işletme yatırım faaliyetlerinde belirlenmiş temel iş koşullarına uygun davranılması söz konusudur. İhtiyaç duyulan işin gerçek tanımının yapılması, yapay zekânın işletmede yer alan her iş faaliyetinin birbirine bağlantılı sistem olarak çalıştırılması, sistemin ne yapabileceğinin, nerede hareket edebileceğinin ve çeşitli senaryolarda hangi iş alanlarının etkilenebileceğinin bilgisi dahilinde kontroller yapılması, organizasyonda olası sorunlara karşı dayanıklılık noktalarının belirlenmesi ve bu noktalara sürekli

iyileştirmeler yapılması, yapay zekâ faaliyetlerinin sorgulanarak işletilmesi, bu teknolojinin kullanılması ve yönetimi konularında iletişim ekiplerinin belirliliği ve sorumluluklarının açıklıkla belirtilmesi ve yapay zekâ teknolojisi destekleyici üçüncü tarafların, iş ortaklarının sorumluluklarının da belirliliği şart koşullardır (Carmichael, 2025).

Yapay zekâ teknolojilerinde sıklıkla belirtilen *yatırımlar artmaktadır ancak başarısızlık oranı da artmaktadır* ifadesi örneğin Boston Danışmanlık Grubu'nun Eylül 2025 tarihinde gerçekleştirdiği 1250 işletmenin yöneticilerinin katılımları ile gerçekleştirdiği araştırmasında, işletmelerin yüzde 60'ının devam eden yapay zekâ yatırımlarına rağmen önemli gelir edemedikleri yüzde beşinin önemli düzeyde getiri elde ettiği belirlenmiştir (Talyx, 2025).

Yapay zekâ kullanmak günümüzde istenilen veri için "gerçekçi ve doğru promptun yazılabilmesi" ile mümkündür. Yani doğru komutu yazabilen her kişi yapay zekânın engin bilgi deryasına ulaşabilmektedir, erişim kolaylaşmıştır. Ancak erişimin kolaylığı elde edilen getirinin doğruluğu, geçerliğini, güvenirliğini, yasal ve/ veya etik koşullara uygun olması durumunu getirememektedir. Bu teknoloji bilgi süzgecinden geçirilmesi gereken rasyonel bir sistem olarak anlamlandırılmalı ve denetim sürecinde özellikle büyük organizasyonlar çalışanların sorumlulukları açıklıkla belirlenmelidir.

Rekabetin çok yüksek olduğu günümüz iş dünyasında işletmeler iş verimliliği ve maliyet tasarruflarına odaklanarak stratejiler geliştirmeye çalışmaktadır. Gelecek yönlü yol haritalarında işletmelerin yapay zekâ teknolojisine yönelik yatırımları tamamen durdurmaları beklenemeyebilir ancak her yapılan yatırımın geri dönütlerinin detaylıca incelenmesi, irdelenmesi ve gelecek yönlü senaryolara hatası ile eksiği ile başarısı ve başarısızlığı ile ışık tutması değerlidir. Bu teknolojinin işletmelerin olmasını istediği koşulların birdenbire bir tılsım veya bir sihirle gerçekleştiremeyeceği, sihir, tılsım olmadığı netlik kazanmalıdır. Yapay zekâ teknolojisi *rasyoneldir*, *sistemli* bir uygulama alanına ihtiyaç duyar.

KAYNAKLAR

Carmichael, M. (2025). Avoiding AI pitfalls in 2026: Lessons learned from top 2025 incidents, ISACA, https://www.isaca.org/resources/news-and-trends/isaca-now-blog/2025/avoiding-ai-pitfalls-in-2026-lessons-learned-from-top-2025-incidents, 15.12.2025.

DeBoe, TerDawn (2026). Companies track how much aı they use. The winners track what ıt earns, https://www.forbes.com/sites/terdawn-deboe/2026/07/22/companies-track-how-much-ai-they-use-the-winners-track-what-it-earns/, 24.07.2026.

DDI Development (2024). Types of artificial intelligence that can drive your business growth, https://ddi-dev.com/blog/it-news/types-of-ai-that-can-drive-your-business-growth/, Mart.

Duggan, W. (2026). Artificial intelligence stocks: The 10 best AI Companies, https://money.usnews.com/investing/articles/artificial-intelligence-stocks-the-10-best-ai-companies, 15.09.2026.

Dünya (2026). Yapay zeka yarışı teknoloji devlerini vurdu: Milyarlarca dolarlık alarm, https://www.dunya.com/sektorler/bilim-ve-teknoloji/yapay-zeka-yarisi-teknoloji-devlerini-vurdu-milyarlarca-dolarlik-alarm-haberi-833176, 22.07.2026

Goldman Sachs (2026). Global AI investment is forecast to exceed $1 trillion in 2026, https://www.goldmansachs.com/insights/articles/global-investment-is-forecast-to-exceed-1-trillion-in-2026, 07.08.2026.

European Commission (2019). Independent high-level expert group on artificial intelligence set up by the European Commission, 1-9.

European Parliament (2023). What is artificial intelligence and how is it used?, https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20200827STO85804/what-is-artificial-intelligence-and-how-is-it-used, 20.06.2023.

Fernando, J., Mansa, J. ve Eichler, R. (2026). What is return on investment (ROI) and how to calculate it, https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp, 18.02.2026.

Gillis, A. (2024).What is ROI? How to calculate return on investment, , https://www.techtarget.com/it-strategy/definition/What-is-ROI-How-to-calculate-return-on-investment, 07.08.2024

Haim, Itamar (2026). AI in 2026: how many companies are really using it? (Stats & Trends Revealed), https://elementor.com/blog/ai-how-many-companies-are-really-using-it/, 29.06.2026.

Hopkinson, E. (2025), Guide /Return on investment: A guide for NHS finance teams, https://www.hfma.org.uk/publications/return-investment, 10.07.2025.

Howarth, Josh (2026). How many people use AI? (Latest 2026 Data), https://explodingtopics.com/blog/ai-usage-statistics, 02.09.2026

IBM Data & IBM Team (2026). Understanding the different types of artificial intelligence, https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence-types, 16.09.2026.

Lugo, Denise (2026). AI's hidden price tag — millions spent, returns still a mystery, and mistakes can make the bill worse, https://tax.thomsonreuters.com/news/ais-hidden-price-tag-millions-spent-returns-still-a-mystery-and-mistakes-can-make-the-bill-orse/, 03.08.2026

Merriam-Webster (2026). Case study, https://www.merriam-webster.com/dictionary/case%20study, 20.09.2026.

Naik, Siddhi (2026). How many companies use AI in 2026? (Usage Statistics), https://resourcera.com/data/artificial-intelligence/companies-using-ai/, 14.01.2026

NASA (2026). What is artificial intelligence?, https://www.nasa.gov/what-is-artificial-intelligence/, 16.09.2026

Russell, Stuart J. ve Norvig, Peter (2009). Artificial intelligence: a modern approach, Prentice Hall, 3rd edition, 2009.

Olavsrud, T. (2025). 10 famous AI disasters, https://www.cio.com/article/190888/5-famous-analytics-and-ai-disasters.html, 17.12.2025.

Salmons, J. (2021). case study methods and examples, Sage Research Methods Community, https://researchmethodscommunity.sagepub.com/blog/case-study-methodology, 08.02.2021.

Sciencedirect (2026). Return on Investment, https://www.sciencedirect.com/topics/economics-econometrics-and-finance/return-on-investment,

Silberling, Amanda (2026). Mark Zuckerberg predicts that billions of people will have personal AI agents in five years, https://finance.yahoo.com/technology/ai/articles/mark-zuckerberg-predicts-billions-people-230011608.html, 30.07.2026.

Standford University (2026). What is artificial intelligence (AI)?, https://hai.stanford.edu/ai-definitions/what-is-artificial-intelligence-ai

Stanford, C. (2026). Gartner forecasts worldwide ai spending to grow 49.5% in 2026, https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2026-09-16-gartner-forecasts-worldwide-ai-spending-to-grow-49-point-5-percent-in-2026, 16.09.2026.

Stryker, Cole & Kavlakoğlu, Eda (2026). What is artificial intelligence (AI)?, https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence, 15.07.2026

Syracuse University. (2025). Types of AI: explore key categories and uses, Syracuse University, https://ischool.syracuse.edu/types-of-ai/, 26.03.2025.

Talyx (2025). Why 90% of enterprise AI implementations fail, https://talyx.ai/insights/enterprise-ai-implementation-failure

Technource (2026). 50 AI adoption statistics 2026: The numbers that separate AI winners, https://www.linkedin.com/pulse/50-ai-adoption-statistics-2026-numbers-separate-winners-technource-lpe9c/, 11.08.2026

Thomsen, N. (2026). 70% of AI success is human-centric: Here are five real-world truths that prove it, https://www.artefact.com/blog/70-of-ai-success-is-human-centric-here-are-five-real-world-truths-that-prove-it/

Tiwari, Juhi (2026). Understanding AI types and functions, https://www.kore.ai/blog/types-of-artificial-intelligence, 02.04.2026.

Writer Team (2026). Enterprise AI adoption in 2026: Why 79% face challenges despite high investment, https://writer.com/blog/enterprise-ai-adoption-2026/, 07.04.2026

Zao-Sanders, Marc (2026). How people are really using AI in 2026, https://hbr.org/2026/06/how-people-are-really-using-ai-in-2026, 01.06.2026

PROGRAMATİK AÇIK HAVA REKLAMLARI GELİŞİMİ: ÖRNEK UYGULAMALAR

Salih ÖZDEMİR[1]/ Prof. Dr. Süreyya KARSU[2]
[1]Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Pazarlama, 2323212003@ogrenci.ibu.edu.tr, 0009-0000-6323-471
[2]Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Pazarlama, karsu_s@ibu.edu.tr, 0000-0002-2724-7420

Özet

Reklam tarihinin başlangıcında tellallar ve çığırtkanlar, işletmelerin ürettiği ürünlerin tanıtımını sağlamak üzere ürünler hakkında sözlü olarak duyurular yapıp halkın ürünlere yönelik bilgi almasını sağlamaktaydı (Tayfur, 2008: 5). Tellallar, çığırtkanlar ve elbette gezici satıcılar ile başlayan reklamcılık faaliyetleri, marka ve amblemlerin gelişmesi ile reklamcılık alanında farklı kitle iletişim araçlarının ortaya çıkmasını ve yeni alanların reklam mecrası olarak kullanılmasını sağlamıştır (Elden ve Yeygel, 2006:6). Zaman içinde matbaacılıkta yaşanan gelişim, basılı reklamcılığın önünü açmış; gazete, kitap, el ilanı gibi materyallerin geniş kitlelere ulaşması basılı reklam mecralarının yeni bir reklam ortamı olarak görülmesine destek sunmuştur. Bu gelişmelerle birlikte her geçen gün baskı teknolojileri alanındaki ilerlemeler reklamların duvar afişlerinde de yaygınlaşmasını getirmiş; kamusal alanlarda reklamların başlangıcı olarak kabul edebileceğimiz bu uygulamalar günümüz açık hava reklamcılığının temelini oluşturmuştur.

Geleneksel açık hava reklamlarında genel prensip, ev dışında karşılaşılabilecek tüm reklam alanlarının "Out of Home-Ev dışı-OOH" kavramı temelinde ele alınmasıdır (Wilson, 2023). Gelişen teknolojik süreç, dijital uygulamaların yaygınlaşmasına destek sunmuş ve ilgili sürecin sonucunda açık hava reklamları, "Digital Out of Home-Dijital ev dışı-DOOH" faaliyetleri (Usman vd., 2025) ile daha da etkin olarak kullanılır hale gelmiştir. Günümüzde işletmeler ve markalar açık hava reklamlarında hem geleneksel hem de dijital teknolojilerin tamamından faydalanmaktadır.

Gelenekselin ve dijitalin birlikte yürütüldüğü açık hava reklamları, tüketici taleplerinin gelimi, pazarlama faaliyetlerinde hiper kişiselleştirme aktivitelerinin gelişimi ve dijitalizasyonun sağladığı olanaklarla gerçek zamanlı verilere dayalı reklam yapılabilen "Programatic Digital Out of Home- Programatik Dijital Açık Hava Reklamları Dijital -pDOOH" reklamcılık faaliyetleri ortaya çıkmıştır.

Açık hava reklamcılık faaliyetlerinde hedefleme, ölçümleme, gerçek zamanlı iletişim ve operasyonel sürecin tam zamanlı yönetilmesi, anlık mecra satın almanın mümkün olduğu koşulları ile "Programatic Digital Out of Home- Programatik Dijital Açık Hava Reklamları Dijital -pDOOH" işletmelere ve markalara gerçek zamanlı veriye ve iletişime dayalı olanaklar sunar hale gelmiştir.

Bu çalışma, programatik dijital açık hava reklamlarının gelişimini literatür temelinde inceleyerek Türkiye pazarındaki örnek çalışmalarını ele almayı amaçlamaktadır. pDOOH çalışmalarının Türkiye pazarında reklamcılık faaliyetlerinde çok yeni uygulama alanı olması yönü ile özgün nitelik taşıdığı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Programatik Dijital Açık Hava Reklamları, Dijital Açık Hava Reklamları, Açık Hava Reklamları

THE EVOLUTION OF PROGRAMMATIC OUT-OF-HOME ADVERTISING: CASES

Abstract

At the beginning of advertising history, town criers and heralds made verbal announcements about products, enabling the public to obtain information about them (Tayfur, 2008:5). Advertising activities, which began with town criers and itinerant vendors, led to the development of brands and logos, resulting in the emergence of different mass communication tools and the use of new areas as advertising mediums (Elden and Yeygel, 2006:6). Over time, advancements in printing technology paved the way for print advertising; the widespread reach of materials such as newspapers, books, and inserts supported the perception of print advertising media as a new advertising medium. Along with these developments, advancements in printing technologies led to the widespread use of wall posters for advertising; these practices, which can be considered the beginning of advertising in public spaces, form the basis of today's outdoor advertising.

Traditional outdoor advertising addresses all advertising spaces encountered outside the home based on the concept of "Out of Home" (OOH) (Wilson, 2023). With the widespread adoption of digital applications in the evolving technological landscape, outdoor advertising has become more effective through "Digital Out of Home (pDOOH)" activities (Usman et al., 2025). Today, many businesses and brands utilize both traditional and digital technologies in outdoor advertising.

Programmatic Digital Outdoor Advertising (pDOOH) offers businesses real-time data and communication-based opportunities, enabling targeting, measurement, real-time communication, and the timely management of operational processes. This study examines the development of Programmatic Digital Outdoor Advertising based on the literature and case studies in the Turkish market. pDOOH studies are considered unique in the Turkish market due to their relatively recent application to advertising activities.

Keywords: Programmatic Digital Out-of-Home Advertising, Digital Out-of-Home Advertising, Out-of-Home Advertising

1. GİRİŞ

Reklam, hedef kitlenin dikkatini çekmek, tutum ve davranışlarına yön vermek, ürünler ve markalar hakkında bilgi vermek için işletmeler ve/ veya markalar tarafından oluşturulmuş mesajlar bütününü ifade etmektedir. İşletme ve/ veya markalar hakkında çeşitli bilgileri hedef tüketicilere ulaştırma amacı ile oluşturulan mesaj, tüketiciyi söz konusu ürünler hakkında haberdar ederek, satın alma sürecinde onu ikna etmek ve ürünün satın alınmasını sağlamaya yönelik sözlü, yazılı, resim, sembol ve sözcüklerden oluşan mesajları içerir (Fırlar ve Çelik, 2010). Ürünlerin hedef tüketici pazarlarında tanıtılması amacı ile planlanan reklam kampanyasındaki en önemli konu, ilgili mal ya da hizmete uygun reklam ortamının seçilmesidir. Reklam kampanyasının başarılı olabilmesi için mesajı hedef tüketici pazarına ulaştırırken kullanılan mecra büyük önem arz etmektedir (Kocabaş ve Elden, 2011).

Geleneksel açık hava reklamlarında baskılı bir reklamın değişimi operasyonel süreci gerekli kılmaktadır. Bu iş yükü dijital ekranların sektörde kullanılmasıyla birlikte hafiflemiş, uygulayıcılara esneklik kazandırmış ve süreci sürdürülebilir bir yapıya dönüştürmüştür.

Dijital açık hava reklamları baskı malzemelerine olan bağlılığı azaltmış bu da maliyetlerin düşmesine yardımcı olmuştur. Hareketli görüntünün oynatılmasına olanak tanıması, geleneksel panolarla karşılaştırıldığında etkili bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu özelliklerine rağmen dijital ekranlar, sadece bölgedeki insanlara, bağlamdan bağımsız, çok iyi hedeflenmemiş döngüsel bir reklam grubunu göstermesi, etkisiz reklamlara ve kaynak israfına yol açabilmektedir (Khalil vd., 2023). Dijital açık hava reklamlarının bu tip kısıtları programatik teknolojisinin açık hava reklamları ile bütünleşmesi ile çözüme ulaşmış hem kaynak israfının önüne geçilmiş hem de gerçek zamanda hedef tüketici gruplarına ulaşılması sağlanmıştır.

Programatik teknoloji bütünleşmesi ile açık hava reklamlarında tüm gün verimli tekrarla, farklı hedef gruplara, birden fazla reklamları gösterilmesinin önü açılmıştır. Pazarlama uzmanları hedef tüketici gruplarına ulaşmak için gerçek zamanlı, en doğru konumu, ekran boyutunu ve zaman aralığını yönetebilmekte ve süreç içerisinde daha fazla kontrol gücüne sahip olmaktadır (IAB Türkiye, 2021)

1.3. Geleneksel Açık Hava Reklamcılığı Özellikler, Avantajlar ve Kısıtlar

Açık hava reklamları, reklam kavramının uygulama alanı bulduğu ilk mecralardandır (Yavuz, 2009: 165). Reklamcılığın en eski biçimlerinden olan açık hava reklamcılığının geçmişi eski medeniyetlere kadar uzanmaktadır. Örneğin antik Mısır'da yasaların halka duyurumunda taşlara kazıma yöntemi ile yazıların yazıldığı, yapılacak etkinlikleri yine halka duyurmak için litografi ile resimli afişlerin bastırıldığı bilinmektedir; daha yakın geçmişte 1900'lerde Amerika'da standardize edilmiş reklam panoları kullanılmaya başlanmış, açık hava reklamları, her zaman diliminde değerli konumunu korumuştur (Yassin, 2023).

"Out of Home Advertising – Ev Dışı Reklamcılık-OOH" temelinde kavramsallaştırılan açık hava reklamcılığı, Deka'a (2020) göre insanların evlerinin dışında olan tüm görsel reklam mecralarını ifade eden *ev dışı reklamcılıktır*. Elden (2009: 254-255, akt. Dereli, 2025: 91) bu reklam alanının çeşitlerini billboardlar, afişler, dövizler, pankartlar, ışıklı ilanlar ve high rise/totemler şeklinde sıralamakta, mega board, duvar reklamı, çatı reklamı, yer grafikleri, home board ve eskavizyonları high rise/totemler kategorisinin alt kategorisi olarak sunmaktadır. Wilson'a (2023: 279-280) göre ise ev dışı reklamcılık, kamusal ve ticari alanlarda ev dışında olan fiziksel olarak kiralanmaya müsait, ticari faaliyetlerde kullanılabilen varlıklar olarak tanımlanmaktadır. Tüm bu tanımlar ışığında, ev dışı reklamların dışarıda karşılaşılabilecek bütün reklamları kapsadığı çıkarımı yapılabilir.

İşletmeler Tüketicileri bilgilendirmek, yeni müşteriler elde etmek ve müşteri çevresini genişleterek marka bilinirliğini artırmak, marka farkındalığı sağlamak ve tüketicilere önemli bilgiler iletmek için açık hava reklam mecralarından faydalanırlar (Išoraitė ve Gulevičiūtė, 2023).

Ev dışı reklamların diğer iletişim çalışmalarını destekleyen önemli bir mecra olarak görülmesinde, ana mecra olarak kabul görmesinde etkili olan faktörler doğası gereği sunduğu bazı özelliklerden kaynaklanmaktadır. Marka bilinirliğini sağlaması, yüksek görünürlüğe sahip olması, akılda kalıcı, yaratıcı ve kısa tutulan metinleri ile mesajın hızlı bir şekilde aktarılmasına olanak sağlaması, açık hava reklamcılığını diğer mecralardan ayıran özellikler olarak belirtilebilir (Wells vd., 1995, aktaran Elden ve Yeygel, 2006: 46). Decode (2026) ev dışı reklamlarda hedeflenen tüketicilerin mesajı alması için çoğu zaman reklamın sunulduğu ortamda az vakit geçirmeleri sebebi ile hatırlanma seviyesini artırmak için sade, net ve güçlü görsel ögelerin kullanılmasının gerektiğini ifade etmektedir. Mesajın aktarılacağı hedef tüketiciler, açık hava reklam panolarının önünden geçtiği için istemeden de olsa gönderilen mesaja maruz kalır. Diğer reklam alternatiflerinde reklamı atlama, kanalı değiştirme veya sayfayı çevirme gibi ihtimaller bulunurken açık hava reklamının doğası gereği mesaj istem dışı karşı tarafça görünmüş olur (Elden, 2009: 252).

Išoraitė ve Gulevičiūtė (2023) açık hava reklamlarının pazarlama araçları içerisinde güçlü bir konumda olduğunu belirtir. Yazarlar, açık hava reklamlarının yüksek görünürlüğe sahip olması, etkili sonuçlar vermesi, bazı göstergeler açısından maliyet etkinliği sunması durumları ile diğer mecralara kıyasla etkili bir performans sergilediğine işaret ederler.

Bu avantajlarının yanında açık hava reklamlarında bazı dezavantajları ve/ veya kısıtları bulunmaktadır. Çalışmanın devamında ilgili kısıtlar detaylı olarak aktarılmaktadır.

Açık hava reklamları ile hedeflenen tüketiciler yürürken ya da araç ile seyir halindeyken birçok uyarıcı ile karşı karşıya kalmaktadır. Böyle anlarda çevreden gelen uyaranlara çok az süre dikkat edebilen tüketiciler reklamda ne kadar dikkat çekici öge kullanılırsa kullanılsın verilen mesajın çok küçük bir bölümünün akılda kalması söz konusu olmaktadır. Bundan dolayı açık hava reklamları tüketicilerin dikkat ve ilgisini elde tutmayı

zorlaştırmaktadır (Elden ve Yeygel, 2006). Belch (2001: 441) açık hava reklamlarının kısıtlarını; belirli bir tüketici grubunu hedeflediği için hedef kitlenin azlığı, çok az zamanı olan tüketicilere uzun mesajların verilememesi, tüketicilerin dışarıda çok sayıda uyarana maruz kalması sebebiyle reklamlara olumsuz bakması ve reklamdan verim alınamaması olarak sıralamaktadır.

Açık hava reklamları çağa ayak uyduracak biçimde gelişmekte ve ev dışında, dışarıda gezen insanların dikkatini çekmek için yeni teknoloji ve yaratıcı düşüncelerden kendine düşen payı almaktadır (Jain ve Khushpat, 2024: 424). Elden vd. (2008: 428), açık hava reklamlarının gelişen teknoloji ve teknolojinin yarattığı fırsatlar sayesinde dijital ekranlar ile tüketici farkındalığını daha fazla oluşturulabildiğini belirtir. Bu çerçevede çalışmanın ilerleyen bölümlerinde açık hava reklamcılığında dijital uygulamalar ve programatik açık hava reklamcılığı kavramlarının gelişimine yönelik açıklamalı bilgiler literatür ışında sunulmaktadır.

1.4. Dijital Açık Hava Reklamcılığı

Dijital medyanın gelişimi açık hava reklamcılığında da gelişmelere yardımcı olmuştur. 1990'ların başında yaygınlaşmaya başlayan dijital ekranlar günümüzde de popülerliğini korumaktadır. Geleneksel açık hava reklamcılığında reklamlar elle değiştirilirken dijital dönüşüm ile birlikte bu işlem birkaç saniye gibi kısa bir sürede yapılabilmektedir. 2003 yılında açık hava reklam pazarının sadece yüzde ikisini oluşturan dijital panolar 2010'a gelindiğinde yüzde 10'un üzerine çıkmış günümüzde daha da büyük bir paya ulaşmıştır (Deka, 2020).

Adstash (2019), dijital ev dışı reklamcılığın geleneksel açık hava reklamcılığının temellerine dayandığını, markaların, malların ve hizmetlerin dijital tabelalar ve billboardlar aracılığıyla dijital ekranlarda tanıtmayı kapsadığını belirtir. Dijital teknoloji ile içeriğin değiştirilebildiği reklam panoları olarak (Abrons, 2019) belirtilen dijital açık hava reklamcılığı, içeriğin etkileşimsiz ancak birkaç saniyede bir dönüşümlü biçimde gösterilebilen yapısı sayesinde aynı zaman diliminde birden fazla reklam yayınlama olanağına sahiptir. Dijital ev dışı reklamlar, geleneksel dış mekân reklamcılığının dijital teknoloji ile gelişmiş, dış mekânda veri temelli hedefleme, dinamik içerik ve dijital optimizasyon yeteneklerine sahip modern formudur (Usman vd., 2025).

Geleneksel açık hava ile dijital açık hava reklamları, operasyonel süreçler, hedefleme ve maliyet gibi unsurlar açısından birbirinden farklılaşmaktadır. Bu farklılık dijital açık hava reklamlarının geleneksel açık hava reklamlarına göre bazı üstünlüklerinden kaynaklanmaktadır. Tablo 1.1. Geleneksel ve dijital açık hava reklamcılığı arasındaki farklar;

Tablo 1.1: Geleneksel ve Dijital Açık Hava Reklamcılığı Farkları

AÇIK HAVA	DİJİTAL AÇIK HAVA
Güçlü ve Hedefli Mecra **Geniş kapsamlı ulusal erişim sağlar ancak yerel anlamda ilgi düzeyine sahip olacak ve niş kitleleri hedefleyecek şekilde de uyarlanabilir. Ayrıca marka bilinirliğini artırmaktan, geri dönüş oranını artırmaya kadar tüm metriklerde kullanılabilir.**	**Hiper Hedefleme** Demografik, coğrafi, gelir grubu vb. doğrultusunda daha fazla hedefleme yapma imkânı verir. Görseller; bağlam ve hedef kitle bazında da uyarlanabilir.
Yüksek Etkili Mecra **En fazla görsel içeren medya türüdür. Gerçek boyutlu ve olduğundan daha büyük kullanımlar sağlar.**	**Daha Büyük Etki** Full-motion (tam hareketli) video, gerçek zamanlı içerik, sosyal medya etkileşimi, senkronizasyon ve dokunmatik ekran etkileşimi, AR (Artırılmış Gerçeklik), mobilden ekrana erişim ile içeriğe ve etkileşime erişim sağlar.
Kaçınılmaz Mecra **Diğer ortamların aksine açık hava reklamları reddedilemez, kapatılamaz veya atılamaz. Açık hava devreye girer, kesmez.**	**Hareket Halindeyken Konuma Özel Teklifler** Çoklu platform ve konum verileri sayesinde hareket halindeki kişilere ulaşmayı sağlar. Programatik açık hava, mobil pazarlamaya bağlantı sağlar.
Mobil Kitlelere Ulaşmak İçin Etkili Mecra **Gerçek dünyada insanlara ulaşarak iş, ev ve eğlence etkinlikleri arasındaki yolculuklarına ilişkin kararları etkileyerek satın alma yolunu etkinleştirir.**	**Esneklik / Gerçek Zamanlı Yaratıcılık** Herhangi bir site konumundaki veri tetikleyicilerine cevaben gerçek zamanlı olarak etkin içeriğin oluşturulmasına ve düzenlenmesine olanak verir.
Uygun Maliyetli Mecra **Açık hava, diğer geleneksel mecralara göre gösterim başına daha düşük maliyet imkânı sunar.**	**Maliyetten Tasarruf ve Daha Sürdürülebilir Olma Özelliği** Üretim maliyeti yoktur ve daha düşük teknik ücretler söz konusudur. Malzeme gerektirmediğinden malzeme israfı da olmaz.

IAB Türkiye, 2021:5

Geleneksel açık hava reklamcılığının operasyonel hız ve hedefleme konusundaki kısıtları, dijital ekranların gelmesiyle hafiflemiştir. Açık hava reklamlarındaki statik durum her zaman ön planlama ve kampanyayı gerçekleştirmek için bir operasyon sürecini gerekli kılmaktadır. Durağan açık hava reklamlarında rezervasyon çoğu zaman 60-90 günü bulduğu gibi hedefleme ve bağlamsal uyum açısından kısıtlar barındırmaktadır. Ancak dijital açık hava reklamları doğası gereği markalara ve kiraya veren mecralara esneklik sunmaktadır. Dijital açık hava reklamlarında bir konumdaki ekran aynı zaman dilimleri için birden fazla markaya kiraya verilebilir. Yine dijital açık hava reklamları bulunan bölgeye göre özel olarak hedeflenebilme ve uzaktan kontrol edilebilme sayesinde işlemlerin hızlı yapılmasına olanak tanır (Abrons, 2019).

1.2.1 Dijital Açık Hava Reklamları Araçları

Geleneksel açık hava reklamları; billboardlar, kent mobilyaları, transit reklamlar ve mekana dayalı açık hava reklamları olarak dört alt başlıkta incelenmektedir. Bu sınıflandırmanın aynısı dijital açık hava reklamları için de kullanılmaktadır. Bu çerçevede dijital açık hava reklamları; dijital billboardlar, dijital kent mobilyaları, dijital transit reklamlar ve mekâna dayalı dijital reklamlar olarak kategorize edilebilir (Outdoor Advertising Association of America [OAAA], 2022).

Dijital Billboardlar: Açık hava reklamcılığının yeni bir türü olan dijital panolar, önceden belirlenmiş reklamların ne zaman ve hangi konumda gösterileceğini kontrol etme imkanı veren devrim niteliğinde yöntemleri sayesinde son zamanlarda ilgi görmeye başlamıştır (Huang vd., 2021, s. 1179). Çoğu zaman 15 metre üzerindeki uzaklıklardan görülebilecek biçimde tasarlanan, yol kenarlarına konumlandırılmış büyük reklam üniteleridir.

Görsel 1. Dijital Billboard

https://acikhavareklamizmir.com/dijital-led-reklamlari-izmir.html?os_image_id-230

Kent Mobilyaları: Kamu hizmeti de sunan kent mobilyaları, yayaların görebileceği şekilde göz hizasına konumlandırılan ya da araç trafiğindeki sürücülere mesaj iletmek onları ürün/ marka temelinde etkilemek amacıyla yol kenarlarına yerleştirilen reklam panolarıdır.

Görsel 2. Dijital Kent Mobilyaları

https://mediacat.com/toshibadan-etkilesimli-dijital-raket-uygulamasi/

Dijital Transit Reklamcılığı: Hareket halinde bulunan araçlara veya ulaşım istasyonlarındaki ortak kullanım alanlarına yerleştirilen reklam üniteleridir. Havaalanları, otobüsleri, mobil billboardları, demiryolu, metro ve taksilerde sıklıkla rastlanmaktadır.

Görsel 3. Dijital Transit Reklamcılık

https://www.unit-led.com/tr/taksi-led-ekran

Mekâna Dayalı Dijital Açıkhava Reklamcılığı: Belirli mekanlar içerisine konumlandırılan hedeflenmiş bir kitleye yönelik reklam üniteleridir. Ambiyans reklamları, arena ve stadyumlar, sinemalar, projeksiyon uygulamaları, alışveriş merkezlerini kapsamaktadır.

Görsel 4: Mekâna Dayalı Dijital Açıkhava Reklamcılığı

https://ankaled.com/wp-content/uploads/2024/12/magaza-onu-led-ekran.jpg

Dijital açık hava ekranları elektronik tabelacılık alanının bir alt bölümüdür. Bu dijital ekranlar, kamusal alanlarda, ulaşım sistemlerinde, stadyumlarda, perakende mağazalarda, müzeler vb. yerlerde dijital görselleri, videoları, hava durumu verilerini görüntülemek suretiyle LCD ve LED teknolojilerinden yararlanan açık hava reklam türüdür (Deka, 2020).

1.5. Programatik Açık Hava Reklamcılığı

Programatik dijital açık hava reklamcılığı kavramı, önceden belirlenmiş kriterlere göre hedeflemenin ve reklam yayınının yapılabildiği, veriye dayalı yazılımlarla desteklenen sistemler sayesinde reklam için yer ve zamanının satın alınabildiği platformlardır. Programatik reklamcılık, yeni teknolojiler sayesinde reklam verenlere hedefledikleri grubu, hangi medya ile ne zaman tüketicilerin karşısına çıkacaklarını detaylı bir şekilde gösteren yeni nesil açık hava reklamcılığıdır (Mete, 2021: 444-447).

Geleneksel açık hava reklamcılığında yer ve zaman önceden satın alınması gereken bir süreci gerekli kılarken Programatik Dijital Açık Hava Reklamcılığı satın alma süreçlerini daha kolay ve gerçek zamanlı olarak yapmaya olanak tanır. Bu yapıda hava durumu, trafik yoğunluğu gibi kriterler ile hedefleme yapabildiğinden belirli bir şart oluştuğunda reklamın tetiklenerek yayına girmesi söz konusudur. Bu sayede markalar herkese seslenmek yerine sadece hedefledikleri tüketici gruplarına mesajlarını ileterek reklam verenlere bütçelerini verimli kullanma olanağı sunmaktadır (VIOOH ve Digiday, 2021).

Programatik, dijital medya ortamının yönetimi sağlamak üzere kullanılan ve veriyi merkeze alan bir otomasyondur (Park, 2025). IAB Türkiye 2025 Raporunda yeni bir satın alma sisteminin ortaya çıkması ve her geçen gün ekran sayısındaki artış, dijital açık hava reklamlarının da açık hava reklam pazarından pay alma eğilimine girmesine neden olduğu belirtilir. IAB Türkiye (2025) Programatik Dijital açık hava reklamcılığı araştırmasında markaların ve ajansların iletişim planları içerisinde programatik dijital açık hava reklamlarına pay vermelerinin üç önemli sebebi ; "belirli hedef tüketici gruplarını etkilemek", "farklı şartlarda farklı kreatif çalışmaların kullanılması" ve "çapraz kanal hedefleme" -yani dijital ekranlardaki reklamları gören tüketicileri aynı zamanda mobil ve web ortamında da hedefleyebilmek- olarak belirtilmektedir.

Programatik dijital açık hava reklam sistemleri hedef tüketicilerin cinsiyet ve yaş aralığı gibi bazı demografik verilerine erişebildiği gibi çevresi ile etkileşim içinde, çevresi ile bağlantı kurup veri alışverişinde bulunabilmektedir. Hedefleme sistemi; sistem ağı, kamera, sensör ve işlemcilerden oluşmaktadır. Programatik dijital açık hava reklam sistemleri yazılım sistemi ile çevresinden veri toplayarak bağlamsal farkındalık (contextual awareness) ile belirli bir zaman diliminde ekranı görme ihtimali yüksek hedef kitleyi belirleme yeteneğine sahiptir. Toplanan veriler yapay zeka destekli yazılımlar ve makine öğrenmesi kullanılarak işlenmekte ve anlamlı bilgilere dönüştürülmektedir. Burada edinilen bilgiler ışığında reklamlar en uygun hedef tüketici grubu ile eşleştirilerek ilgili dijital ekranlara yansıtılır (Khalil vd., 2023).

Müller vd.'ne (2009:6) göre bu açık hava reklamcılığı türü reklam verenlerin ileteceği mesajları tüketicilerin konumuna, bağlamsal durumuna, haftanın gününe ve gün içerisinde özel bir saat aralığına göre özelleştirebilmesine olanak tanımaktadır. Bu teknoloji, televizyon ve internette yayınlanan hareketli video ve animasyonlu reklamları açık havada sunmanın önünü açmaktadır. Büyük formatları, yüksek çözünürlükleri ve parlak led ekranları sayesinde tüketicilere güncel haber ve hava durumu gibi faydalı haberlerin ilgi çekici bir şekilde sunulmasını sağlamaktadır.

Programatik billboardlar, ekranlardaki görsellere gerçek zamanlı müdahale edilebilme özelliği sayesinde reklamı belirli bir zaman diliminde görecek tüketici grubunun yaş ve cinsiyetine göre değişebilmektedir. Hangi tüketici profilinin hangi konumdan ne zaman geçeceğini belirleyen lokasyon teknolojisi ile markalar tam isabet

ile hedefleme yapabilmektedir. Açık havada programatik teknolojisi, reklam ünitelerinin yanından geçen potansiyel tüketicileri yaş, cinsiyet, yaşam tarzı gibi kriterlere de göre kategorize edebilmektedir (Gözeyik, 2018).

Programatik dijital açık hava reklam mecrasını, dijital açık hava mecrasından ayıran bir diğer husus da medya satın alma süreciyle ilgilidir. Programatik olarak adlandırılan teknoloji, dijital açık hava reklamlarında medya satış işlemlerinin bilgisayar programları üzerinden kurgulanmasıdır. Verimlilik göz önünde bulundurulduğunda bu işleyiş önemli bir fayda sağlamaktadır. Geleneksel dijital açık hava reklamlarının medya satış süreçlerinde reklam veren ağ sahibi ile doğrudan/ aracısız temas kurması gerekir. Fiyat, zaman uygunluğu, hedef kitle belirleme gibi konuların bire bir konuşulması şartı bulunmaktadır. Tüm bu sürecin sonun anlaşma sağlanması durumunda ağ sahibinin kampanyayı kendi ağı üzerinden yönetmesi gerekmektedir. Ancak programatik sistemin getirmiş olduğu otomasyon, bu adımların birçoğunun otomatik olarak gerçekleşmesini sağlar. Medya satın alma için personel her bir ağ sahibi ile tek tek görüşmek yerine programatik ağ envanterine kolaylıkla ulaşabilir. Ağ üzerinde belirlenmiş olan fiyat ve zaman bilgileriyle kolayca rezervasyon işlemlerini gerçekleştirebilir. Yoğun telefon görüşmeleri ve elektronik posta trafiğine girilmeden istenilen ekran istenilen zaman için kolaylıkla rezerve edilebilmektedir (OAAA, 2018).

1.5.1. Programatik Açık Hava Reklamlarının Avantajları

Programatik açık hava reklamcılığı doğasında buluna özellikler sayesinde reklam verenlere çeşitli avantajlar sunmaktadır.Bu avantajlar, IAB Türkiye (2021) tarafından hazırlanan ***Programatik Açık Hava Reklamcılığı Klavuzu***'nda şu başlıklarla ifade edilmektedir:

Bire-çok reklamcılık: Bilindiği üzere dijital reklamcılıkta birebir iletişim yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak açık hava mecrası gibi yüksek erişime sahip fiziksel mekanda yapılan iletişimde bu yöntem daha zor olmaktadır. Programatik açık hava alım-satım platformları dijital ID ve kişiselleştirme ihtiyaçlarını yönetmek için mobil kimlik ortaklarıyla yaptıkları iş birlikleri ile bu sorunun üstesinden gelirler. Bundan dolayı programatik dijital açık hava, reklam verenlerin otomasyon ve verimliliğin avantajlarını bire- çok iletişimle birleştirmesine olanak tanımaktadır.

Bağlamsal olarak alakalı mesaj verme: Programatiğin sunmuş olduğu gerçek zamanlı veri teknolojisi markalar için büyük bir fırsat meydana getirmektedir. Reklam verenler canlı hava durumu veya trafik verilerini kullanarak reklam içeriğin hareketlendirebilir ve bu sayede büyük hedef tüketici gruplarının dikkatini çekmeyi başarabilir. Ayrıca programatik, potansiyel tüketicileri özel ilgi alanlarına, günün belirli bir saatine, hava durumuna ve konumlarına göre hedefleme özelliği sayesinde fiziksel dünyada kişiselleştirilmiş mesajlar sunma imkanı vermektedir.

Veriye dayalı karar verme: Alıcılar, mobil veri alanında hizmet suna şirketlerle yakın temasta çalışarak programatik karar alma süreçlerini zengin iç görülerle destekleyebilirler. Örneğin mobil cihaz kullanıcılarının

geçmiş konum desenlerinden hareketle bölümlendirilen müşteriler için gerçek zamanlı teklif kararına yönelik bilgiler sağlanabilmektedir. Bu durum aynı tarayıcı veya uygulama içi medya satın almak için kitle verilerini hedeflemeye benzer. Ancak programatikte bire çok yaklaşım benimsenmektedir. Hedeflemenin, konum verilerinin gizlenmesi açısından GDPR gibi veri gizliliği düzenlemelerine uygun biçimde, sadece izin veren kullanıcılar dahil edilerek planlanması gerekmektedir.

2. YÖNTEM

Çalışmanın ilgili bölümünde Türkiye pazarında, çeşitli sektörlerden markaların programatik reklamcılık faaliyetleri temelinde yürütülmüş uygulamaları örnek olay temelinde incelenmektedir.

Sosyal bilimlerden halk sağlığına, hukuktan fen bilimlerine ve pek çok farklı disiplinde farklı şekillerde yürütülen örnek olay çalışması pek çok disiplinde yerleşik bir araştırma yöntemidir (Greenhalgh, 2025). Örnek olay çalışması, gerçek yaşam içerisinde yer alan; zaman ve mekân ile sınırlandırılmış, bir ve/ veya bir kaç olgunun derinlemesine örnekler temelinde incelenmesini ve bu süreçte araştırma nesnesinin kendi bağlamı ile ilişkisinin nasıl olduğuna dair ayrıntılı kavrayış geliştirilmesini hedefleyen bir yöntemdir (Cleland vd., 2021).

Programatik açık hava reklamları faaliyetlerine yönelik örnekler gıda sektöründen Knorr Sıvı Çorba, finans sektöründen Troy Kart ve otomobil sektöründen Toyota Hibrit olarak programatik açık hava reklamlarını uygulayan ilklerden olmaları sebebi ile belirlenmiştir.

Programatik açık hava reklamcılığı Knorr sıvı çorba örneği: 2016 yılında açık hava reklamcılığında Türkiye pazarında ilk kez programatik açık hava reklamını yürüten marka olmuştur. Programatik açık hava reklamcılığının ilk temsilcisi Türkiye pazarında Knorr sıvı çorbadır. Knorr markası, 2016 yılında piyasaya sürdüğü yeni ürünü Knorr Sıvı Çorba'nın tanıtımı, pazarda bilinirliğinin sağlanaması ve0 Knorr sıvı çorbanın tüketiciler tarafından denenmesini sağlamak amacı ile geleneksel medya uygulamalarına ek olarak programatik açık hava reklamlarına da yer vermiştir. Görsel 5:

Görsel 5: Knorr Sıvı Çorba Programatik Açık Hava Reklamı

Mixxawards (2016).

İlgili yılın kış mevsimine organize edilen programatik açık hava reklamı kış mevsiminin soğuk günlerinde çorba tüketimini teşvik etmek için hava durumu bağlamsal koşulunu reklam mesajlarıyla bütünleştirmiştir. Ürün özelinde uygun ve etkileşimli dönemin seçilmesi mesajın iletiminde hedef tüketici pazarın farkındalığının artırılmasında önemli dinamik olmuştur, dinamik bir iletişim çalışması yürütülmüştür. Pazar araştırmaları sonucunda Türkiye'deki hanelerin yüzde 56'sının "dün pişirdiği yemekler arasında çorbayı ilk sıralarda" belirtmesi sonucuna istinaden Knorr, çorba içen herkesi hedef kitle içinde görmüştür. Bu ön bilgi temelinde Knorr sıvı çorba hedef tüketici pazarı 20-45 yaş arası herkes olarak belirlenerek proramatik açık hava reklamının hedeflemesine dahil edilmiştir.

Hedef tüketici pazarında yeni ürünün bilinirliği artırmak ve yeni ürünün denenmesini sağlamak, onları yeni ürünü denemeye teşvik etmek için günlük hayat akışında belirli noktalarda yerleştirilen programatik açık hava reklamları araçları ile iletişim kurulması planlanmıştır. Kampanya kapsamında İstanbul ilinin yaya trafiği en çok olan 31 konumunda yayınlanan reklamlarda 12.000 izlenim elde edilmiştir.

Yürütülen kampanya çerçevesinde, Türkiye pazarında kullanıma hazır ilk çorba olma niteliği ile "Knorr Sıvı Çorba", yine pazardaki ilk programatik açık hava reklamları ile hedef tüketicilerin dikkatine sunulmuştur. Soğuk geçen kış günlerinde ürünü tüketicilerle buluşturmayı amaçlamış olan programatik açık hava reklamı kampanyasında hava durumunun dinamik olarak kullanılması, mesajın bütünleştirilmesini sağlamış, hedef tüketici gruplarının tam olarak ihtiyaç duydukları anda farkındalıklarına sunulmuştur.

Programatik açık hava reklamcılığı Toyota Hibrit örneği:

Toyota hibrit modeli için Türkiye'de bir farkındalık çalışması yaparak ve programatik açık hava reklamlarını kullanmıştır. Farklı olmak ve tüketicilerin dikkatini çekmek için bu mecrayı seçen marka, kampanya mesajlarını, dinamik, hedefli ve tüketici için ilgili hale getirmiştir. İstanbul ilinde yol kenarlarındaki dijital reklam panolarını kullanan marka, bağlamsal koşul olarak trafik, yakıt tüketimi, gürültü seviyesi ve döviz kurlarını kullanarak mesajlarının bu verilerle gerçek zamanlı bütünleştirilmesini sağlamıştır.

Görsel 7: Toyota Hibrit programatik reklam

Weisbrott (2018).

Örneğin trafik yoğunlaştığı anda özel bir mesaj, hava kirliliği arttığında ayrı bir mesaj stratejisi ile tüketicilerin tam da problem olarak görülen anın içinde yakalanıp mesajın eş zamanlı iletilmesi iletişimin kalitesini artırmıştır. Kampanyanın başarılı olmasında da ana unsurlar arasında yer almıştır. 2018 Eylül ayında döviz kurlarının dalgalı seyretmesini de konu alan Toyota, anlık döviz verileriyle birlikte aracın ekonomik özelliklerini dile getirmiştir. Tüm sürücülere ulaşmak için sadece yol kenarındaki panolar kullanılmıştır.

Toyota yaratıcı yayını, yayınlayan bir reklam panosunun karşısında olma ihtimali yüksek olan sürücülere push bildirimleri göndermek için bazı izleyici verilerini kullanmıştır. Toyata Türkiye 2018 Kasım ayında başlayan bu programatik açık hava reklamı kampanyası sonrasında hibrit araç satışların yüzde 44'lük bir artış gösterdiğini açıklamış, bu olumlu geri bildirim sonucunda reklam bütçelerinin yüzde 25'lik kısmının doğrudan programatik açık hava mecralarına aktarılacağını belirtmiştir.

Programatik açık hava reklamcılığı Troy Kart örneği:

Gerçek zamanlı karar ve satın alma sistemiyle kurgulanan Troy Kart programatik açık hava reklamı kampanyası saat ve konum bazlı bir hedefleme ile gerçekleştirilmiştir. Troy Kart, farklı zaman dilimlerinde ve farklı konumlarda bağlamsal koşulun gerçekleşmesi şartına bağlı olarak gerçekleştirilen iletişim çalışmasında sabit bir reklam yerine koşullara göre değişen dinamik reklam mesajları ile hedef tüketici gruplarına mesajlarını iletmiştir. Kampanya, Troy Kart'ın marka mesajını hedef kitlenin karşılaşma olasılığının yükseldiği an ve noktalarda görünür şekilde kurgulanmıştır. Programatik açık hava reklamları yayınların hangi konumlarda ve

hangi zaman aralıklarında devreye alınacağı programatik satın alma mantığı çerçevesinde planlamıştır. Gerçek zamanlı yönetim yeteneği sayesinde mecranın kullanımı bağlamsal koşullara göre esnek tutulmuştur. Böylelikle yayın kararları önceden planlanmış bir kurguya bağlı olmadan anlık ihtiyaçlara göre alınmıştır ve reklam bütçesi sadece belirli şartları sağlayan ekranlara ayrılmıştır.

Görsel 6: Troy Kart Programatik Açık Hava Reklamı

MainScreen (2025).

3. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmada açık hava reklam mecrasında yeni gelişmekte olan programatik dijital açık hava reklamlarının gelişim süreci geleneksel ve dijital açık hava reklamları kapsamında kronolojik olarak ele alınmıştır. Açıkhava reklamcılığındaki uzun yol alan yazın temelinde detaylı biçimde aktarılmaktadır.

Sözlü iletişimde tellallar, çığırtkanlar ile başlayan açık hava reklamları matbaacılıkta kağıt baskı ile ilk temelleri atılmıştır. Zaman içinde gelişen dijital uygulamaların desteği ile veri temelli hedefleme yöntemlerinin kullanılmaya başlanması ile birlikte hedeflenememe algısını yıkmıştır.

Fiziksel dünyada tıpkı dijital reklamlardaki gibi hedeflemeyi mümkün kılan programatik açık hava teknolojileri, çağın ihtiyaçlarını en iyi şekilde yerine getirmeye olanak tanımaktadır. Geleneksel açık hava reklamcılığındaki kısıtları ortadan kaldıran, açık havayı dijital medya ile rekabet edebilecek düzeye getiren bu teknoloji, açık hava reklam sektöründe geleceğe umutla bakmayı sağlayan güveni sağlamaktadır.

Çalışmada yer verilen örnekler incelendiğinde markalar programatik teknoloji ile oluşturdukları kampanyalardan bekledikleri sonuçları almış, süreci daha kolay yönetmiş ve sürdürülebilir yapısıyla doğayı korumaya katkı sağlamışlardır.

Geleneksel reklama kıyasla çok daha hızlı işleyen medya satın alma ve rezervasyon işlemleri markaların iş yükünü hafifletmiştir. Hedef tüketici grubuna daha iyi hedefleme ile ulaşma, tüm gün yerine bağlamsal koşula göre medya satın alma ve belirli konumlarda reklam gösterimi gibi özelleştirilebilir kriterler sayesinde reklam

bütçeleri dengeli kullanılmış kaynakların doğru ve verimli kullanılmasına yardımcı olmuştur. Günümüz başarılı örneklerinden hareketle sunmuş olduğu bu avantajlar sayesinde programatik dijital açık hava reklamlarının gelecekte çok daha fazla konumda kullanılabileceği ifade edilebilir.

KAYNAKÇA

Abrons, S. (2019). Digital out of home: Glossary of terms. https://www.iab.com/wp-content/uploads/2019/03/DOOHGlossaryMarch2019.pdf. 10.09.2026

Adstash TM (2019). The complete guide to DOOH advertising. WestonExpressions INC. https://www.adstash.com/wp-content/uploads/2019/02/The-Complete-Guide-To-DOOHAdvertising-AdStash.pdf. 15.08.2026.

Belch, G. E., & Belch, M. A. (2001). Advertising Principles. McGraw-Hill.

Cleland J, MacLeod A, Ellaway RH. (2021). The curious case of case study research. Med Educ. 55:1131–41. doi: 10.1111/medu.14544.

Deka, D. (2020). The Outdoor advertising & its visual aesthetics: A study on its function and structure. Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry. https://doi.org/10.53555/tojqi.v11i4.10272

Dereli, A. B. (2025). Reklamcılığın stratejik ve dinamik bir aktörü: Programatik dijital ev dışı reklamcılık. SDÜ İFADE, 7(2), 89-104. DOI: 10.70627/sduifade.1621176

Decode (2026). OOH advertising: What it is, how it works, and why it still matters in 2026, https://www.entropik.io/resources/blog-articles/ooh-advertising, 16.07.2026

Elden, M., & Yeygel, S. (2006). Kurumsal Reklamın Anlattıkları. İstanbul: Beta Yayınları.

Elden, M., Ulukök, Ö., & Yeygel, S. (2008). Şimdi Reklamlar. İstanbul: İletişim Yayınları.

Elden, M. (2009). Reklam ve Reklamcılık. İstanbul: Say Yayınları.

Fırlar, B., & Çelik, M. (2010). Gazete reklamlarında mizah/Türk mizah reklamlarına ilişkin tarihsel bir analiz. The Journal of International Social Research, 3(12), 164–177.

Greenhalgh, T (2025). Case Studies: a quide for researchers, educators, and implementers, BMJ Medicine, September 21, 4(1):e001623, doi: 10.1136/bmjmed-2025-001623

Gözeyik, B. (2018, 9 Eylül). Açıkhavanın dijital trendleri. Marketing Türkiye. https://www.marketingturkiye.com.tr/haberler/acikhavanin-dijital-trendleri/ : 05.09.2026

Huang, M., Fang, Z., Weibel, R., Zhang, T., & Huang, H. (2021). Dynamic optimization models for displaying outdoor advertisement at the right time and place. International Journal of Geographical Information Science, 35(6), 1179–1204. doi:10.1080/13658816.2020.1823396.

IAB Türkiye. (2021). Programatik (dijital) açıkhava reklamcılığı kılavuzu. https://iabtr.org/rehber/programatik-acikhava-reklamciligi-kilavuzu/ : 02.09.2026

Išoraitė, M., & Gulevičiūtė, G. (2023). Outdoor advertising effectiveness evaluation from customers' view. Entrepreneurship and Sustainability Issues. https://doi.org/10.9770/jesi.2023.10.3(1)

Jain, A. & Khushpat, J.V. (2024). Study of effectiveness of out of home (ooh) media advertising with special reference to Mumbai, Grand Academic Portal, ISSN:2581-5857, 1-4, https://www.gapbodhitaru.org/res/articles/(423-426)%20STUDY%20OF%20EFFECTIVENESS%20OF%20OUT%20OF%20HOME%20(OOH)%20MEDIA%20ADVERTISING%20WITH%20SPECIAL%20REFERENCE%20TO%20MUMBAI.pdf, 10.08.2026

Khalil, G., Qutp, M., & Nada, M. (2023). Intelligent Billboards Targeted Advertising Systems. Journal of Art, Design and Music. https://doi.org/10.55554/2785-9649.1020

Kocabaş, F., & Elden, M. (2011). Reklamcılık: Kavramlar, kararlar, kurumlar. İletişim Yayınları.

MainScreen (2025). Zaman, Mekan, Programatik Açıkhava, https://mainscreen.com.tr/portfolio/troy/

Mete, M. H. (2021). Dijital medyada programatik reklamcılık ve etik sorunlar. TRT Akademi, 6(12), 426-449.

Mixxawards (2016). Knorr Programmatic OOH, Knorr Programmatic OOH - MIXX Awards Türkiye, https://www.mixxawards-tr.org/award/knorr-programmatic-ooh/

Muller, G. 2013. Advertising in the OOH Zone: A guide to out-of-home media strategy. Johannesburg: Advertising Media Forum. [Online]. Available at: http://www.ohmsa.co.za/downloads/OOH_Zone-LoRes1.pdf [Accessed on 14 March 2014].

OAAA. (2018, October 30). Understanding programmatic digital out of home in one easy post. https://oaaa.org/blog-posts/understandingprogrammaticdooh/ : 01.09.2026

Outdoor Advertising Association of America. (2022). Standard OOH business practices. https://oaaa.org/wp-content/uploads/2022/09/OAAA-Standard-OOH-Business-Practices.pdf , 09.09.2026

Park, D. Y. (2025). Enhancing credibility in programmatic advertising: A conceptual model of transparency, optimality, and safety surveillance. Journalism & Mass Communication Quarterly, 10776990251328625.

Usman, O., Hardini, I. R., & Kasofi, A. (2025). Optimizing digital out of home outdoor media by utilizing data to increase the effectiveness of marketing campaigns. Edelweiss Applied Science and Technology, 9(2), 1857-1871. https://doi.org/10.55214/25768484.v9i2.4945

VIOOH & Digiday. (2021). WTF is programmatic digital out-of-home? https://6598480.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/6598480/VIOOH_WTF%20is%20Programmatic%20DOOH.pdf

Yassin, A. (2023). Anamorphic illusion technology and its creative applications in digital out door advertising. International Design Journal. https://doi.org/10.21608/idj.2023.288284

Yavuz, Ş. (2009). Reklamın Toplumsal Yansımaları ve Yeni Reklam Biçimleri. Ankara: Ütopya Yayınevi.

Weissbrott, A. (2018). Toyota uses programmatic OOH in Turkey to spread the word on hybrid cars, https://www.adexchanger.com/digital-out-of-home/toyota-uses-programmatic-ooh-in-turkey-to-spread-the-word-on-hybrid-cars/

Wilson, R. T. (2023). Out-of-home advertising: A systematic review and research agenda. Journal of Advertising, 52(2), 279-299. https://www.researchgate.net/publication/360509843_Out-of-Home_Advertising_A_Systematic_Review_and_Research_Agenda https://doi.org/10.1080/00913367.2022.2064378

BETWEEN TWO WORLDS AND MULTIPLE SCREENS: RELIGION, FAMILY, AND CULTURAL TRANSMISSION IN THE DIASPORA

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 migration locates families between the normative world of origin, the institutional environment of the receiving society, and digitally mediated spaces in which religious meanings and cultural practices circulate. This conceptual article develops the notion of negotiated digital inheritance to explain how migrant families use video calls, messaging applications, social media, and livestreamed worship to sustain and transform intergenerational belonging. The analysis integrates transnationalism, mediatization, family sociology, and scholarship on religion and migration. Percentage indicators from Eurostat, Pew Research Center, Eurobarometer, and INSCOP contextualize digital access, religious practice, and migration-related information. The paper shows that screens strengthen ambient kinship, ritual access, and linguistic continuity while redistributing authority among parents, grandparents, clergy, peers, and digitally competent youth. Children are not passive recipients: they translate, compare, combine, and resist transmitted repertoires. Outcomes depend on family trust, institutional inclusion, class, gendered care labour, platform affordances, and the capacity to connect symbolic content with shared practice. Digital communication therefore neither preserves culture intact nor inevitably accelerates assimilation. It produces a relational field in which continuity becomes credible through dialogue, contextual relevance, and reciprocal recognition.

Keywords: diaspora; cultural transmission; religion; transnational family; digital mediation; intergenerational relations

1. INTRODUCTION

Migration does not simply relocate individuals; it reorganizes the social settings in which identity is learned, authorized, and disputed. Families established outside Romania inhabit a field structured by at least three normative environments: memories and obligations associated with the place of origin, institutions and peer cultures in the receiving society, and digitally mediated spaces that make distant actors continuously present. The resulting cultural transmission cannot be understood as a one-way transfer of intact traditions. It is a negotiated accomplishment produced through everyday choices about language, ritual, media, kinship, schooling, and public belonging. This article asks how digital communication changes the relational architecture through which religion and culture travel between generations in diaspora families.

The question matters because transnational communication has become ordinary infrastructure. In 2024, 93% of people aged 16–74 in the European Union had used the internet during the preceding three months, and 85% used it for telephone calls, video calls, or instant messaging (Eurostat, 2024a). These aggregate indicators do not identify migrants or religious practices, yet they establish the communicative environment in which migrant families organize intimacy. A video call can place grandparents at a birthday table, a messaging group can circulate prayers and family photographs, and a livestream can connect a household to a parish located hundreds of kilometres away. The same interfaces also expose children to competing publics, accelerate comparison between cultural repertoires, and make authority dependent on digital competence.

The argument developed here is that multiple screens generate a transnational third space rather than merely extending the home or replacing face-to-face contact. This space has its own temporalities, visibility rules, and asymmetries. Adults often mobilize platforms to preserve continuity, while younger users treat the same media as resources for selective identification. Religious institutions seek to stabilize doctrine and ritual, but platform formats reward brevity, affect, and circulation. Kin relations gain frequency while sometimes losing contextual density. These tensions produce what may be called negotiated digital inheritance: an intergenerational process in which transmitted meanings become credible only through situated interpretation, practical usefulness, and reciprocal recognition.

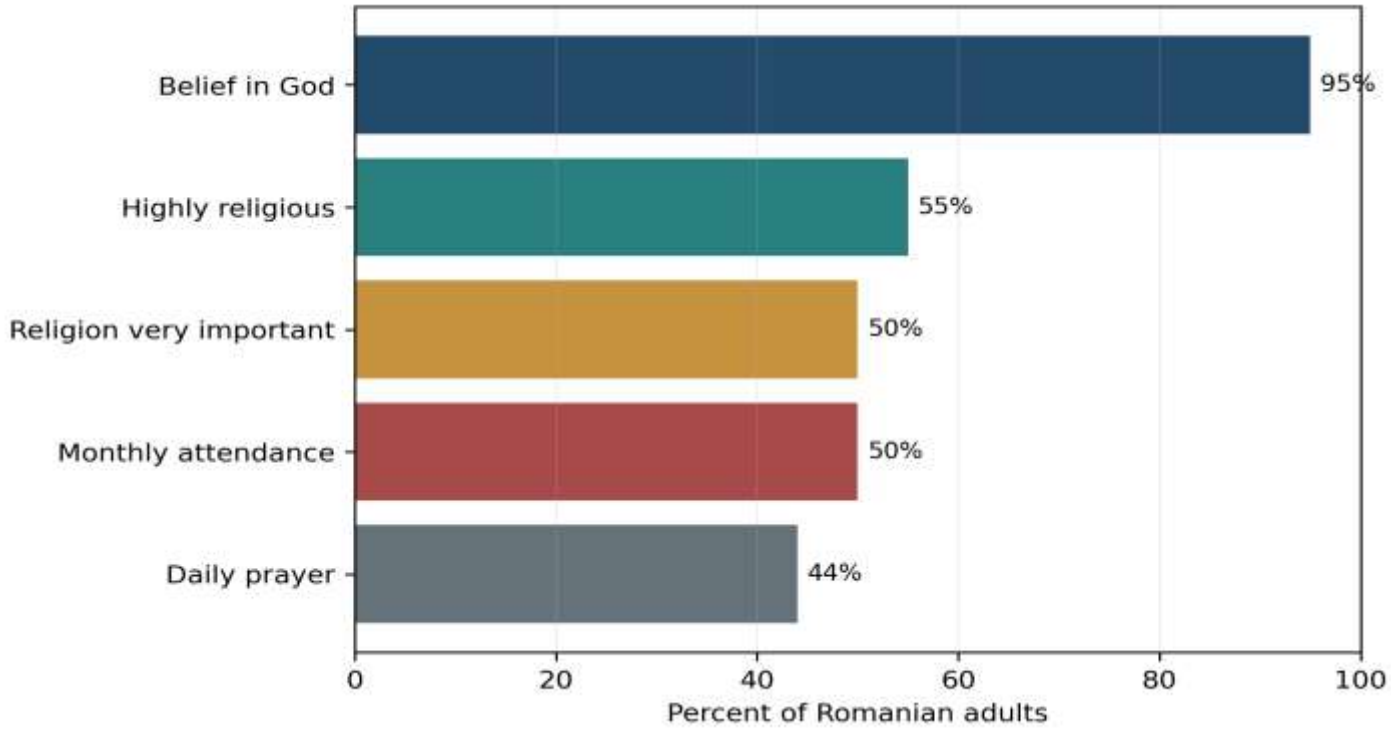


Figure 1. Selected indicators of religious belief and practice in Romania

Source: Pew Research Center (2017, 2018).

Note: Percentages refer to Romanian adults and different survey indicators. Belief in God is reported from the Central and Eastern Europe study; the composite highly religious measure and practice indicators are reported in the regional analysis.

Sociological interpretation. The figure replaces a conceptual network with an empirically anchored profile. The wide distance between general belief and more demanding forms of practice shows that religious identity is internally differentiated. For diaspora research, this matters because families may transmit belief, institutional participation, prayer, and ethnic affiliation at different rates. Treating religion as a single retained or lost attribute would conceal the selective character of intergenerational continuity.

2. THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK

Transnationalism and Mediatization

The analysis combines transnationalism, the sociology of religion, mediatization theory, and scholarship on intergenerational incorporation. Transnationalism displaced the assumption that migration culminates in a clean break between origin and destination. Migrants sustain social fields that connect institutions, households, resources, and identities across borders (Glick Schiller et al., 1995; Levitt & Glick Schiller, 2004). Within such fields, family practices are not residual private matters. They coordinate care, remittances, moral obligations, and narratives of who belongs. Feraru's studies of Romanian migration emphasize that incorporation, disintegration,

and reintegration coexist, and that the social costs of mobility are distributed through families and communities rather than borne solely by individual migrants (Feraru, 2011a, 2011b, 2015).

The concept of social remittances is especially useful because it identifies ideas, practices, identities, and social capital that circulate alongside money (Levitt, 2001). Digital media increase the speed and observability of such circulation, but speed does not guarantee acceptance. A religious message forwarded by a grandparent enters a communicative setting in which the recipient can ignore it, remix it, verify it, or answer with an alternative interpretation. Transmission is therefore better conceived as translation. Actors select elements from a repertoire, frame them for an imagined recipient, and adjust them after receiving feedback. This process depends on language proficiency, emotional closeness, platform affordances, and the perceived legitimacy of the sender.

Mediatization theory further shows that media are not neutral channels. Religious organizations and family relations adapt to media logics concerning visibility, format, personalization, and audience measurement (Hjarvard, 2008). Polymedia theory adds that people choose among available media in morally meaningful ways: a call, voice note, public comment, or private message communicates not only content but also care, urgency, hierarchy, and accountability (Madianou & Miller, 2012). Finally, segmented assimilation and comparative integration approaches caution against treating the second generation as uniform. Educational pathways, discrimination, class position, neighbourhood context, and institutional support shape distinct modes of incorporation (Crul & Schneider, 2010; Portes & Rumbaut, 2001). Digital mediation intersects with, but does not erase, these structural differences.

Table 1. Theoretical lenses and their analytical contribution

Lens	Core mechanism	Contribution	Limitation
Transnationalism	Cross-border social fields	Connects origin and destination institutions	Can understate life-course change
Mediatization	Adaptation to media logics	Explains format and visibility effects	May overgeneralize media power
Polymedia	Moral choice among media	Links channel choice to intimacy and obligation	Assumes meaningful access
Segmented assimilation	Plural incorporation paths	Locates families in unequal contexts	Often nation-centred
Lived religion	Religion in everyday practice	Captures domestic and embodied meanings	Hard to compare quantitatively

Table 1 demonstrates that no single theoretical perspective can adequately explain digitally mediated cultural transmission in diaspora families. Transnationalism locates family practices within social fields that cross national borders, but it does not fully specify how communication technologies reorganize authority and interaction. Mediatization theory addresses this limitation by showing that religious and cultural practices are adapted to the formats, temporalities, and visibility regimes of media environments (Hjarvard, 2008). Polymedia theory further clarifies that selecting a video call, voice message, public post, or private group is a socially meaningful decision

through which family members communicate intimacy, obligation, urgency, or distance (Madianou & Miller, 2012). Segmented assimilation and lived-religion approaches add the institutional and everyday dimensions required to understand variation among younger generations. Considered together, these perspectives support a relational explanation: cultural continuity is shaped simultaneously by cross-border ties, platform affordances, unequal incorporation contexts, family negotiations, and the practical relevance of religious meanings. Their analytical value therefore lies in complementarity rather than theoretical substitution.

Methodological Design

This is a conceptual synthesis supported by secondary contextual indicators. It does not claim to report an original survey, interview study, or causal estimate. The procedure involved four steps. First, the two central domains—religious transmission and cultural transmission—were decomposed into actors, practices, media, and outcomes. Second, propositions from transnationalism, mediatization, family sociology, and migration research were compared for points of convergence and contradiction. Third, official European indicators were used sparingly to describe the scale of cross-border mobility and digital connectivity. Fourth, the integrated mechanisms were translated into analytical figures and tables.

All eight figures use published percentage indicators or percentage-point differences calculated transparently from the cited sources. Each figure identifies its population, reference year, unit, and evidentiary limits. The indicators contextualize digital access, religious practice, and public knowledge; they do not constitute a representative dataset of Romanian diaspora families and cannot establish causal effects of digital communication. This distinction prevents contextual statistics from being read as direct measurements of intergenerational transmission. The analysis therefore uses quantitative evidence descriptively and privileges sociological mechanisms: it asks how media practices reorganize memory, authority, participation, and belonging under specific family and institutional conditions.

Romanian migration provides the substantive anchor because Romanian citizens constitute a particularly mobile EU population and because the author's earlier work examined Romanian communities in Italy. However, the theoretical claims are formulated at a middle range. They should travel to other European diasporas when family dispersion, regular digital access, and plural religious environments are present, but they should not be generalized to forced displacement, severe connectivity deprivation, or radically different legal regimes without empirical testing. The paper therefore offers propositions and a research design agenda, not a universal model.

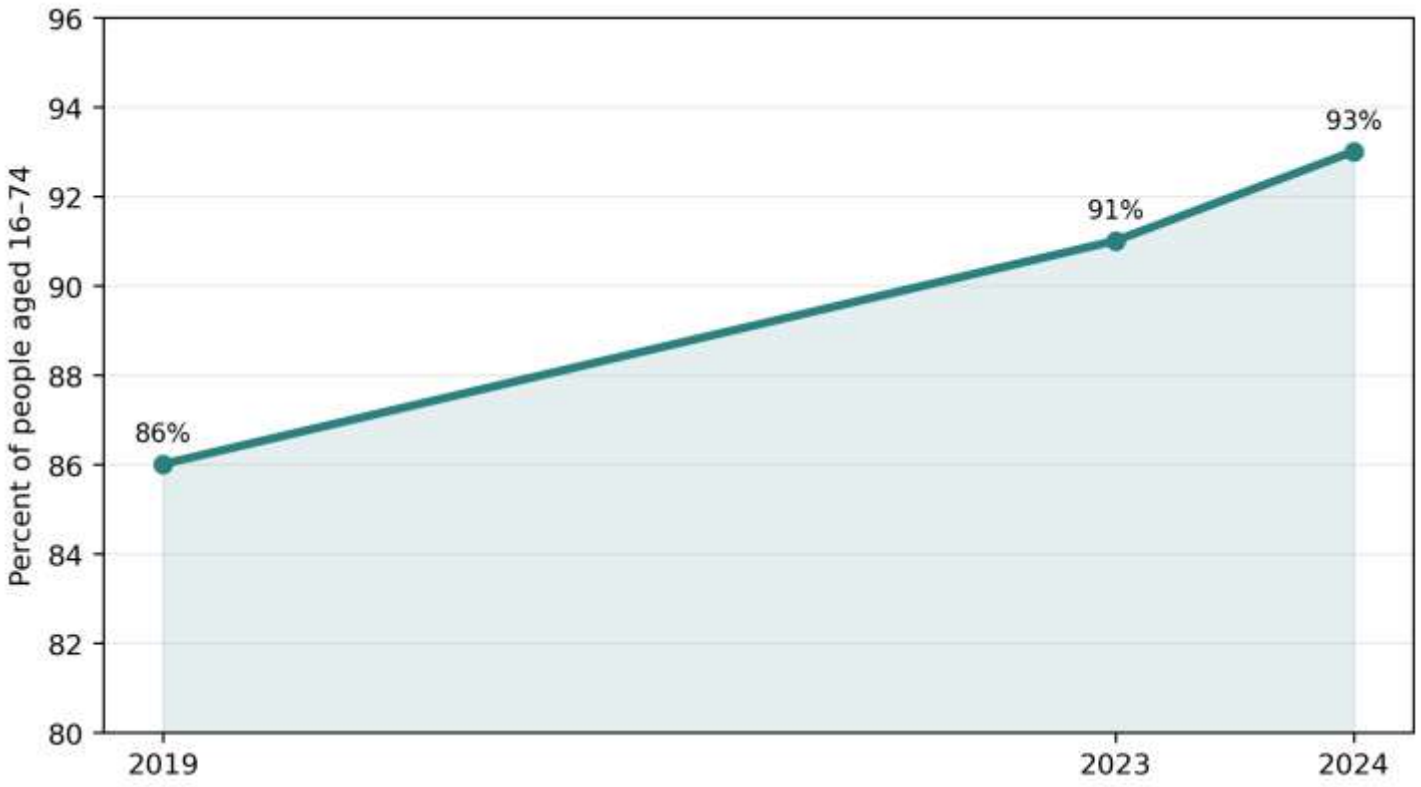


Figure 2. Internet use in the European Union in selected years

Source: Eurostat (2024a).

Note: Percent of people aged 16–74 who used the internet during the previous three months; selected published benchmark years.

Sociological interpretation. The rise from 86% in 2019 to 93% in 2024 establishes digital communication as near-general infrastructure. It does not establish equal access or equal competence. The unconnected minority is socially selective, while older people may depend on relatives even when they technically use the internet. Diaspora families therefore operate in a highly connected environment whose remaining exclusions can disproportionately silence precisely those members who carry genealogical and religious memory.

3. FINDINGS AND SOCIOLOGICAL INTERPRETATION

Family Memory Across Distance

Family memory is transmitted through stories, objects, recurrent occasions, and embodied routines. Migration separates these elements spatially, while digital media reassemble them selectively. Video calls privilege what can be shown in real time; messaging applications privilege short, repeatable fragments; social media privilege content that can be publicly displayed; cloud archives privilege what someone chooses to preserve. Each format produces a different politics of remembrance. The ordinary texture of the origin community may disappear behind

celebrations, landscapes, food, and moral anecdotes, generating a curated homeland that is emotionally dense but socially partial.

Grandparents frequently occupy a distinctive position because they combine genealogical authority with local knowledge. Their digital participation can intensify intergenerational contact, yet it is often scaffolded by other relatives. This dependence creates a subtle redistribution of power: the young may control the interface while elders control the narrative. The encounter is reciprocal. Children learn family histories, but grandparents also learn which stories elicit attention and which references require explanation. Memory becomes dialogical and episodic rather than delivered as a continuous canon.

The social significance of frequency must therefore be separated from depth. Daily messages can sustain ambient awareness without producing detailed understanding, whereas a less frequent conversation attached to a ritual or family crisis may reorganize belonging. The analytical task is not to count contacts alone, but to examine how contacts are embedded in obligations, emotions, and opportunities for response. Digital co-presence works best when it supplements shared projects—language learning, care, travel, worship, or collaborative archiving—through which memory becomes practically consequential.

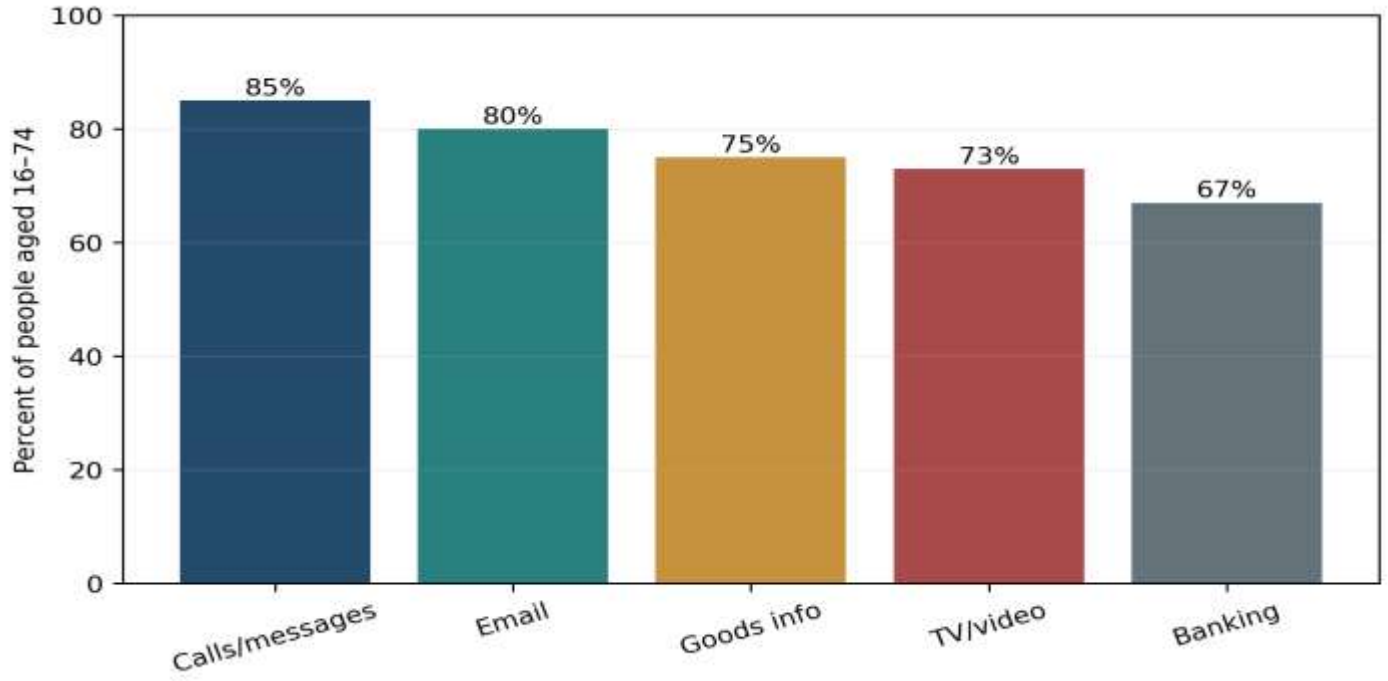


Figure 3. Main online activities in the European Union in 2024

Source: Eurostat (2024a).

Note: Percent of people aged 16–74; activities experienced during the survey reference period.

Sociological interpretation. Communication occupies the leading position, but it shares the digital environment with information seeking, audiovisual consumption, and banking. For transnational families, the same device

sustains intimacy, exposes members to competing narratives, and manages economic obligations. Cultural transmission is consequently embedded in a multiplex infrastructure rather than a dedicated educational channel. Frequent communication may preserve ambient kinship without guaranteeing sustained explanation or ritual participation.

Table 2. Media affordances and family uses

Medium	Temporal form	Typical use	Sociological tension
Video call	Synchronous	Ritual co-presence and care	Presence versus performance
Voice note	Asynchronous voice	Storytelling and blessing	Warmth versus context loss
Group chat	Persistent stream	Coordination and moral reminders	Solidarity versus surveillance
Livestream	One-to-many synchronous	Remote worship	Access versus weak membership
Social feed	Algorithmic public	Identity display	Recognition versus simplification
Cloud archive	Persistent repository	Family memory	Continuity versus selective curation

As Table 2 indicates, communication media cannot be treated as interchangeable channels carrying identical cultural content. Each medium establishes a particular relationship between time, presence, visibility, and memory. Video calls support synchronous co-presence and permit distant relatives to participate in family or religious occasions, but they can also transform spontaneous interaction into a performance organized around the camera. Voice messages preserve accent and emotional tone while allowing delayed reception, whereas group chats create persistent streams of coordination that may simultaneously strengthen solidarity and facilitate interpersonal monitoring. Livestreamed worship expands ritual accessibility but does not necessarily reproduce the mutual obligations associated with congregational membership. Social feeds increase public recognition while privileging content suited to algorithmic circulation, and digital archives preserve selected memories while leaving other experiences undocumented. Consequently, the sociological effect of digital mediation depends not only on what is communicated but also on the medium through which the message becomes present, persistent, publicly visible, and open to response.

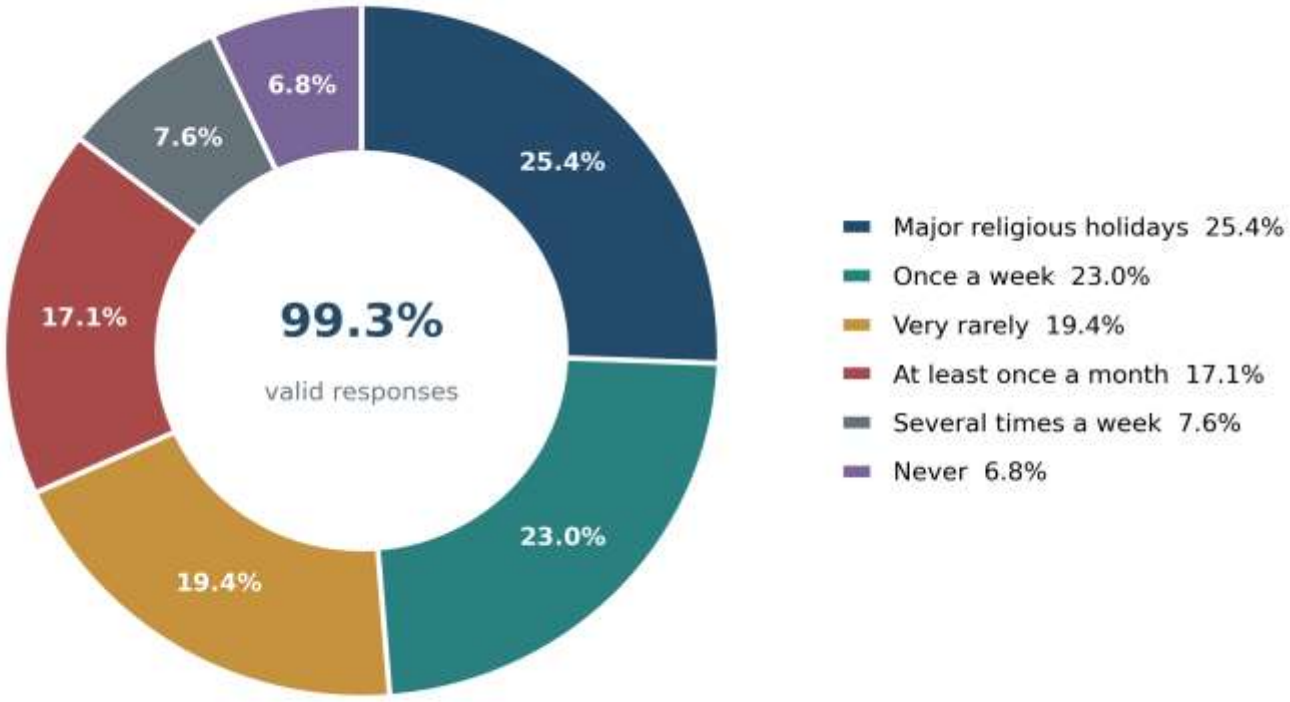


Figure 4. Frequency of attendance at religious services in Romania

Source: INSCOP Research (2025), reported by Basilica.ro (2025).

Note: Percentages total 99.3%; the remaining 0.7% represents nonresponse.

Sociological interpretation. Attendance is distributed across weekly, monthly, occasional, rare, and non-participatory patterns. This heterogeneity supplies diaspora families with different inherited baselines before migration occurs. Parents who attend only on major holidays may transmit religion through celebrations and moral language rather than congregational discipline, whereas frequent attenders may prioritize institutional continuity. The percentage distribution prevents the analysis from treating Romanian religiosity as uniformly intensive.

Religion and Changing Authority

Religious transmission combines doctrine, ritual competence, moral evaluation, community membership, and experiences of transcendence. Digital access changes each component unevenly. Livestreamed services reduce spatial barriers and can maintain familiarity with liturgical language and sacred calendars. Recorded sermons and short-form religious content allow asynchronous participation. Family groups circulate prayers and announcements that sustain a moral community. Yet mediated participation can detach ritual from local relations

of accountability and service. Watching is not equivalent to membership, and recognition of symbols is not identical to embodied competence.

Authority is consequently dispersed. Parents may invoke tradition, clergy may invoke office and doctrine, grandparents may invoke biography, and young people may invoke information obtained from diverse online sources. The credibility of each claim depends on context. A digitally skilled priest can become more present than a local institution; an influencer can translate religious vocabulary into youth culture; a child can fact-check an adult's assertion during the conversation itself. This does not imply the disappearance of authority. It means that authority must increasingly be performed through accessibility, consistency, and relational trust.

Diaspora congregations can mediate between inherited religion and the receiving society by offering language instruction, mutual aid, cultural events, and intergenerational settings. They can also intensify boundary making when authenticity is defined narrowly. Hybrid participation—alternating between local attendance, homeland livestreams, and informal digital networks—may broaden repertoires while weakening exclusive institutional attachment. The sociological outcome is not secularization by technology or automatic religious revival. It is a differentiation of religious functions across platforms, households, and organizations.

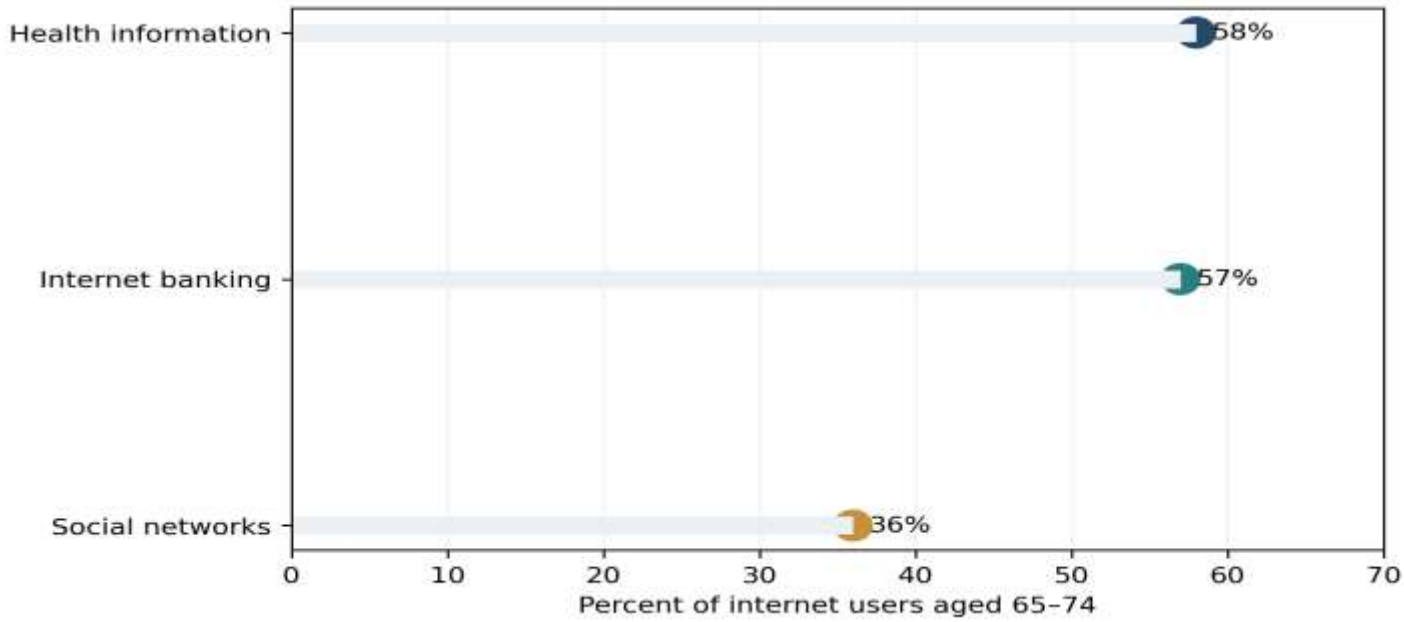


Figure 5. Selected internet activities among older users in the European Union

Source: Eurostat (2024b).

Note: Percent of internet users aged 65–74 in 2023. The indicators are activities, not mutually exclusive categories.

Sociological interpretation. Older users participate substantially in health information and banking but less in social networks. The pattern cautions against representing grandparents as digitally absent. Their participation is

selective and shaped by perceived usefulness, risk, and competence. In diaspora families, this can make video or messaging contact viable while public social-media performance remains youth dominated. Intergenerational transmission therefore depends on the fit between particular media practices and older adults' routines, not on a simple digital-user divide.

Youth Agency and Selective Adaptation

Children and adolescents are interpreters, brokers, and sometimes gatekeepers. Their linguistic and digital competencies often exceed those of adults in the receiving society, while their knowledge of origin contexts may be less extensive. This asymmetric competence gives them leverage. They can translate institutional messages, manage family accounts, select media, and decide whether inherited practices will enter peer settings. Their choices are structured by the desire for family recognition, fear of stigma, educational demands, and the availability of credible hybrid identities.

Selective adaptation should not be confused with cultural loss. A young person may reject compulsory ritual while retaining ethical vocabularies, family celebrations, or symbolic attachments. Another may intensify religious identification as a response to discrimination or as a route to transnational community. A third may combine elements from origin and host repertoires without perceiving a contradiction. These trajectories show why binary measures of retention versus assimilation are insufficient. The relevant questions concern which elements are retained, who authorizes them, in what setting they are performed, and with what consequences.

Platforms expand the comparative horizon within which these choices occur. Young users encounter co-ethnics in other countries, religious counterpublics, secular critiques, and commercialized identity content. Algorithmic recommendation can normalize niche identities, but it can also amplify conflict and simplify internal diversity. Digital literacy therefore has a cultural dimension: it includes the capacity to recognize framing, commercial incentives, decontextualization, and the unequal visibility of voices claiming authenticity.

Table 3. Intergenerational positions in cultural negotiation

Position	Primary resource	Typical claim	Potential conflict	Integrative practice
Grandparent	Biography and local memory	This is how our family lived	Idealized homeland	Dialogic storytelling
Parent	Care and household authority	This keeps the family together	Compulsory identification	Negotiated routines
Religious leader	Office and ritual expertise	This is legitimate practice	Institutional distance	Bilingual pastoral work
Young person	Digital and host-context competence	This must make sense here	Seen as disloyalty	Peer translation
Diasporic creator	Reach and cultural brokerage	This represents us publicly	Commercial simplification	Transparent attribution

Table 3 reveals that intergenerational cultural transmission is structured by an unequal distribution of resources rather than by a simple opposition between transmitting adults and receiving children. Grandparents derive authority from biography, genealogical memory, and direct knowledge of the community of origin. Parents combine household responsibility with the power to organize language use, ritual participation, and transnational contact. Religious leaders claim institutional and doctrinal legitimacy, while young people possess competencies derived from education, peer relations, digital literacy, and everyday participation in the receiving society. Diasporic creators introduce an additional form of public authority based on visibility and cultural brokerage. Conflict emerges when one resource is treated as sufficient for controlling the entire process—for example, when parental responsibility is interpreted as unquestionable cultural authority or when digital reach is mistaken for representative legitimacy. More sustainable transmission requires integrative practices through which these resources become mutually corrective: dialogical storytelling, bilingual pastoral activity, negotiated household routines, youth participation, and transparent attribution of publicly circulated cultural narratives.

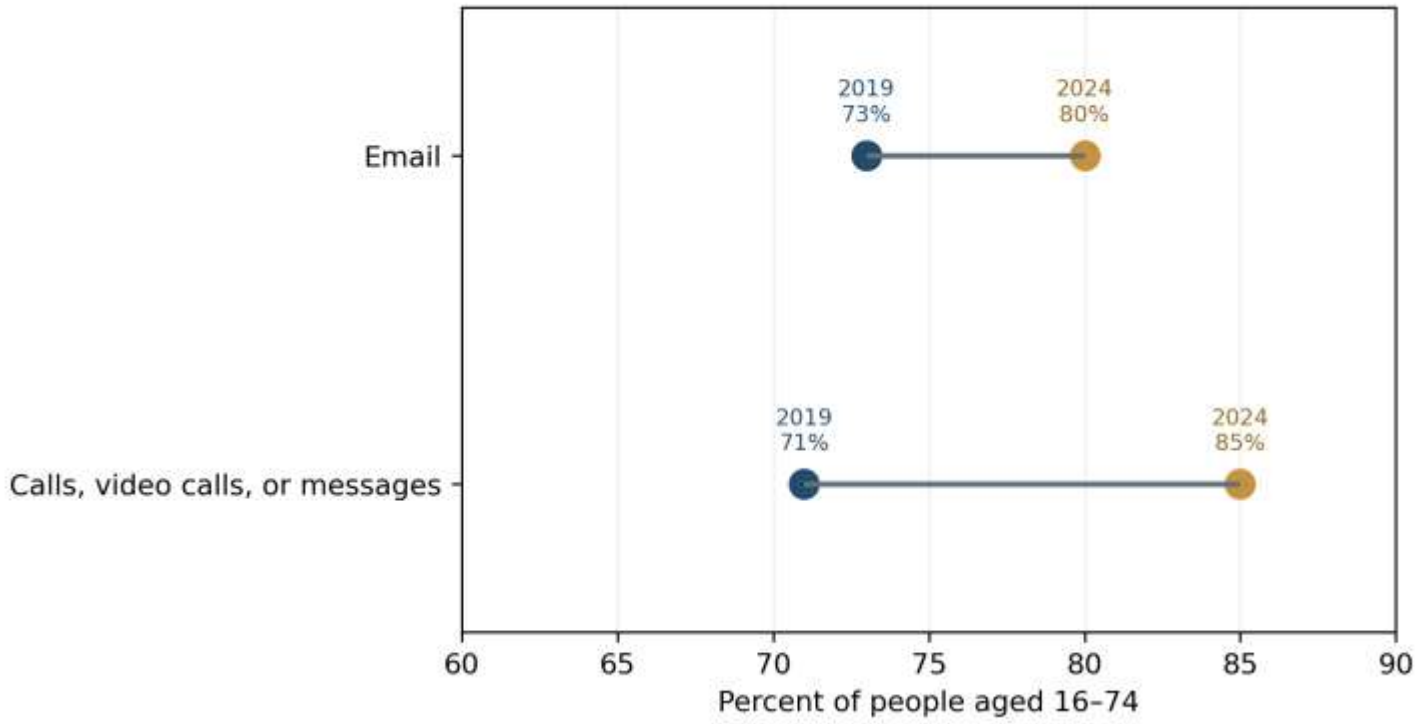


Figure 6. Growth of online communication activities in the European Union

Source: Eurostat (2024a).

Note: Percent of people aged 16–74. The 2019 values are reconstructed from Eurostat's reported 2019–2024 percentage-point increases: 14 points for calls or messaging and 7 points for email.

Sociological interpretation. Calls, video calls, and messaging grew faster than email, indicating a shift toward immediate and conversational formats. These formats can intensify emotional presence and enable youth to broker

contact, but they also create expectations of continuous availability. The sociological effect is a redistribution of communicative authority toward those who manage rapid, multimodal interaction. Growth in use should not be interpreted as growth in cultural depth; the content and reciprocity of exchanges remain decisive.

Inequality and the Limits of Connectivity

Connectivity is socially stratified. Devices, broadband quality, housing privacy, working time, digital skills, and legal security shape who can maintain transnational intimacy. Aggregate internet-use rates conceal these inequalities. A worker with irregular shifts may have technical access but little temporal autonomy. An older relative may possess a smartphone yet depend on others to use it. A crowded household may make private religious or emotional communication difficult. Digital family life therefore rests on material infrastructures and care work.

Gender is central because women often coordinate kin communication, ritual calendars, emotional support, and the circulation of photographs and news. Treating these practices as spontaneous family cohesion obscures labour. Men may participate more visibly in institutional or doctrinal communication while women sustain the repetitive interactions through which continuity becomes ordinary. These patterns vary, but the analytical distinction between public authority and maintenance work helps reveal unequal burdens.

Digital communication may also intensify surveillance. Read receipts, location sharing, public photographs, and constant availability allow distant relatives to monitor conduct. What appears as intimacy to one actor may feel like control to another. Youth resistance may therefore target not cultural identity itself but the mode of enforcement. Ethical research must distinguish supportive involvement from coercive visibility and must avoid romanticizing transnational connectedness.

Table 4. Inequalities shaping digital transmission

Dimension	Mechanism	Likely consequence	Research indicator
Class	Device, space, and time constraints	Unequal contact quality	Housing privacy and schedules
Age	Unequal interface competence	Dependence on brokers	Assisted use
Gender	Unequal kin and ritual labour	Invisible care burden	Communication coordination time
Legal status	Mobility and institutional insecurity	Narrower public participation	Status and service access
Language	Unequal expressive range	Reduced narrative depth	Language by interaction domain
Platform governance	Opaque ranking and moderation	Unequal visibility	Reach, removal, and appeals

The inequalities summarized in Table 4 show why formal connectivity cannot be equated with equal participation in transnational family life. A person may own a device and use the internet while lacking private space,

uninterrupted time, advanced digital skills, or sufficient linguistic competence for complex conversations. Legal insecurity and precarious employment can further restrict opportunities to participate in community institutions or maintain regular contact across borders. Gender inequalities are particularly significant because the repetitive work of organizing calls, remembering celebrations, circulating photographs, and repairing family conflicts is frequently naturalized as affection rather than recognized as cultural and emotional labour. Age differences can create dependence when older relatives require assistance to access platforms, while opaque moderation and recommendation systems determine which religious or cultural voices become visible. Digital transmission is therefore embedded in material and institutional inequalities. Research that measures only access frequency risks overlooking who controls communication, who performs its maintenance, whose contributions remain invisible, and who can withdraw from digital interaction without losing recognition as a family or community member.

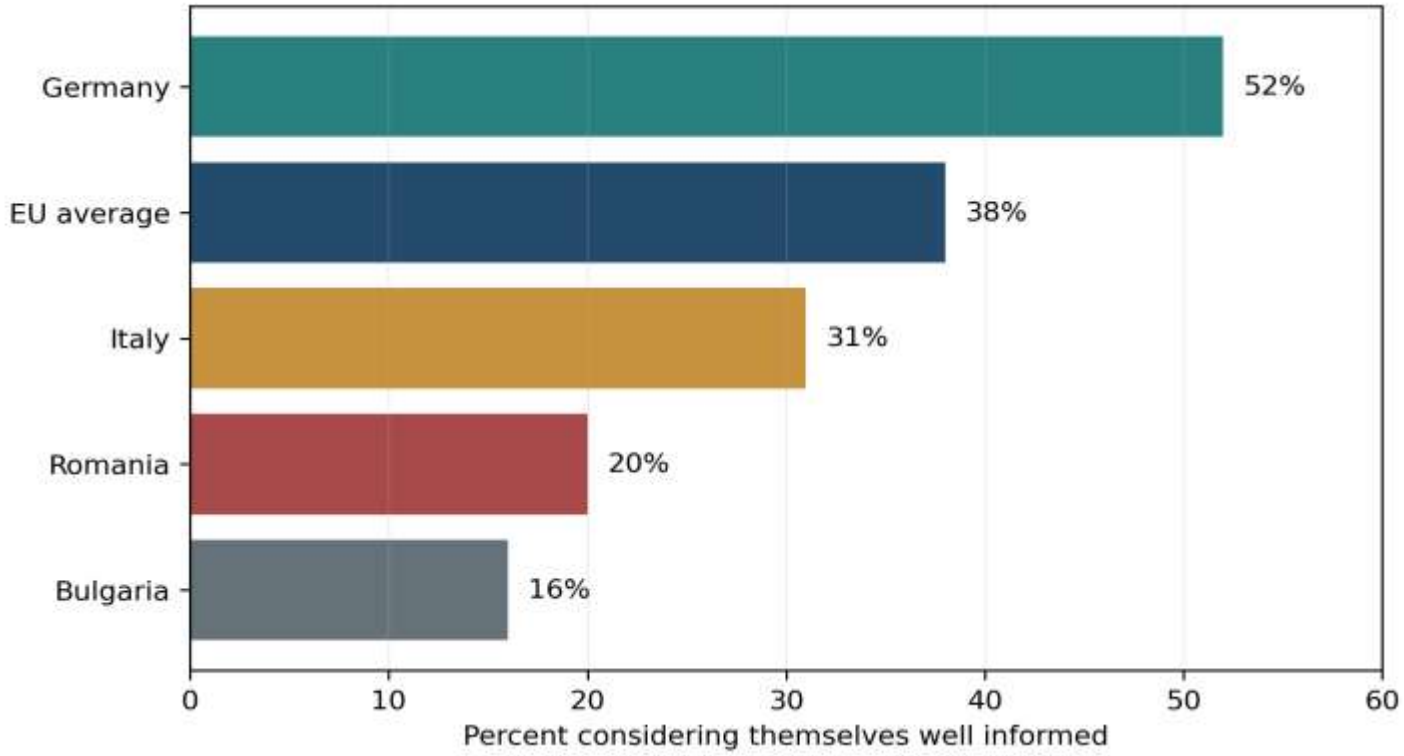


Figure 7. Perceived information about migration and integration in selected European contexts

Source: European Commission Special Eurobarometer on integration (2022), summarized by AMeLiE Project (2022).

Note: Percent considering themselves well informed about immigration and integration. Selected national values are shown with the EU result.

Sociological interpretation. Romania's 20% is substantially below the EU result of 38% and Germany's 52%. A low-information environment can make family networks and social media disproportionately influential sources of migration narratives. This increases the importance of source evaluation and can reinforce polarized

or anecdotal accounts. Cultural transmission is not insulated from public knowledge: young people interpret parental narratives within national information climates that differ markedly in institutional credibility and media provision.

Comparative Analytical Domains

Heritage-language use. Language choice assigns intimacy, correction, and legitimacy to different speakers; a child may understand Romanian yet reserve it for grandparents while using the host language for argument and abstraction. The principal boundary condition is age at migration, schooling, regional dialect, and household composition. A rigorous study would combine interaction recordings, language diaries, and interviews rather than infer competence from self-identification alone. Sociologically, this domain matters because linguistic continuity depends on domains of use and emotional safety, not only vocabulary.

Food preparation. Here, recipes transmitted by video turn embodied knowledge into camera angles, verbal instructions, and substitutions for unavailable ingredients. Interpretation must remain sensitive to class resources, dietary rules, gendered labour, and access to familiar products. Evidence should be developed through research designed to observe cooking sessions across generations and trace who plans, explains, performs, and evaluates them. The broader implication is that ordinary domestic practice may carry memory more effectively than explicit lessons about identity.

Calendar rituals. Shared calendars, reminders, and streamed ceremonies synchronize dispersed households, yet work and school schedules in the host society determine actual participation. The scope of this inference depends on denomination, employment regime, and whether religious holidays receive public recognition. Empirical assessment would compare planned participation with enacted practice across an annual cycle. This focus clarifies why temporal coordination is an institutional problem as much as a question of belief.

Funerals and mourning. Digital presence can include distant relatives in prayer and testimony while exposing unequal capacities to travel, speak, or control recordings. The principal boundary condition is privacy norms, ritual rules, legal status, and the emotional circumstances of bereavement. A rigorous study would use ethically designed event-centred interviews after appropriate intervals and examine consent practices. Sociologically, this domain matters because mediated co-presence can redistribute voice at precisely the moment family membership is publicly affirmed.

Weddings and baptisms. Here, hybrid ceremonies combine local institutions with homeland audiences and make competing expectations visible in dress, language, music, and ritual sequence. Interpretation must remain sensitive to mixed partnerships, denominational rules, and the commercial organization of ceremonies. Evidence should be developed through research designed to analyse planning conversations alongside the event and its

subsequent digital circulation. The broader implication is that family celebrations are negotiations over public legitimacy rather than simple displays of continuity.

Religious education. Online lessons may extend scarce bilingual provision but can separate doctrine from peer interaction and local service. The scope of this inference depends on teacher training, curriculum, parental involvement, and children's literacy. Empirical assessment would compare attendance, comprehension, peer networks, and voluntary continuation over time. This focus clarifies why access to content is not equivalent to incorporation into a moral community.

School mediation. Teachers and curricula may validate plural belonging or frame origin practices as private differences that students must manage alone. The principal boundary condition is national education policy, school composition, and staff competence. A rigorous study would link family interviews with classroom observation and institutional document analysis. Sociologically, this domain matters because transmission is shaped by public recognition beyond the household.

Peer translation. Here, young people decide how much of a family practice can be explained, shown, or withheld among classmates and friends. Interpretation must remain sensitive to local stigma, friendship quality, and the visibility of ethnic and religious markers. Evidence should be developed through research designed to follow naturally occurring peer contexts with participant consent and compare public and private accounts. The broader implication is that belonging depends on audiences who can recognize complexity without demanding performance.

Experiences of discrimination. Hostility may strengthen defensive identification, encourage concealment, or undermine trust in both origin and receiving institutions. The scope of this inference depends on the source, severity, frequency, and institutional response to exclusion. Empirical assessment would use event histories and longitudinal interviews rather than a single global discrimination item. This focus clarifies why the same external pressure can generate divergent cultural trajectories.

Mixed-origin households. Partners bring distinct languages, kin networks, and ritual expectations, making transmission explicitly negotiated. The principal boundary condition is power within the couple, residential proximity to kin, and legal recognition of religions. A rigorous study would compare parental projects with children's descriptions and observed routines. Sociologically, this domain matters because plural family life reveals that all continuity involves selection, even when one tradition appears dominant.

Siblings. Here, older and younger children encounter different migration stages and often broker culture for one another. Interpretation must remain sensitive to birth order, spacing, gender, and changes in parental resources. Evidence should be developed through research designed to construct within-family comparisons and map sibling

communication. The broader implication is that generation is internally differentiated and cannot be represented by one child respondent.

Return visits. Physical visits can correct idealized digital images but may also expose linguistic insecurity and outsider status. The scope of this inference depends on visit duration, destination locality, property ties, and prior contact. Empirical assessment would collect pre-visit expectations, mobile diaries, and post-visit reflections. This focus clarifies why mobility tests whether symbolic belonging can be converted into situated competence.

Family photographs. Captions, selection, and recirculation organize a visual genealogy whose absences are as meaningful as its inclusions. The principal boundary condition is archive ownership, platform persistence, and family conflict. A rigorous study would conduct collaborative photo elicitation across generations. Sociologically, this domain matters because memory is governed through curation rather than merely stored by technology.

Voice messages. Here, asynchronous voice preserves accent and affect while allowing recipients to delay or avoid response. Interpretation must remain sensitive to literacy, privacy, time zones, and norms of availability. Evidence should be developed through research designed to analyse sequences rather than isolated messages and ask participants how silence is interpreted. The broader implication is that media choice becomes a moral statement about attention and obligation.

Livestreamed worship. Remote access can sustain ritual familiarity during illness, mobility, or institutional scarcity. The scope of this inference depends on whether viewers also have local ties, opportunities for participation, and pastoral recognition. Empirical assessment would compare remote-only, hybrid, and local participants over time. This focus clarifies why religious presence has several dimensions that cannot be reduced to viewing counts.

Religious influencers. Creators may translate doctrine into accessible genres while tying authority to personality and engagement metrics. The principal boundary condition is platform governance, theological accountability, and commercial sponsorship. A rigorous study would combine content analysis, audience interviews, and sponsorship disclosure audits. Sociologically, this domain matters because charismatic visibility can compete with office-based legitimacy.

Family group administrators. Here, those who add members, set norms, and remove content exercise quiet infrastructural authority. Interpretation must remain sensitive to platform features, kin hierarchy, and conflict histories. Evidence should be developed through research designed to map administrative privileges and reconstruct contested moderation episodes. The broader implication is that control over the channel can shape kin membership without explicit ideological debate.

Crisis communication. Pandemics, war, illness, or legal insecurity increase reliance on digital ties and reveal which relationships can mobilize practical support. The scope of this inference depends on crisis type, state

provision, and pre-existing trust. Empirical assessment would compare ordinary and emergency communication networks. This focus clarifies why transnational belonging becomes consequential when information and care must move rapidly.

Remittance conversations. Money transfers carry expectations about responsibility, gratitude, and future return, often discussed in the same channels as religious and family messages. The principal boundary condition is household income, dependency, and transparency among relatives. A rigorous study would connect transaction histories with relational interviews under strict confidentiality. Sociologically, this domain matters because economic and symbolic transmission are mutually constitutive.

Care at a distance. Here, medication reminders, appointments, and emotional monitoring create routine obligations across borders. Interpretation must remain sensitive to health status, time zones, service access, and the availability of local carers. Evidence should be developed through research designed to use care diaries and ego-network mapping. The broader implication is that digital intimacy rests on labour whose unequal distribution affects authority.

Masculinities. Men may claim public religious authority while participating unevenly in repetitive communication and emotional maintenance. The scope of this inference depends on employment schedules, generational norms, and congregational culture. Empirical assessment would compare declared responsibility with observed coordination work. This focus clarifies why gender analysis must distinguish symbolic headship from practical reproduction.

Women's kin work. Women frequently sustain cross-household calendars, photographs, visits, and conflict repair. The principal boundary condition is employment, childcare, marital power, and access to devices. A rigorous study would include time-use measures and recognize invisible coordination tasks. Sociologically, this domain matters because cultural continuity can be produced through unequally valued labour.

Older adults' digital dependence. Here, assistance from younger relatives enables access but may compromise privacy and autonomy. Interpretation must remain sensitive to cognitive and physical ability, device design, and local support. Evidence should be developed through research designed to observe assisted sessions and interview both parties separately. The broader implication is that inclusion mediated by kin can simultaneously strengthen contact and deepen dependence.

Digital refusal. Some family members limit platforms because of surveillance, distraction, doctrinal concern, or emotional overload. The scope of this inference depends on whether alternatives exist and whether refusal is respected. Empirical assessment would sample non-users deliberately and document substitute communication. This focus clarifies why absence from a platform should not be interpreted as absence of belonging.

Algorithmic recommendation. Suggested content can connect users to diasporic publics or channel them toward polarized interpretations. The principal boundary condition is language markets, account histories, moderation, and platform change. A rigorous study would use controlled account audits alongside user walkthroughs. Sociologically, this domain matters because cultural discovery is partly organized by opaque commercial systems.

Privacy and adolescent autonomy. Here, parents may see monitoring as protection while adolescents experience it as mistrust. Interpretation must remain sensitive to age, gender, neighbourhood risk, and family communication norms. Evidence should be developed through research designed to examine specific monitoring practices and negotiated rules. The broader implication is that resistance may concern governance of intimacy rather than rejection of culture.

Transnational volunteering. Digital coordination can connect youth to charitable, religious, or hometown projects and turn identity into collective efficacy. The scope of this inference depends on organizational transparency, skill recognition, and opportunities for decision making. Empirical assessment would follow projects from recruitment to outcomes and compare symbolic with substantive roles. This focus clarifies why participation strengthens belonging when young people can contribute rather than merely represent.

Digital archives after platform closure. Accounts, messages, and recordings can disappear when services change or families lose access credentials. The principal boundary condition is data portability, ownership, and technical literacy. A rigorous study would audit preservation practices and test whether archives can be retrieved independently. Sociologically, this domain matters because the durability of memory depends on corporate infrastructures outside family control.

Second-generation parenthood. Here, adults who once negotiated inherited practices make new choices when raising their own children. Interpretation must remain sensitive to partnership, life-course mobility, and retrospective evaluation of upbringing. Evidence should be developed through a three-generation longitudinal design. The broader implication is that transmission becomes recursive as former recipients become selectors and authorities.

Comparative destination contexts. The same Romanian repertoire enters different church-state regimes, schools, labour markets, and ethnic hierarchies. The scope of this inference depends on local institutional configuration rather than national labels alone. Empirical assessment would use matched localities and common instruments with contextual ethnography. This focus clarifies why cross-national difference operates through concrete opportunity structures.

Citizenship practices. Online family discussion links elections, public services, and political news to moral narratives about responsibility and home. The principal boundary condition is dual citizenship, political polarization, media trust, and voting eligibility. A rigorous study would compare the sources circulated in family

groups with participants' civic action in both countries. Sociologically, this domain matters because cultural belonging includes claims about membership and obligation that extend beyond private identity.

Urban and rural origin ties. Here, digital contact with a village, provincial town, or metropolis carries different assumptions about anonymity, kin density, and institutional life. Interpretation must remain sensitive to local demographic change, property relations, and transport connectivity. Evidence should be developed through research designed to pair origin-locality ethnography with interviews in the destination. The broader implication is that the imagined homeland is internally differentiated and should not be treated as one cultural context.

Denominational pluralism. Diaspora settings bring inherited churches into closer contact with other religions and with co-ethnic congregations organized differently. The scope of this inference depends on minority status, ecumenical institutions, and local religious regulation. Empirical assessment would map institutional cooperation, competition, and family participation. This focus clarifies why religious transmission is shaped by a field of organizations rather than by doctrine in isolation.

Adoption and stepfamilies. Genealogy, care, and cultural affiliation do not always coincide, making belonging dependent on recognition rather than descent alone. The principal boundary condition is legal arrangements, disclosure histories, and the wishes of children. A rigorous study should use family-sensitive interviews that avoid presuming biological continuity. Sociologically, this domain matters because kinship practices reveal the limits of ethnic inheritance models based solely on ancestry.

Disability and mediated participation. Here, screens may enable participation when mobility, sensory access, or health restricts travel, yet inaccessible interfaces reproduce exclusion. Interpretation must remain sensitive to captioning, assistive technology, household support, and institutional design. Evidence should be developed through research designed to co-design research tools with disabled participants and audit accessibility. The broader implication is that technological inclusion is relational and cannot be inferred from device ownership.

Temporary platform outages. Service interruptions expose dependence on particular applications and the absence of maintained alternatives. The scope of this inference depends on cross-platform literacy, telephone access, data plans, and emergency protocols. Empirical assessment would study communication repair after naturally occurring disruptions. This focus clarifies why infrastructure becomes sociologically visible when ordinary continuity breaks down.

Automated translation. Translation tools can include family members with uneven literacy while misrendering religious idioms, humour, and moral nuance. The principal boundary condition is language pair quality, privacy, and willingness to correct automated output. A rigorous study would compare translations with participant explanations of consequential misunderstandings. Sociologically, this domain matters because technical equivalence cannot substitute for culturally accountable interpretation.

Diaspora youth organizations. Here, associations can move cultural work from private compliance to peer-led projects and public participation. Interpretation must remain sensitive to adult governance, funding, representation, and leadership turnover. Evidence should be developed through research designed to observe decision making and track which youth proposals are implemented. The broader implication is that agency becomes durable when institutions redistribute agenda-setting power.

Property and inheritance. Digital discussions about homes, land, and succession bind cultural memory to material assets and unequal obligations. The scope of this inference depends on law, sibling position, investment capacity, and expectations of return. Empirical assessment would connect legal and economic records with family narratives where consent permits. This focus clarifies why symbolic attachment is often anchored in property relations that can also generate conflict.

Intergenerational reconciliation. Archived messages and recurring video encounters can reopen disputes but also enable gradual revision of family narratives. The principal boundary condition is trauma, power, willingness to acknowledge harm, and access to mediation. A rigorous study would use longitudinal, trauma-informed approaches focused on changing interpretations. Sociologically, this domain matters because continuity is ethically sustainable only when inherited authority remains open to accountability.

Discussion and Research Propositions

The integrated model yields five propositions. First, digital frequency strengthens cultural continuity only when contact is connected to interpretive dialogue and shared practice. Second, the multiplication of media redistributes authority toward actors who can translate meaning across platforms and social contexts. Third, youth agency increases when digital competence combines with access to alternative publics, but its effects vary with family trust and structural inclusion. Fourth, homeland-oriented media strengthen symbolic belonging while potentially narrowing knowledge of internal diversity. Fifth, sustainable transmission depends less on exact reproduction than on the capacity of repertoires to acquire situated relevance.

These propositions reconcile continuity and change. Cultural transmission succeeds not when the second generation copies adults, but when inherited materials remain usable for narrating relationships, dilemmas, and futures. This formulation avoids both methodological nationalism and technological determinism. Families operate across borders, yet their opportunities are conditioned by schools, labour markets, religious organizations, migration law, and platform governance. Technology reorganizes interaction but does not independently determine identity.

Future research should combine digital ethnography, intergenerational interviews, communication diaries, and network analysis. Sampling should include variation by class, gender, age at migration, family configuration, locality, denomination, and intensity of cross-border contact. Researchers should compare what participants say

they transmit with what is actually circulated and enacted. Longitudinal designs are essential because the meaning of a platform or ritual changes across the life course and during crises. Comparative work between Romanian communities in Italy and other destinations could test how institutional contexts alter the same family repertoires.

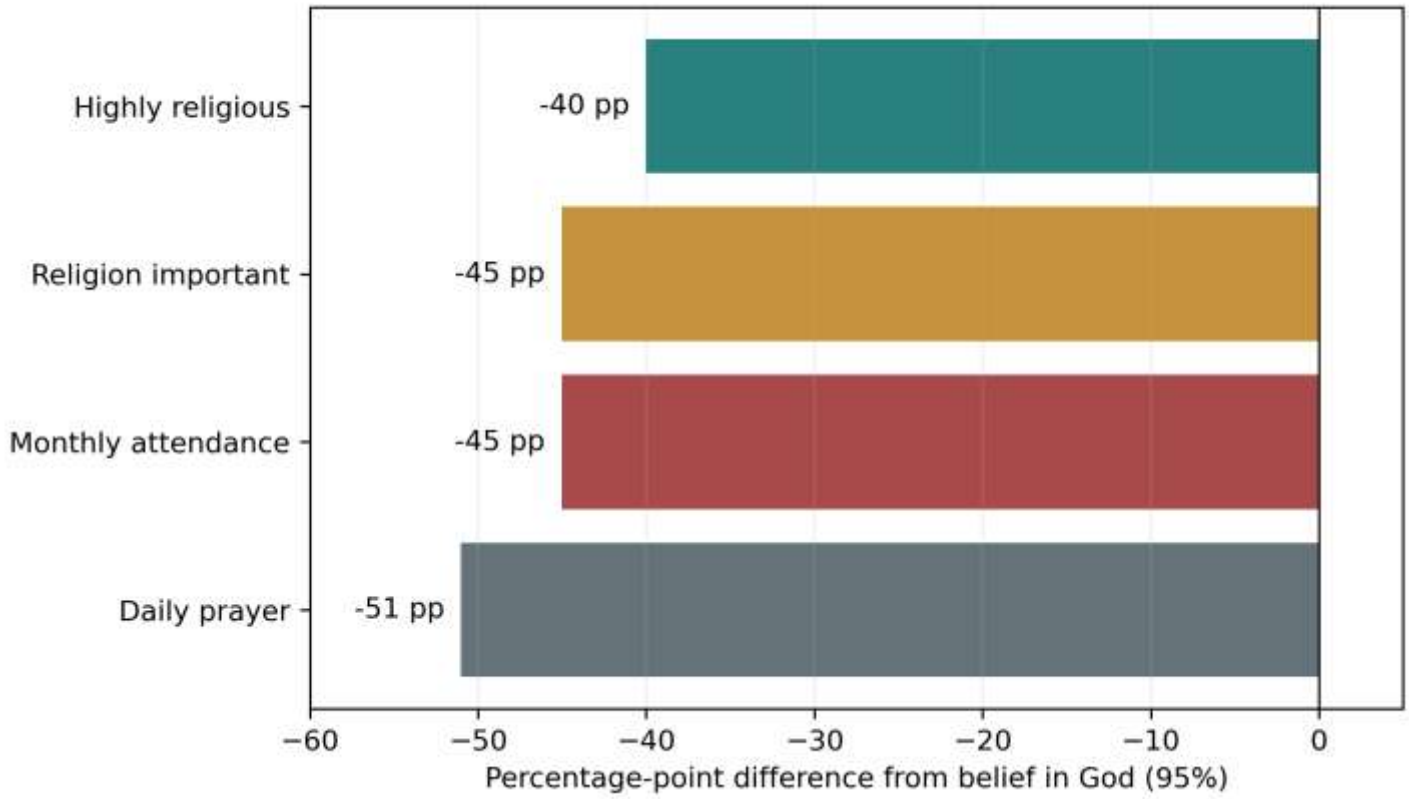


Figure 8. Distance between general belief and selected religious commitments in Romania

Source: Calculated from Pew Research Center (2017, 2018).

Note: Percentage-point differences use belief in God at 95% as the reference. The figure visualizes gaps between distinct indicators, not individual transitions or causal effects.

Sociological interpretation. The gaps show why a family can appear religiously continuous at the level of declared belief while changing substantially in practice and institutional attachment. Daily prayer is 51 percentage points below belief in God, and monthly attendance and perceived importance are each 45 points lower. In diaspora settings, these dimensions may respond differently to distance, host institutions, and digital media. The figure therefore supports a multidimensional model of transmission rather than a single retention rate.

Table 5. Research propositions and observable implications

Proposition	Observable implication	Suitable method
Dialogic contact matters more than frequency alone	High-frequency low-dialogue contact predicts symbolic rather than practical continuity	Communication diaries and interviews
Translation redistributes authority	Brokers gain influence across family and institutions	Network ethnography
Youth agency is context dependent	Agency varies with discrimination and school inclusion	Comparative longitudinal study
Media differentiate religious functions	Remote worship and local membership diverge	Mixed-method congregational study
Maintenance labour is unequal	Continuity depends on gendered coordination	Time-use and relational interviews

Taken together, the propositions presented in Table 5 convert the theoretical argument into an empirically testable research agenda. They suggest that the quality of interpretive dialogue should be examined separately from the frequency of digital contact; that cultural brokerage should be studied as a source of authority; and that youth agency must be situated within specific educational, religious, and migration contexts. They also require researchers to distinguish access to mediated religious content from participation in a socially accountable religious community and to identify the often gendered maintenance work supporting transnational continuity. These propositions are best investigated through longitudinal and mixed-method designs combining communication diaries, intergenerational interviews, digital ethnography, institutional observation, and network analysis. Such an approach would make it possible to compare declared attachment with everyday practice and to identify changes across adolescence, partnership formation, parenthood, crisis, and return visits. The findings developed in this article therefore do not support either a narrative of inevitable cultural loss or an assumption that digital connectivity automatically preserves inherited traditions. Instead, they establish that continuity depends on reciprocal recognition, contextual relevance, institutional inclusion, and the capacity to negotiate unequal authority. This synthesis provides the necessary analytical foundation for the conclusions, discussion, and recommendations developed in the following chapter.

4. CONCLUSIONS DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

Diaspora families live between places, but they also live among media. Screens make distant relatives, institutions, and symbolic homelands available in everyday time. This availability expands the resources for continuity while multiplying sites of interpretation. Religion, memory, language, and moral expectations do not pass intact from one generation to the next. They are selected, formatted, explained, contested, and reassembled. The concept of negotiated digital inheritance captures this relational process. It directs attention away from a binary opposition between preservation and assimilation and toward the distribution of voice, competence, labour, and recognition. The decisive sociological issue is not whether technology keeps culture alive. It is who can define

the culture that is made present, who performs the work of connection, how young people evaluate inherited claims, and whether institutions permit plural forms of belonging. Digital mediation can support durable cultural continuity when it creates reciprocal participation and contextual understanding; it can produce brittle symbolism when visibility substitutes for relationship.

This conclusion also changes the normative question posed to families and institutions. The standard of success should not be complete sameness between generations, because such a standard converts authority into enforced repetition and misrecognizes the receiving society as external to young people's lives. A more defensible criterion is relational sustainability: whether family members can discuss difference without withdrawing recognition, whether religious organizations can connect inherited meanings to present conditions, and whether young people can participate without concealing the plural sources of their belonging. On this view, continuity includes the ability to revise a tradition openly. The durability of diaspora culture is measured by its capacity to sustain relationships, ethical reflection, and collective action across changing contexts, not by the visual reproduction of an unchanged past.

Three recommendations follow. First, diaspora religious and cultural organizations should design bilingual and intergenerational activities in which young people hold substantive roles as researchers, translators, organizers, and decision makers. Participation should extend beyond performing a preselected identity for adults. Second, families should connect digital contact with shared projects: collaborative archives, jointly prepared celebrations, care responsibilities, return visits, or community service. Such projects give transmitted symbols practical consequences and allow disagreement to become visible without being treated automatically as disloyalty. Third, schools, municipalities, and migrant organizations should invest in digital and migration literacy across generations. Older relatives need accessible support that preserves privacy; parents need resources for evaluating algorithmically promoted religious content; young people need institutional recognition for multilingual and transnational competence.

These recommendations require evaluation. Organizations should document who participates, who makes decisions, which languages are used, and whether activities create durable relationships beyond one event. Families and researchers should avoid measuring success only through message frequency, attendance, or public expressions of pride. Mixed methods can examine whether participants acquire interpretive knowledge, experience reciprocal recognition, and retain the capacity to choose their level of involvement. The recommended approach does not remove conflict between generations. It creates settings in which conflict can be articulated, contextualized, and negotiated without severing membership. That capacity is the most defensible sociological indicator of resilient cultural transmission.

Ultimately, the contribution of this article lies in connecting technological mediation to the institutional and relational conditions of diaspora life. Screens do not constitute an autonomous cultural environment: their meanings are produced through migration regimes, family histories, educational contexts, religious organizations, unequal resources, and the commercial governance of platforms. Future comparative research should therefore investigate not only whether transnational communication occurs, but also who initiates it, whose interpretation prevails, which forms of participation remain invisible, and how digital exchanges are translated into practices beyond the screen. Longitudinal evidence is particularly necessary for distinguishing temporary adaptation from durable generational change. Following the same families across educational transitions, partnership formation, parenthood, return visits, and periods of crisis would show how inherited repertoires acquire new functions over time. Such research would also permit a more precise assessment of when digital communication strengthens solidarity and when it intensifies surveillance, conflict, or dependence. By treating cultural transmission as negotiated, multidimensional, and institutionally situated, sociology can move beyond both nostalgic narratives of cultural loss and celebratory accounts of technological connection. The central empirical and ethical task is to identify arrangements that allow people to maintain meaningful relationships with inherited traditions while retaining the capacity to reinterpret them, question unequal authority, and construct legitimate forms of belonging in the societies where their everyday lives unfold.

REFERENCES

AMeLiE Project. (2022). *Special Eurobarometer on the integration of migrants*. https://www.amelieproject.eu/3748/

Basilica.ro. (2025). *Romania religiosity: INSCOP survey 2025*. https://basilica.ro/en/romania-religiosity-inscop-survey-2025/

Campbell, H. A. (2013). *Digital religion: Understanding religious practice in new media worlds*. Routledge.

Crul, M., & Schneider, J. (2010). Comparative integration context theory. *Ethnic and Racial Studies, 33*(7), 1249–1268. https://doi.org/10.1080/01419871003624068

Eurostat. (2024a, December 17). *People online in 2024*. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20241217-1

Eurostat. (2024b). *Digitalisation in Europe: 2024 edition*. https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/digitalisation-2024

Feraru, P. D. (2011a). *Românii din Torino între integrare, dezintegrare şi reintegrare*. Lumen.

Feraru, P. D. (2011b). *Social costs of the external migration in Romania*. Lumen.

Feraru, P. D. (2015). *Religie şi migraţie în România contemporană: Studiu de caz românii din Italia*. Lumen.

Glick Schiller, N., Basch, L., & Szanton Blanc, C. (1995). From immigrant to transmigrant. *Anthropological Quarterly, 68*(1), 48–63. https://doi.org/10.2307/3317464

Hjarvard, S. (2008). The mediatization of religion. *Northern Lights, 6*(1), 9–26. https://doi.org/10.1386/nl.6.1.9_1

Levitt, P. (2001). *The transnational villagers*. University of California Press.

Levitt, P., & Glick Schiller, N. (2004). Conceptualizing simultaneity. *International Migration Review, 38*(3), 1002–1039. https://doi.org/10.1111/j.1747-7379.2004.tb00227.x

Madianou, M., & Miller, D. (2012). *Migration and new media*. Routledge.

Pew Research Center. (2017). *Religious belief and national belonging in Central and Eastern Europe*. https://www.pewresearch.org/religion/2017/05/10/religious-belief-and-national-belonging-in-central-and-eastern-europe/

Pew Research Center. (2018). *Eastern and Western Europeans differ on importance of religion*. https://www.pewresearch.org/religion/2018/10/29/eastern-and-western-europeans-differ-on-importance-of-religion-views-of-minorities-and-key-social-issues/

Portes, A., & Rumbaut, R. G. (2001). *Legacies: The story of the immigrant second generation*. University of California Press.

Vertovec, S. (2009). *Transnationalism*. Routledge.

LIVING HERITAGE IN THE AGE OF PLATFORMS: DIGITAL TOURISM, LOCAL MEMORY, AND THE COMMODIFICATION OF CULTURAL IDENTITY

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

Digital platforms increasingly shape how cultural heritage is discovered, represented, and consumed. This conceptual article develops the notion of platformed heritage to describe the interaction between place-based memory and infrastructures of datafication, ranking, booking, and review. It combines sociology of culture, critical tourism studies, platform studies, and social anthropology. Official Eurostat and UNESCO indicators contextualize platform-mediated accommodation and intangible-heritage recognition, while normalized percentage profiles make theoretical contrasts visible without presenting them as population estimates. The analysis distinguishes selective algorithmic visibility, standardization for tourist comparison, and negotiation of representational authority among residents, heritage bearers, institutions, guides, creators, visitors, and platform firms. Platforms can expand access, support documentation, and generate income, but their formats privilege searchable, photogenic, reviewable, and bookable expressions. This can narrow narrative diversity, detach practices from social obligations, concentrate visitors, and convert communal knowledge into uncompensated market input. Commodification is therefore treated as a chain of translations rather than a singular loss of authenticity. Sustainable cultural representation requires contextual integrity, plural community participation, transparent data governance, the capacity to refuse exposure, and benefit arrangements that preserve the material conditions of cultural reproduction.

Keywords: living heritage; digital tourism; cultural identity; local memory; platformization; commodification

1. INTRODUCTION

Cultural heritage is increasingly encountered through ranked lists, geotagged images, booking interfaces, reviews, short videos, and algorithmically assembled itineraries. Platforms do more than advertise destinations. They determine which elements become searchable, which narratives fit standardized fields, which images circulate, and which forms of attention can be converted into revenue. Living heritage—practices, knowledge, skills, rituals, and social meanings reproduced by communities—enters systems designed to compare, recommend, and transact. This encounter creates opportunities for documentation and income, but it also changes the conditions under which cultural identity becomes publicly legible.

The scale of platform-mediated tourism is substantial. Eurostat reported 596.5 million guest nights in EU short-term accommodation booked through four large platforms in 2022, 719.0 million in 2023, and 854.1 million in 2024 (Eurostat, 2024b, 2025). These figures measure accommodation rather than heritage consumption, but they demonstrate the infrastructure through which places are selected and experienced. UNESCO's Intangible Cultural Heritage lists contained 849 elements across 157 countries and five regions after the 2025 inscription cycle (UNESCO, 2025). Formal recognition and commercial visibility are not equivalent, yet both participate in a global field that renders local practices comparable.

This article develops the concept of platformed heritage: the contingent configuration produced when place-based memory interacts with datafication, algorithmic visibility, standardized formats, and commercial intermediation. The central claim is that commodification is not a single act in which authentic culture becomes a product. It is a chain of selections involving residents, heritage bearers, municipalities, guides, creators, visitors, and platform firms. At each stage, meanings may be translated, simplified, defended, or redirected. Sociological analysis must therefore examine representational authority and value distribution together.

2. THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK

Heritage is not simply inherited material waiting to be preserved. It is a cultural process through which selected objects, places, and practices are assigned contemporary value (Smith, 2006). The designation of heritage authorizes particular speakers and temporal narratives. Institutions may privilege monumentality, continuity, and national representation, while communities may emphasize use, memory, livelihood, or sacred obligation. Kirshenblatt-Gimblett (1998) described heritage as a mode of cultural production that gives a second life to practices through exhibition and metacultural framing.

The 2003 UNESCO Convention explicitly centres communities, groups, and individuals in the identification and safeguarding of intangible cultural heritage (UNESCO, 2003). This orientation matters because living heritage changes through enactment. Safeguarding cannot mean freezing a practice at the moment it becomes visible to institutions or tourists. Nor does community participation automatically remove conflict. Communities are

internally differentiated by age, gender, class, property, expertise, and political position. Questions of representation therefore persist inside the category of the local.

Tourism intensifies these dilemmas by linking recognition to mobility and expenditure. MacCannell (1976) treated staged authenticity as a structural feature of tourist encounters, while Cohen (1988) showed that authenticity can be emergent and socially negotiated. The relevant question is not whether every adaptation is false, but who defines acceptable transformation and who benefits from it. A festival adjusted to visitor schedules may still matter locally; a craft redesigned for sale may sustain skills. Conversely, a seemingly traditional performance may marginalize practitioners or detach symbols from obligations that give them meaning.

Table 1. Competing regimes of heritage value

Regime	**Primary criterion**	**Authorizing actor**	**Characteristic risk**
Communal	Continuity of practice	Heritage bearers and residents	Internal exclusion
Institutional	Recognition and safeguarding	Public and expert bodies	Freezing a canonical form
Touristic	Memorable experience	Visitors and intermediaries	Staged simplification
Platform	Engagement and conversion	Ranking systems and firms	Metric substitution
Commercial	Revenue and scalability	Owners and investors	Extraction from common resources

Table 1 demonstrates that platformed heritage is governed simultaneously by communal, institutional, touristic, platform, and commercial regimes of value. Their coexistence explains why disputes cannot be resolved through a single definition of authenticity: each regime recognizes different actors, evidence, and risks. A practice may be successful according to visitor satisfaction and conversion metrics while becoming less accessible to residents or less responsive to practitioners. Conversely, community control can protect continuity while reproducing internal exclusions. The analytical task is therefore to identify which regime becomes dominant at each decision point and whether less powerful actors retain procedures for contesting that dominance. This relational perspective leads directly to the examination of platformization as cultural infrastructure, where classifications and metrics organize encounters before heritage bearers and visitors meet.

Platformization as Cultural Infrastructure

Platformization refers to the penetration of platform infrastructures, economic processes, and governance frameworks into social domains (van Dijck et al., 2018). Platforms organize interaction through data capture, modular interfaces, metrics, and programmable selection. In cultural production, this process makes goods and practices contingent on platform visibility and monetization (Nieborg & Poell, 2018). Tourism platforms combine

discovery, comparison, reputation, payment, mapping, and review. Their power lies not only in market share but in establishing the categories through which destinations are perceived.

Algorithmic selection is socially consequential because relevance is produced through signals such as clicks, ratings, recency, location, and predicted engagement (Gillespie, 2014). Heritage elements that generate distinctive photographs, concise stories, and reliable booking opportunities are easier to circulate than practices requiring slow participation or contextual knowledge. Visibility is therefore patterned rather than neutral. The platform does not need to prohibit complex narratives; its architecture can disadvantage them through format and ranking.

Datafication also changes accountability. Residents may observe visitor volumes without knowing how recommendations were generated. Creators may depend on opaque changes in reach. Municipalities may use platform metrics as evidence of success, thereby treating attention as a proxy for cultural value. Reviews allow visitors to evaluate encounters according to service expectations even when the practice is not organized primarily as a service. Platformed heritage thus brings multiple regimes of valuation into the same interface: sacred value, communal recognition, aesthetic distinction, customer satisfaction, and commercial yield.

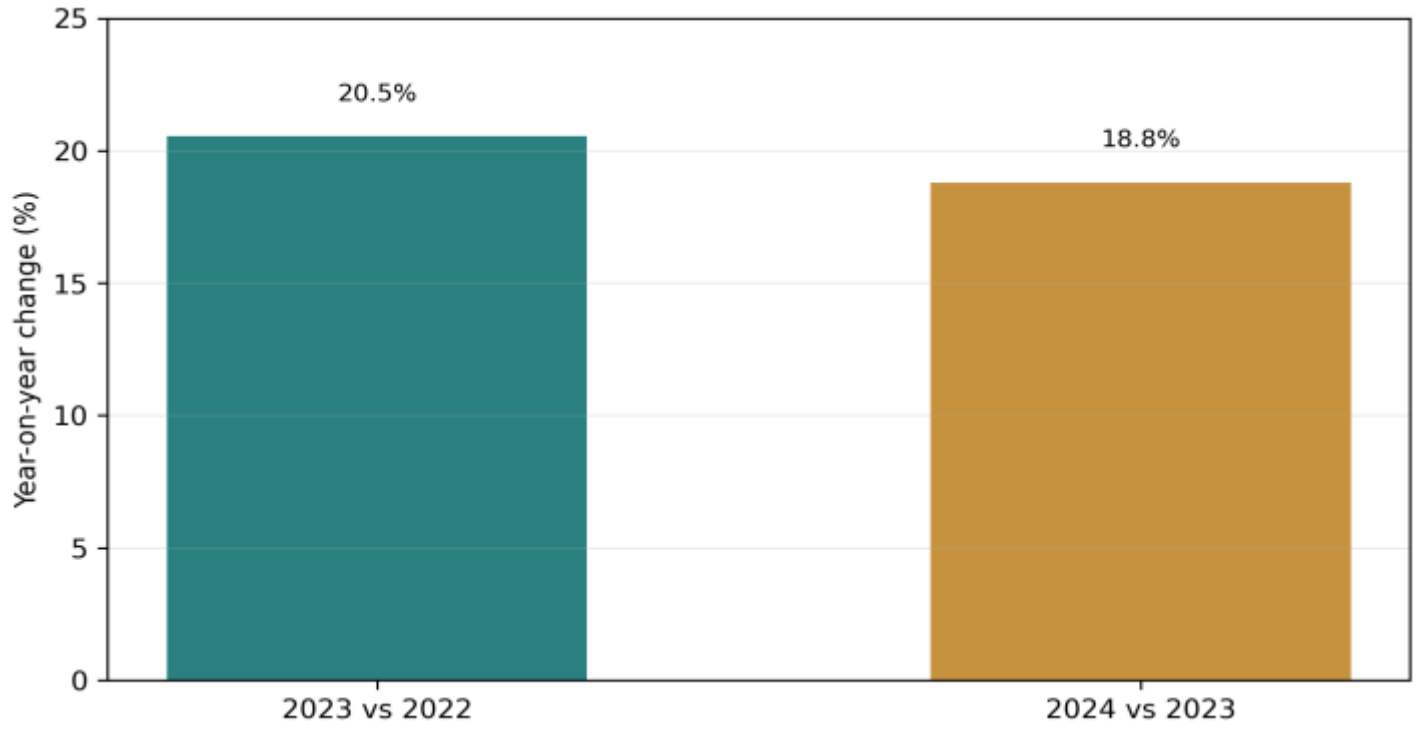


Figure 1. Year-on-year growth in European Union guest nights booked through major online platforms

Source: Author's calculations based on Eurostat (2024b, 2025).

Note: Percentages are calculated from the published annual totals of 596.5 million nights in 2022, 719.0 million in 2023, and 854.1 million in 2024; rounding may affect decimals.

The consecutive increases of 20.5% and 18.8% indicate that platform intermediation expanded rapidly even after the exceptional rebound associated with the reopening of tourism. The slight deceleration does not imply declining platform power: the absolute booking base was larger in 2024, and an 18.8% increase therefore added more than 135 million guest nights. Sociologically, this growth matters because accommodation platforms do not merely register demand; their rankings, availability displays, review systems, and payment infrastructures organize how destinations become comparable and actionable. The indicator cannot demonstrate cultural commodification by itself, but it identifies an expanding institutional environment in which local heritage actors negotiate visibility under conditions set partly by transnational firms (Nieborg & Poell, 2018; van Dijck et al., 2018).

Methodology and Scope

The paper uses conceptual synthesis and descriptive secondary evidence. It integrates sociology of culture, critical tourism studies, platform studies, and social anthropology to construct a mechanism-based account of platformed heritage. Figures 1, 2, and 4 report percentages calculated transparently from published Eurostat and UNESCO totals. Figures 3 and 5–8 use normalized percentage profiles to make theoretically inferred relations comparable; these profiles are analytical devices rather than survey estimates or population prevalence rates. This distinction prevents graphic precision from being mistaken for causal or representative measurement. Official indicators establish the scale and concentration of platform-mediated accommodation and international heritage recognition, while the normalized profiles clarify hypotheses about authority, visibility, contextual integrity, and value distribution. No causal relationship is inferred between booking growth, listing activity, and the condition of living heritage.

Analytical figures translate theoretical contrasts into visual form. Ordinal profiles identify relative emphases inferred from the literature and are labelled accordingly. They are heuristic devices, not survey results. This explicit separation between observed indicators and conceptual modelling prevents false precision. Tables compare mechanisms, actors, risks, and governance responses without repeating the same information displayed in figures.

The analysis focuses on European digital tourism while drawing on concepts with broader relevance. Platform ecosystems, heritage regimes, and community capacities differ across locations. The argument should therefore be tested through comparative case studies, especially in rural and peripheral regions where platform visibility may create income while increasing dependence on a small number of intermediaries. The framework is suitable for multi-method research combining platform audits, ethnography, interviews, visitor surveys, and analysis of revenue distribution.

Table 2. Evidence types and inferential boundaries

Evidence	What it establishes	What it cannot establish
Platform-night statistics	Scale and temporal growth of bookings	Heritage impact or causality
UNESCO list totals	Institutional recognition across countries	Quality of safeguarding
Platform interface analysis	Categories and ranking affordances	User interpretation without fieldwork
Community interviews	Situated meanings and conflicts	Population prevalence
Revenue tracing	Distribution of monetary value	Non-monetary cultural value

Table 2 establishes the inferential discipline required by the article. Platform-night statistics and UNESCO totals describe scale, institutionalization, and concentration, but they cannot establish how a community experiences visibility or whether safeguarding has improved. Interface analysis identifies affordances rather than user meanings, while interviews provide situated interpretation without population prevalence. Revenue tracing captures monetary distribution but not dignity, obligation, or intergenerational competence. These limits justify a layered research strategy in which no evidence type is asked to answer a question for which it was not designed. The following findings therefore combine empirical percentages with explicitly normalized analytical profiles, preserving the distinction between observed context and theory-building.

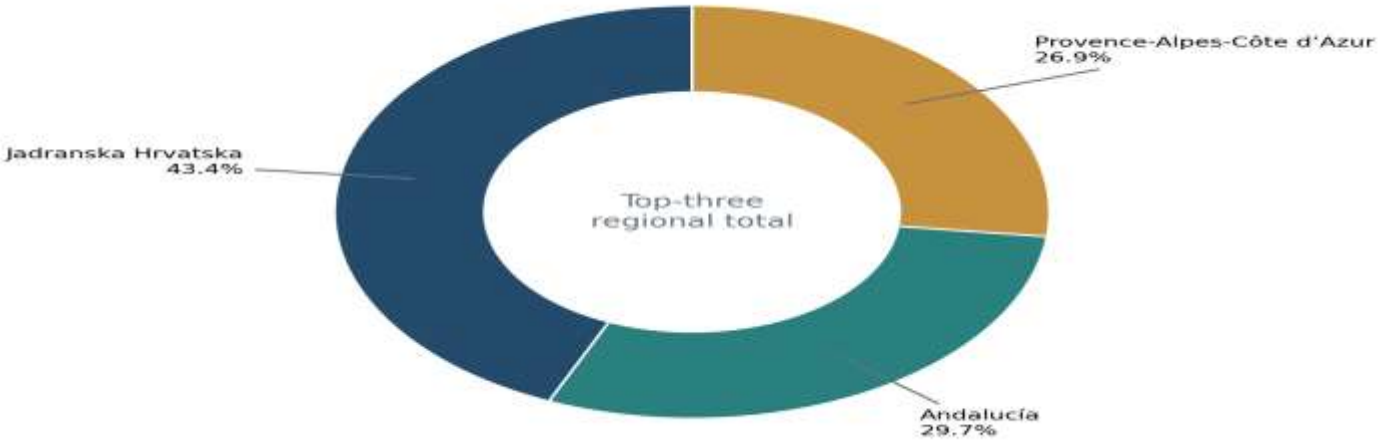


Figure 2. Percentage distribution within the three leading European Union regions for platform-booked guest nights in the third quarter of 2024

Source: Author's calculations based on Eurostat (2025).

Note: Percentages use the combined 58.0 million guest nights reported for Jadranska Hrvatska, Andalucía, and Provence-Alpes-Côte d'Azur as the denominator; they are not shares of the European Union total.

Jadranska Hrvatska accounts for 43.4% of the combined top-three volume, compared with 29.7% for Andalucía and 26.9% for Provence-Alpes-Côte d'Azur. The distribution reveals concentration even among already high-

volume regions. Such concentration strengthens the capacity of platform metrics to define destination success while exposing locally bounded housing, public space, and cultural calendars to demand that can be redirected at great speed. Because the denominator is restricted to three regions, the figure should not be read as a map of all European tourism. Its analytical value lies in showing how a common platform infrastructure can produce uneven territorial pressure and asymmetric bargaining relationships between mobile visitors, property owners, residents, and cultural practitioners (Milano et al., 2019).

3. FINDINGS AND SOCIOLOGICAL INTERPRETATION

Visibility is often presented as an unqualified benefit for marginalized places. It can indeed allow communities to document neglected memories, reach diasporic publics, attract visitors outside established circuits, and coordinate cultural events. Yet visibility is selective. Platforms favour content that can be quickly recognized and acted upon. Repetition strengthens recognizability, which can stabilize a narrow visual canon: the same viewpoint, costume, food, or ritual moment becomes the destination's emblem.

Selective legibility has distributional effects. Businesses located near photographed sites gain attention; practices without fixed locations may remain invisible; residents whose narratives fit dominant languages and aesthetics acquire authority. Platform metrics can then naturalize these outcomes. High engagement appears to confirm cultural importance even though engagement was shaped by prior rankings and format compatibility. This feedback loop turns popularity into evidence of relevance.

The sociological alternative is not invisibility but plural visibility. Community archives, municipal portals, and participatory mapping can provide contextual layers, multiple narrators, and links between attractions and everyday institutions. Such arrangements require resources and governance. Without them, local actors may supply content while platforms retain data, ranking power, and the capacity to redirect demand.

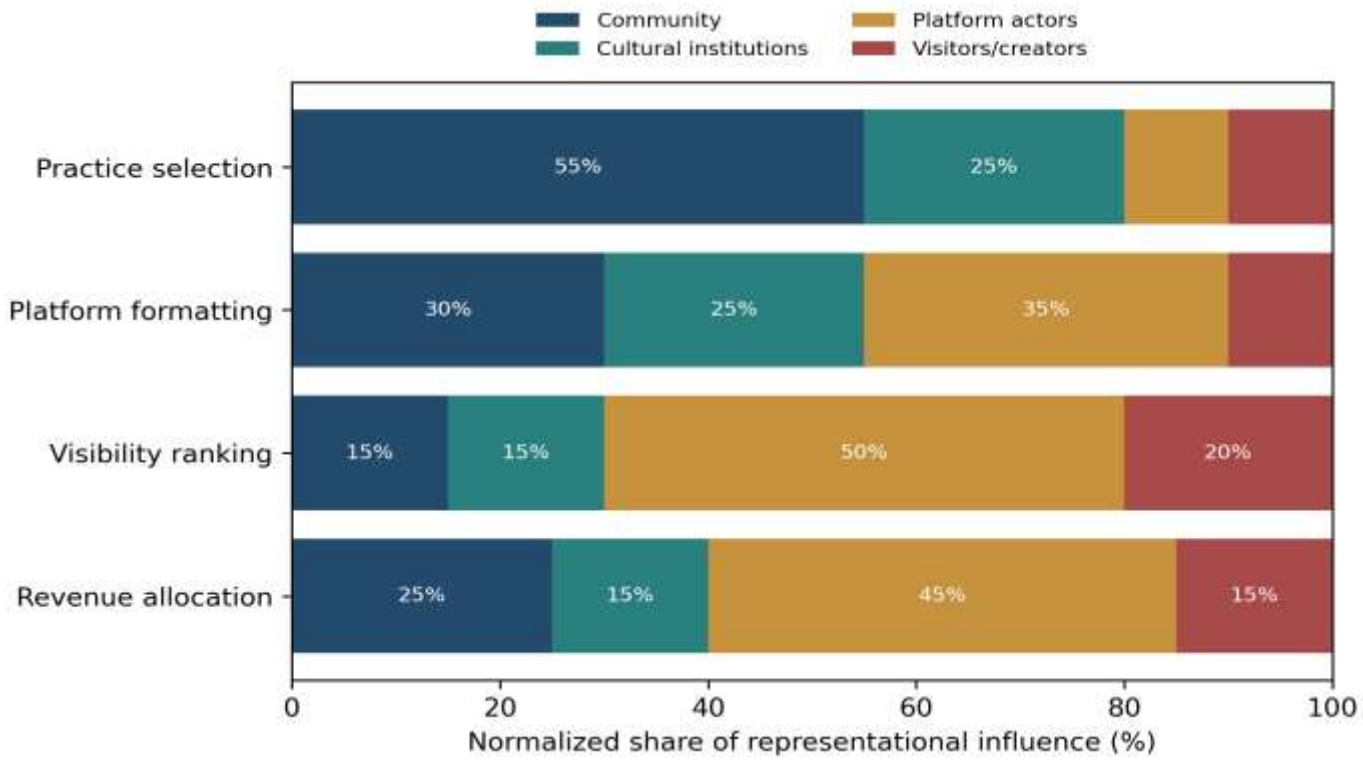


Figure 3. Normalized distribution of representational influence across the platformed heritage chain

Source: Author's analytical synthesis based on Smith (2006), Nieborg and Poell (2018), and van Dijck et al. (2018).

Note: Each horizontal bar sums to 100%. Percentages express a comparative theoretical model of influence within a stage; they are not survey results or estimates of actual actor power.

The model makes visible a progressive shift in representational influence. Communities retain the largest normalized share at the point of practice selection, yet platform actors become dominant in formatting, ranking, and revenue allocation. This does not describe an inevitable technological sequence. It specifies a hypothesis about institutional translation: situated knowledge is strongest at the origin of representation, whereas control grows around the infrastructures that classify, circulate, measure, and monetize it. Cultural institutions can mediate this movement, but their authority is also uneven and may privilege certified narratives. The sociological problem is therefore not simply loss of authenticity; it is the separation between those who sustain a practice and those who control the conditions of its visibility and exchange.

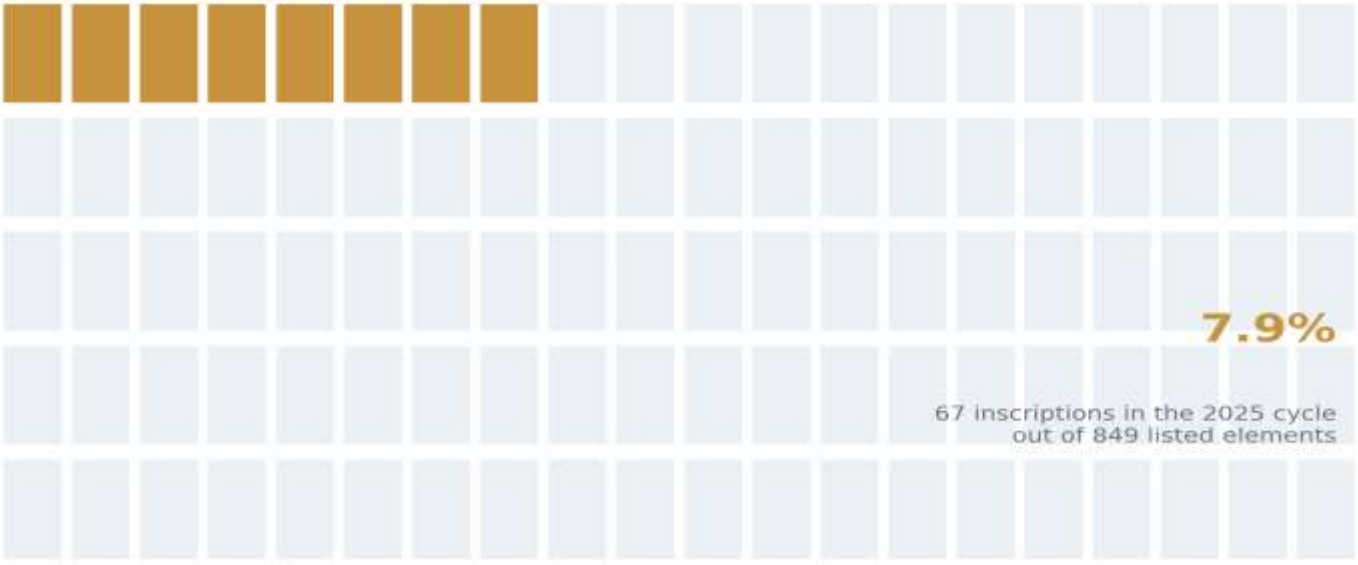


Figure 4. Share of 2025-cycle inscriptions within UNESCO's total listed intangible cultural heritage element

Source: Author's calculation based on UNESCO (2025).

Note: The 67 inscriptions announced for the 2025 cycle are expressed as a percentage of 849 listed elements after that cycle. The remaining 92.1% were listed before 2025; the comparison does not measure safeguarding quality. The 2025 cycle represents 7.9% of the post-cycle inventory, a substantial annual addition to an already institutionalized global field. The percentage contextualizes expansion without conflating inscription with cultural value. Listing can mobilize recognition, funding, and intergenerational attention, but it also makes heterogeneous practices available to national branding and tourist comparison. Because nomination and inscription occur through formal procedures, the resulting visibility redistributes authority among communities, experts, states, and destination organizations. A sociological assessment must therefore follow who defines the public narrative after inscription, who can correct it, and whether recognition strengthens everyday transmission or primarily enlarges the symbolic assets available to tourism promotion (UNESCO, 2003; Smith, 2006).

Standardization Performance and Authenticity

Platforms standardize heterogeneous places through common categories: location, price, rating, availability, duration, and amenity. Standardization reduces uncertainty for travellers, but it also encourages providers to make cultural encounters comparable. Narratives acquire predictable plots, schedules become bookable slots, and hospitality is evaluated through uniform scales. The tourist gaze is not merely visual; it is operationalized through search filters and review templates (Urry & Larsen, 2011).

Commodification becomes problematic when exchange value displaces the social relations that reproduce a practice. Greenwood's classic formulation of culture "by the pound" drew attention to the loss of local meaning

under market appropriation (Greenwood, 1977). Later scholarship complicates a simple loss model. Commercialization can fund apprenticeships, materials, and institutions; performances can generate pride and political recognition. The outcome depends on control, consent, benefit distribution, and the possibility of refusing exposure.

Authenticity should therefore be treated as a claim made by differently positioned actors. Visitors may seek intimacy and uniqueness; institutions may certify continuity; practitioners may value competence and obligation; entrepreneurs may emphasize recognizability. Conflict arises when one claim becomes the mandatory format for all others. Platformed heritage magnifies this risk by making a successful representation rapidly reproducible across accounts and destinations.

Table 3. Platform affordances and cultural consequences

Affordance	**Tourism benefit**	**Cultural risk**	**Governance response**
Search ranking	Discoverability	Popularity feedback loop	Ranking transparency
Geotagging	Navigation	Exposure of fragile or sacred sites	Location sensitivity
Ratings	Reputation signal	Visitor norms dominate evaluation	Context-specific review prompts
Booking	Reliable access	Ritual becomes time slot	Community scheduling rights
Short video	Rapid storytelling	Narrative compression	Provenance and context links
Analytics	Demand knowledge	Data asymmetry	Community data access

Table 3 shows that every affordance joins an opportunity to a culturally consequential risk. Search ranking can expand discoverability while creating popularity feedback; geotagging improves navigation while exposing fragile places; ratings provide reputational information while imposing visitor-centred norms; and booking converts access into standardized time slots. The proposed responses are not external corrections added after platformization. They concern the architecture through which cultural objects become searchable, measurable, and exchangeable. This is why authenticity must be analysed as a negotiated institutional achievement rather than

as a quality that either survives or disappears. The next analysis turns from platform functions to the distribution of narrative and decision-making authority among local and intermediary actors.

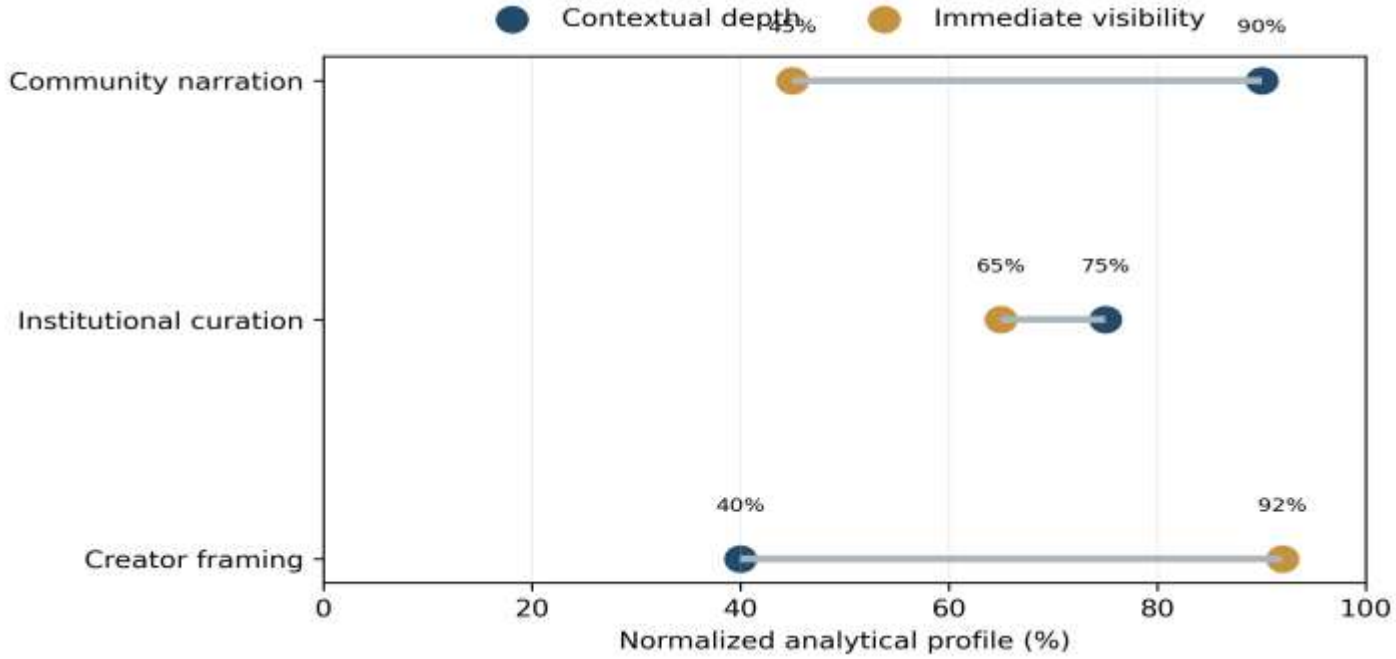


Figure 5. Contextual depth and immediate visibility across three modes of digital heritage narration

Source: Author's normalized analytical synthesis based on Smith (2006), Urry and Larsen (2011), and Gillespie (2014).

Note: Scores range from 0% to 100% and represent theoretically derived profiles, not observed frequencies. The two dimensions are assessed independently and need not sum to 100%.

The dumbbell distances show that different narrators face different incentives. Community narration is modelled as context-rich but less immediately visible, while creator framing reverses that relation; institutional curation occupies an intermediate position. The comparison does not assume that communities are always nuanced or that creators are necessarily superficial. It identifies the structural tendency of platform environments to reward recognizable images, compressed stories, and rapid affective cues. Collaboration can narrow the distance between reach and context when community actors define boundaries, institutions supply provenance, and creators are compensated for slower explanatory work. Without such arrangements, visibility becomes a selection mechanism that privileges cultural fragments able to travel with minimal interpretation.

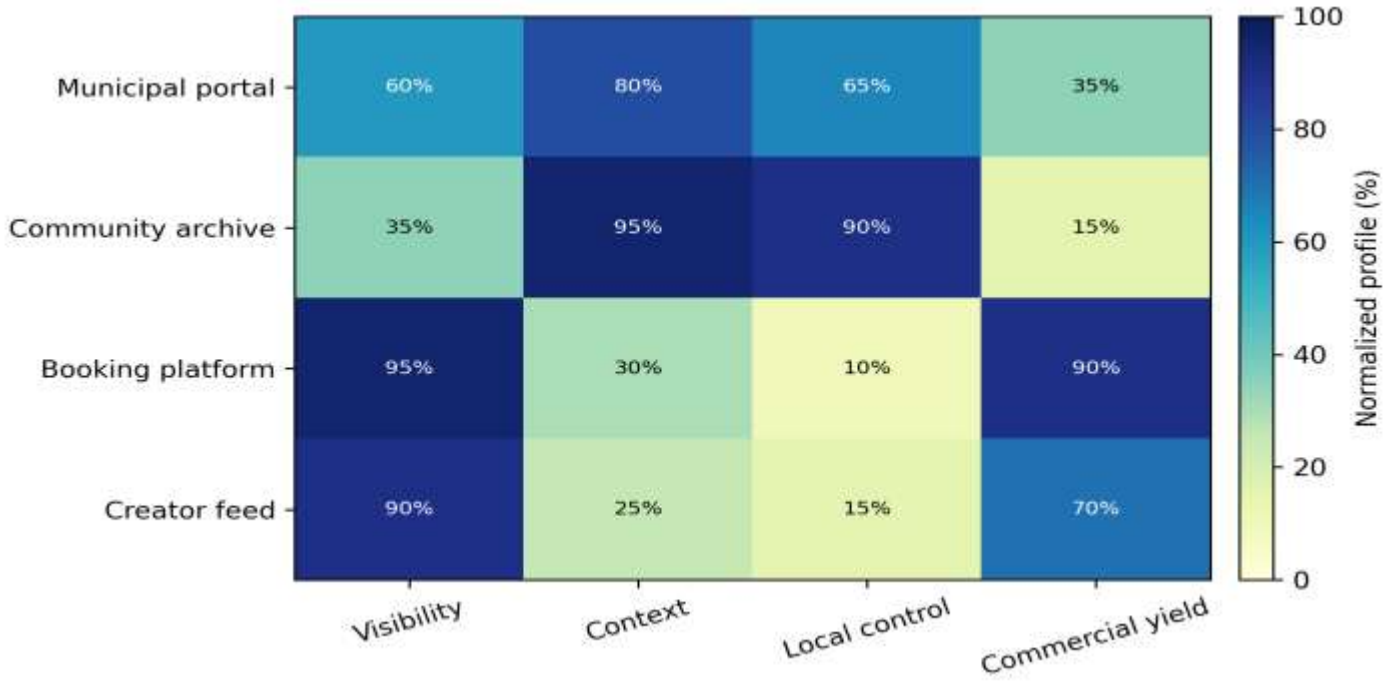


Figure 6. Normalized profiles of visibility context local control and commercial yield across digital heritage channels

Source: Author's analytical synthesis based on Nieborg and Poell (2018), van Dijck et al. (2018), and Couldry and Mejias (2019).

Note: Cell percentages are normalized theoretical scores on independent dimensions. They are not additive and do not represent results from a sampled population.

The heatmap shows that no channel maximizes all four dimensions. Community archives concentrate contextual depth and local control but have limited visibility and commercial yield; booking platforms display the opposite configuration. Municipal portals occupy a potentially mediating position, whereas creator feeds combine extensive visibility with weak local control. This pattern supports an ecological rather than substitutional approach to governance. The objective should not be to force community archives to imitate commercial platforms or to expect booking interfaces to carry the full density of local memory. Institutions should instead connect channels through provenance, consent, data reciprocity, and revenue-sharing arrangements that prevent high-reach infrastructures from extracting value without returning interpretive and material resources.

Local Memory and Representational Authority

Local memory is plural, uneven, and sometimes contentious. Heritage narratives can silence displacement, minority histories, labour, gendered experience, or environmental damage while presenting an attractive image of continuity. Digital creators may recover excluded stories, but they may also extract them from relationships of trust. The right to tell a story is therefore not exhausted by legal access to information.

Representational authority has at least four dimensions: epistemic competence, social recognition, technical capacity, and control over circulation. Heritage bearers may possess knowledge but lack production resources. Creators may possess reach but lack accountability. Municipalities may possess formal authority but prioritize destination branding. Platforms possess infrastructural power without being locally embedded. Visitors contribute reviews and images that shape reputation after they leave. No actor controls the entire chain.

Community participation must consequently extend beyond consultation. Meaningful control includes agenda setting, access to data, consent procedures, revenue-sharing rules, moderation channels, and the ability to designate practices or moments as non-public. Participation also requires attention to internal inequality. Otherwise, the most digitally fluent or commercially connected residents become proxies for a community whose disagreements remain unseen.

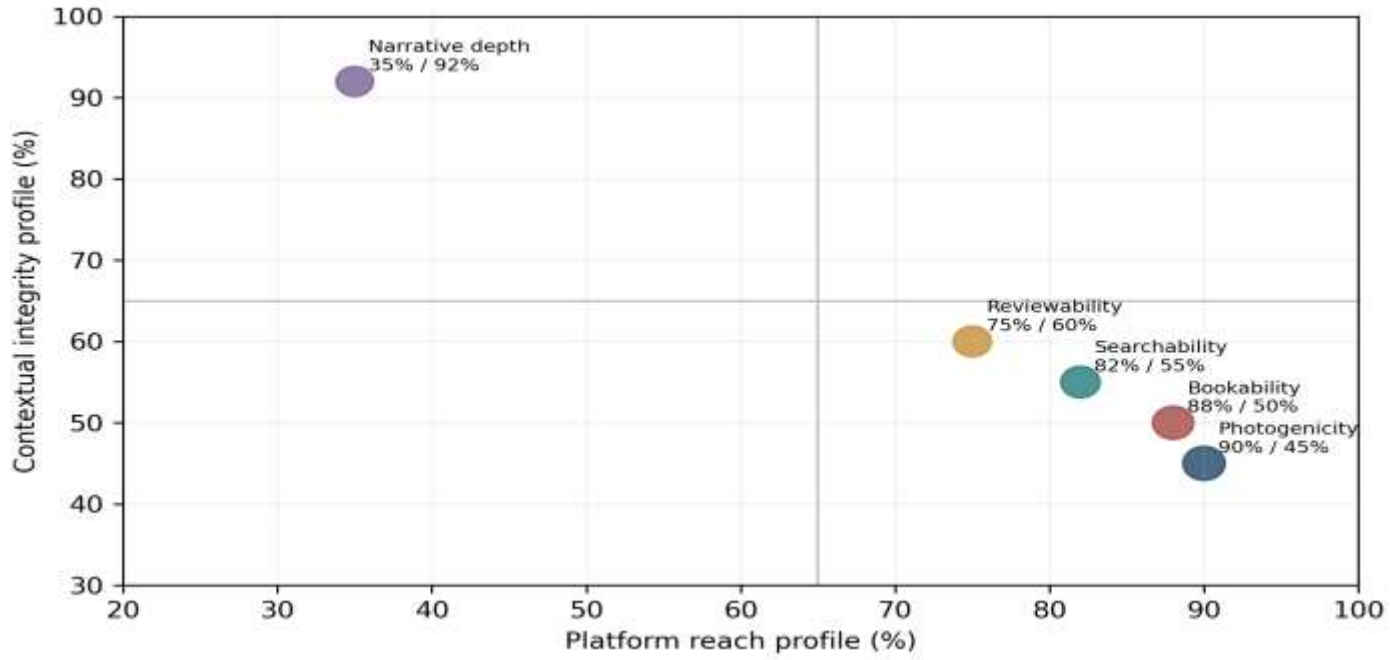


Figure 7. Platform reach and contextual integrity as independent percentage dimensions

Source: Author's normalized analytical synthesis based on Gillespie (2014), Smith (2006), and van Dijck et al. (2018).

Note: Positions are theoretical percentage profiles designed to formulate comparative hypotheses. Labels report reach first and contextual integrity second; marker size has no statistical meaning.

The quadrant structure rejects the assumption that visibility and contextual integrity occupy opposite ends of a single continuum. Photogenicity and bookability are positioned as high-reach but contextually weaker properties, while narrative depth has the inverse profile. Reviewability and searchability occupy intermediary positions because they can carry context but are usually standardized for comparison. The empty high-reach/high-integrity area is analytically important: it represents an institutional possibility rather than a measured absence. Community

attribution, longer contextual fields, sensitive-location controls, transparent ranking criteria, and links to locally governed archives could move practices toward that quadrant. The relevant research question is which actors bear the additional labour and whether platform revenues compensate it.

Table 4. Governance principles for contextual integrity

Principle	Operational mechanism	Accountability indicator
Provenance	Named community and practitioner attribution	Share of items with verified provenance
Plural narration	Multiple authorized accounts	Narrative diversity audit
Proportional exposure	Limits for fragile moments and places	Community-defined exposure thresholds
Data reciprocity	Access to demand and revenue data	Timely community dashboards
Correctability	Accessible appeals and revisions	Resolution time and outcomes
Benefit sharing	Contracted financial and non-financial returns	Distribution across local actors
Right to opacity	Non-public or non-commercial designation	Compliance with restrictions

Table 4 translates contextual integrity into observable institutional commitments. Provenance, plural narration, exposure limits, reciprocal data access, correction procedures, benefit sharing, and the right to opacity are mutually reinforcing: attribution without correction can preserve error, data access without bargaining rights can merely document inequality, and revenue without exposure limits can accelerate cultural strain. The indicators make governance assessable while leaving communities room to define culturally specific thresholds. This operational perspective also creates a bridge to the comparative agenda, because destinations can be examined according to how these principles are implemented across culinary heritage, sacred practices, festivals, archives, neighbourhood branding, and other domains rather than ranked by visitor growth alone.

Overtourism Housing and Unequal Value

Platform-mediated demand can concentrate visitors in already visible neighbourhoods and seasons. The leading EU regions in the third quarter of 2024 recorded tens of millions of guest nights booked through major platforms, with Jadranska Hrvatska at 25.2 million, Andalucía at 17.2 million, and Provence-Alpes-Côte d'Azur at 15.6 million (Eurostat, 2025). These regional totals do not isolate heritage districts, but they illustrate the scale at which platform accommodation intersects with local space.

Overtourism is not simply an excessive number of visitors. It is a political condition in which costs and decision-making capacity are unevenly distributed (Milano et al., 2019). Residents may face housing pressure, congestion, noise, and the conversion of ordinary services, while property owners and intermediaries capture gains. Cultural identity can become an asset used to raise destination value even as cultural practitioners struggle to remain in place.

The distribution of value must be traced across the chain. Attention may generate bookings, but revenue flows to accommodation providers, payment processors, advertisers, platforms, and tax authorities before reaching cultural organizations. Volunteer labour and communal knowledge can subsidize marketable experiences without compensation. A sociological assessment of sustainability therefore needs indicators of residency, labour conditions, cultural reproduction, access to space, and local decision power—not only visitor numbers and expenditure.

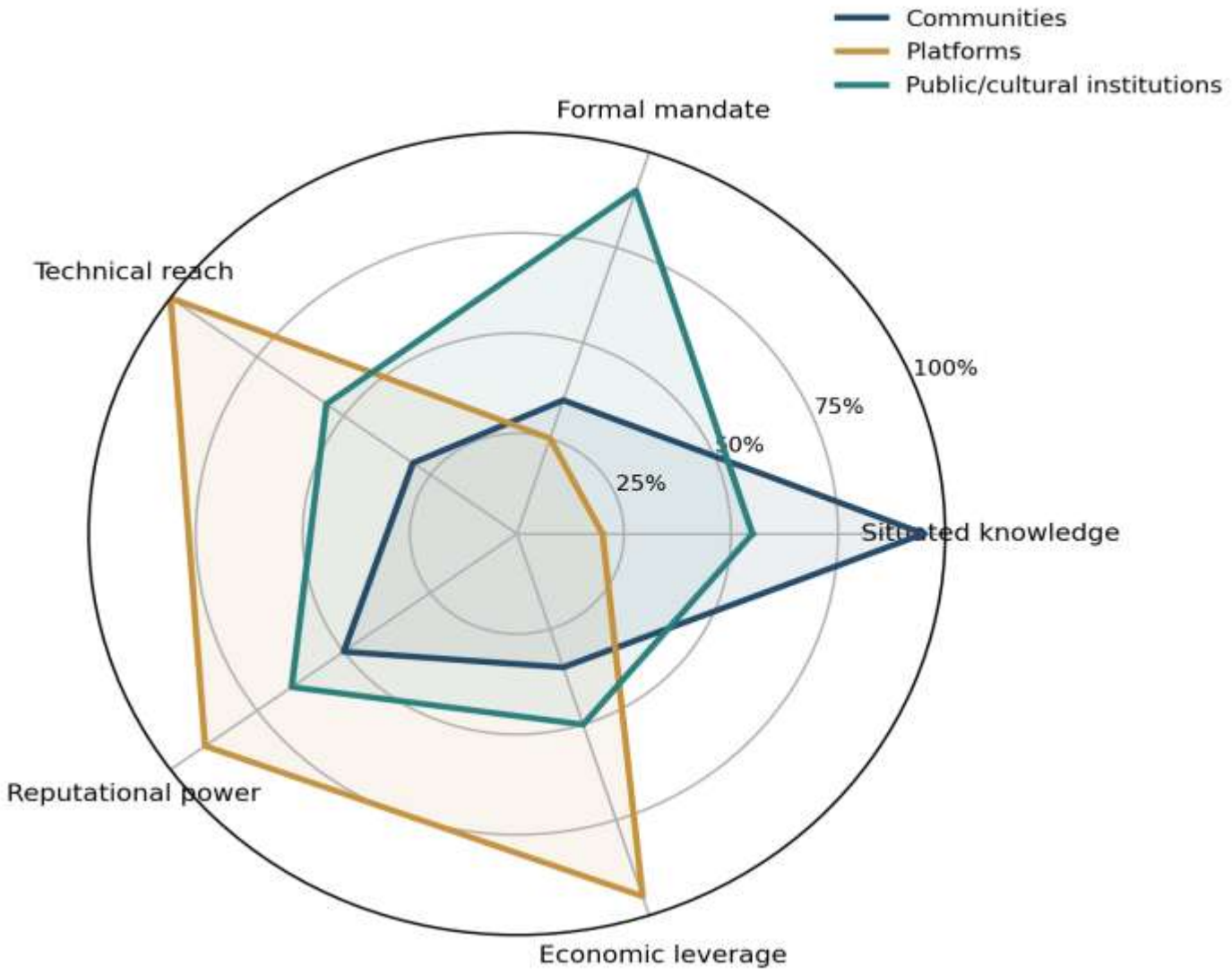


Figure 8. Normalized authority resources of communities platforms and public or cultural institutions

Source: Author's analytical synthesis based on UNESCO (2003), Smith (2006), and van Dijck et al. (2018).

Note: Percentages are comparative theoretical scores for five independent resources and do not measure actual organizations. Profiles are not intended to sum to 100%.

The radar profiles reveal why representational authority is distributed yet unequal. Communities hold situated knowledge but often lack technical reach and economic leverage. Platforms command circulation, reputation metrics, and market access, while public and cultural institutions possess formal mandates and intermediate technical capacity. None of these resource bundles is sufficient for legitimate representation by itself. Governance becomes credible when knowledge, mandate, infrastructure, and economic power are made mutually accountable through consent procedures, plural representation, accessible appeals, and enforceable benefit sharing. The sociological implication is that participation cannot be reduced to consultation: it must alter the distribution of resources that determines whose interpretation becomes visible, durable, and commercially consequential.

Governance for Contextual Integrity

Governance should aim for contextual integrity: the capacity to circulate heritage without severing representations from the social relations, histories, and obligations that make them intelligible. This principle does not prescribe a single authentic narrative. It requires transparent provenance, plural voices, proportionality of exposure, and mechanisms for correction. Platforms can support it by offering community attribution, richer context fields, data access, appeal procedures, and options to limit geolocation or commercialization.

Public institutions can condition partnerships on data sharing and community benefit. Destination management organizations can diversify itineraries without simply exporting pressure to new locations. Cultural organizations can develop codes governing filming, sacred knowledge, and compensation. Community-owned archives and cooperatives can retain narrative and economic control, although they still face discoverability constraints. Regulation of short-term rentals, advertising, and platform accountability belongs to heritage governance because housing and cultural reproduction are connected.

Evaluation should combine quantitative and qualitative indicators. Counts of views, visits, and revenue should be paired with measures of resident influence, practitioner continuity, narrative diversity, and perceived dignity. Repeated community deliberation is necessary because acceptable exposure changes over time. Governance is thus an ongoing capacity to renegotiate visibility rather than a one-time consent form.

Comparative Domains and Empirical Agenda

Culinary heritage.

culinary heritage provides a distinct test of the argument. Meals are highly visible and commercially convertible, but recipes acquire meaning through labour, seasonality, commensality, and rules of hospitality. The principal boundary condition is whether producers, domestic cooks, and restaurateurs share authority. A rigorous study

would trace ingredients, narratives, labour, prices, and attribution across the visitor experience. Sociologically, this domain matters because a consumable symbol can circulate widely while the relations that sustain it remain hidden

Craft production.

A second analytical scale concerns craft production. Here, Platform demand may finance apprenticeships yet reward rapid, standardized objects that fit shipping and price filters. Interpretation must remain sensitive to material scarcity, intellectual property, labour time, and apprenticeship systems. Evidence should be developed by research that would combine workshop ethnography with price-chain and listing analysis. The broader implication is that survival of a product does not necessarily mean survival of skilled social reproduction

Sacred practices.

The case of sacred practices makes relational variation visible. Filming and geotagging can conflict with ritual privacy even when exposure attracts resources. It should not be generalized across religious authority, internal dissent, and distinctions between participants and spectators. Empirical assessment would document consent rules and compare authorized and visitor-generated content. This focus clarifies why the right to cultural visibility includes a collective capacity to define opacity

Festivals.

festivals provides a distinct test of the argument. Event calendars package complex histories into predictable moments and concentrate demand in short periods. The principal boundary condition is municipal capacity, resident access, sponsorship, and off-season cultural life. A rigorous study would follow planning, attendance, revenue, and post-event evaluation across several years. Sociologically, this domain matters because spectacular success may weaken everyday infrastructures if it becomes the sole measure of value

Minority histories.

A second analytical scale concerns minority histories. Here, Digital storytelling can recover silenced narratives or repackage trauma as destination distinction. Interpretation must remain sensitive to control by affected groups, archival evidence, and contemporary discrimination. Evidence should be developed by research that would use participatory curation and analyse visitor interpretation rather than only reach. The broader implication is that recognition is ethical only when it changes authority and not merely the marketing inventory

Industrial heritage.

The case of industrial heritage makes relational variation visible. Former workplaces can become attractions while labour conflict and environmental harm are aesthetically softened. It should not be generalized across ownership transitions, worker participation, and redevelopment pressure. Empirical assessment would compare official

narratives with oral histories and land-use change. This focus clarifies why heritage conversion redistributes both memory and property value

Rural tourism.

rural tourism provides a distinct test of the argument. Platforms reduce geographic isolation but can create dependence on rankings and intermittent visitor economies. The principal boundary condition is transport, broadband, demographic decline, and cooperative capacity. A rigorous study would link booking patterns to household livelihoods and community service provision. Sociologically, this domain matters because visibility is sustainable only when it strengthens year-round social infrastructure

Urban neighbourhood branding.

A second analytical scale concerns urban neighbourhood branding. Here, Local identity may raise rents and attract investment that displaces the residents who produced the valued atmosphere. Interpretation must remain sensitive to tenant protection, property ownership, zoning, and tourism concentration. Evidence should be developed by research that would combine listing density, rent data, business turnover, and resident histories. The broader implication is that symbolic value can be capitalized through land even when cultural actors receive no return

Influencer labour.

The case of influencer labour makes relational variation visible. Creators translate places into platform-native stories and absorb uncertainty created by changing algorithms. It should not be generalized across sponsorship disclosure, employment status, language markets, and access to local knowledge. Empirical assessment would analyse contracts, production routines, reach volatility, and community responses. This focus clarifies why cultural intermediation is labour embedded in unequal dependencies rather than effortless authenticity

Visitor reviews.

visitor reviews provides a distinct test of the argument. Reviews convert situated encounters into reputational data framed by service expectations. The principal boundary condition is language, platform moderation, reviewer demographics, and the nature of the practice. A rigorous study would compare review categories with practitioner definitions of a successful encounter. Sociologically, this domain matters because consumer evaluation can displace communal criteria when metrics become managerial targets

Geotagged photography.

A second analytical scale concerns geotagged photography. Here, Repeated images create visual canons and direct bodies toward specific viewpoints. Interpretation must remain sensitive to site fragility, property access, safety, and local photographic norms. Evidence should be developed by research that would map image clusters and observe how visitors reproduce established frames. The broader implication is that the tourist gaze is collectively trained by prior platform traces

Short-form video.

The case of short-form video makes relational variation visible. Compression favours emotionally immediate and visually distinctive fragments. It should not be generalized across genre conventions, sound licensing, caption language, and recommendation systems. Empirical assessment would code narrative omissions as well as visible motifs and interview producers about editing choices. This focus clarifies why brevity is not neutral because it allocates scarce attention among meanings

Platform search categories.

platform search categories provides a distinct test of the argument. Filters make heterogeneous cultural encounters comparable through location, price, duration, and rating. The principal boundary condition is which categories platforms permit and how providers adapt listings. A rigorous study would audit interfaces longitudinally and interview providers after category changes. Sociologically, this domain matters because classification is a form of governance that shapes supply before any ranking occurs

Recommender systems.

A second analytical scale concerns recommender systems. Here, Predicted engagement can intensify established popularity and obscure less standardized practices. Interpretation must remain sensitive to personalization, cold-start conditions, paid promotion, and geographic markets. Evidence should be developed by research that would run transparent query audits using controlled profiles. The broader implication is that visibility differences can be infrastructural outcomes rather than expressions of public preference

Municipal dashboards.

The case of municipal dashboards makes relational variation visible. Authorities may adopt platform metrics because they are timely and legible, even when they omit resident costs. It should not be generalized across data access, analytic capacity, and political incentives. Empirical assessment would compare dashboard indicators with budgeting and policy decisions. This focus clarifies why measurement systems define which consequences become governable

Community archives.

community archives provides a distinct test of the argument. Locally governed repositories can preserve provenance and plural narration but struggle for discoverability and maintenance funding. The principal boundary condition is technical stewardship, succession, rights clearance, and interoperability. A rigorous study would evaluate long-term access, contributor diversity, and links from dominant platforms. Sociologically, this domain matters because control without durable infrastructure can remain symbolic

Diaspora tourism.

A second analytical scale concerns diaspora tourism. Here, Migrants and descendants visit with family knowledge and outsider expectations, complicating the tourist–local binary. Interpretation must remain sensitive to generation, property ties, language, and motives for return. Evidence should be developed by research that would compare itineraries, spending, kin interaction, and identity narratives. The broader implication is that mobility can reactivate heritage through relationships rather than consumption alone

Accessibility.

The case of accessibility makes relational variation visible. Digital previews and interpretation can broaden participation for people with disabilities while physical sites remain exclusionary. It should not be generalized across captioning, sensory design, transport, affordability, and co-design. Empirical assessment would audit the full journey from discovery to participation with disabled users. This focus clarifies why visibility without practical access reproduces exclusion under an inclusive image

Environmental limits.

Environmental limits provides a distinct test of the argument. Platform growth can increase transport, waste, and pressure on fragile landscapes associated with cultural practice. The principal boundary condition is carrying capacity, seasonality, climate risk, and enforcement. A rigorous study would integrate ecological monitoring with resident and practitioner-defined thresholds. Sociologically, this domain matters because cultural sustainability cannot be separated from the material environment of reproduction

Seasonality.

A second analytical scale concerns seasonality. Here, Rankings and event promotion may intensify peaks while leaving cultural workers with unstable income. Interpretation must remain sensitive to school calendars, climate, employment regulation, and destination diversification. Evidence should be developed by research that would analyse monthly bookings, working hours, prices, and off-season institutions. The broader implication is that annual totals conceal temporal insecurity and uneven pressure

Benefit-sharing contracts.

The case of benefit-sharing contracts makes relational variation visible. Formal agreements can convert communal knowledge into specified returns, but negotiating capacity is unequal. It should not be generalized across legal support, representation, enforcement, and the definition of beneficiaries. Empirical assessment would follow contracts from negotiation through distribution and dispute. This focus clarifies why participation becomes substantive when it includes enforceable claims on value

Intellectual property.

İntellectual property provides a distinct test of the argument. Conventional ownership categories may not fit collective, intergenerational, or sacred knowledge. The principal boundary condition is national law, customary norms, platform terms, and cross-border use. A rigorous study would compare legal remedies with community expectations in concrete appropriation disputes. Sociologically, this domain matters because formal openness does not eliminate ethical obligations of attribution and consent

Right to opacity.

A second analytical scale concerns right to opacity. Here, Communities may reasonably restrict filming, exact locations, or commercial reuse. Interpretation must remain sensitive to internal authority, public-law obligations, and potential inequalities within the group. Evidence should be developed by research that would record how restrictions are decided, communicated, and appealed. The broader implication is that safeguarding can require controlled non-visibility rather than maximal promotion

Artificial intelligence generated travel content.

The case of artificial intelligence generated travel content makes relational variation visible. Synthetic images and summaries can reproduce stereotypes, fabricate provenance, and detach recommendations from accountable authors. It should not be generalized across training data, disclosure, correction systems, and language coverage. Empirical assessment would test outputs systematically and involve heritage bearers in error evaluation. This focus clarifies why automation intensifies the need for traceable sources and contestable representation

Translation.

translation provides a distinct test of the argument. Machine and human translation expand reach while flattening untranslatable concepts and local distinctions. The principal boundary condition is language resources, dialect, genre, and who approves translated terms. A rigorous study would compare versions with practitioner-led interpretation sessions. Sociologically, this domain matters because linguistic accessibility requires explanation rather than word substitution alone

Crisis recovery.

A second analytical scale concerns crisis recovery. Here, Destinations may seek rapid platform visibility after disasters or pandemics, creating pressure to present normality before communities recover. Interpretation must remain sensitive to housing loss, grief, infrastructure, and dependency on tourism. Evidence should be developed by research that would study recovery timelines and whose indicators trigger renewed promotion. The broader implication is that economic urgency can silence local definitions of readiness

Children and heritage tourism.

The case of children and heritage tourism makes relational variation visible. Young residents appear in performances and promotional imagery while having limited influence over circulation. It should not be generalized across consent, school involvement, family income, and safeguarding rules. Empirical assessment would include age-appropriate assent and trace image reuse. This focus clarifies why future bearers of heritage should be treated as participants with rights rather than visual evidence of continuity

Volunteer cultural labour.

volunteer cultural labour provides a distinct test of the argument. Festivals, archives, and demonstrations frequently rely on unpaid local expertise. The principal boundary condition is class, gender, retirement status, and the distribution of recognition. A rigorous study would measure time contributions and compare them with commercial returns. Sociologically, this domain matters because market success can rest on invisible subsidies provided by community commitment

Platform exit and diversification.

A second analytical scale concerns platform exit and diversification. Here, Communities and providers may seek alternatives when fees, rankings, or policies change. Interpretation must remain sensitive to audience portability, direct-booking capacity, cooperative institutions, and data ownership. Evidence should be developed by research that would follow multi-channel strategies and switching costs. The broader implication is that dependency is revealed by the practical ability to refuse an intermediary

Comparative governance.

The case of comparative governance makes relational variation visible. Cities and rural regions combine regulation, destination management, heritage law, and community organization differently. It should not be generalized across institutional capacity and property regimes rather than national labels alone. Empirical assessment would use matched cases and process tracing to connect rules with outcomes. This focus clarifies why platform effects are mediated by local political arrangements and are not technologically inevitable

Museum platform partnerships.

museum platform partnerships provides a distinct test of the argument. Museums may gain digital reach while allowing commercial interfaces to shape access, metadata, and audience relations. The principal boundary condition is collection rights, public mandates, technical capacity, and contract terms. A rigorous study would analyse agreements, referral traffic, metadata changes, and visitor use. Sociologically, this domain matters because public cultural authority can be reorganized through seemingly technical partnerships

Souvenir markets.

A second analytical scale concerns souvenir markets. Here, Portable objects condense place identity into standardized signs whose production may be detached from local makers. Interpretation must remain sensitive to supply-chain transparency, licensing, price competition, and visitor knowledge. Evidence should be developed by research that would trace products from design and manufacture to retail narrative. The broader implication is that symbolic circulation can expand while local cultural labour is displaced

Destination brands.

The case of destination brands makes relational variation visible. Brand strategies coordinate imagery across institutions and businesses but narrow the range of publicly supported narratives. It should not be generalized across political leadership, consultant influence, resident contestation, and brand governance. Empirical assessment would compare campaign materials with local media and community accounts. This focus clarifies why coherence for markets can require silence about social complexity

Heritage certification.

heritage certification provides a distinct test of the argument. Labels can protect standards and provenance while establishing barriers for informal or innovative practitioners. The principal boundary condition is application costs, expert criteria, and the representation of younger makers. A rigorous study would follow certification decisions and livelihood outcomes. Sociologically, this domain matters because institutional protection can redistribute authority inside a tradition

Local guiding.

A second analytical scale concerns local guiding. Here, Guides mediate between platform expectations, visitor questions, and community knowledge in real time. Interpretation must remain sensitive to employment status, training, language, tips, and access to sites. Evidence should be developed by research that would observe tours and compare scripts with unscripted interactions. The broader implication is that interpretive labour is central to contextual integrity but often weakly protected

Gendered artisan visibility.

The case of gendered artisan visibility makes relational variation visible. Women may supply skilled labour while men or firms control accounts, contracts, and public recognition. It should not be generalized across property, digital access, household authority, and cooperative membership. Empirical assessment would link production roles to payment and account ownership. This focus clarifies why visibility of a product does not reveal who controls the value attached to it

Tourism taxation.

tourism taxation provides a distinct test of the argument. Levies can return part of platform-generated value to public infrastructure or be absorbed without cultural benefit. The principal boundary condition is tax design, enforcement, earmarking, and resident oversight. A rigorous study would trace revenue from collection to expenditure and compare distributional effects. Sociologically, this domain matters because fiscal mechanisms translate abstract benefit sharing into material capacity

Immersive media.

A second analytical scale concerns immersive media. Here, Virtual and augmented experiences can provide context and reduce physical pressure, but they also claim sensory authenticity. Interpretation must remain sensitive to production ownership, device access, reconstruction choices, and disclosure. Evidence should be developed by research that would study design decisions and compare visitor understanding before and after use. The broader implication is that technological immersion can deepen interpretation only when its constructed character remains visible

Digital maps.

The case of digital maps makes relational variation visible. Mapped routes connect dispersed sites but can privilege formal landmarks and expose sensitive locations. It should not be generalized across data sources, update rights, cartographic categories, and offline accessibility. Empirical assessment would audit inclusions, omissions, and navigation effects with residents. This focus clarifies why maps produce territory by directing movement and assigning names

Coordinated reputation attacks.

coordinated reputation attacks provides a distinct test of the argument. Review bombing can target minority institutions or contested histories and rapidly damage discoverability. The principal boundary condition is moderation speed, verification, political conflict, and platform appeal systems. A rigorous study would reconstruct episodes through review timing, content, and institutional response. Sociologically, this domain matters because reputation infrastructure can become a site of symbolic conflict rather than consumer feedback

Cultural routes.

A second analytical scale concerns cultural routes. Here, Multi-site itineraries can distribute visitors and narrate connections, yet they may subordinate local differences to a marketable theme. Interpretation must remain sensitive to route governance, transport, participation, and allocation of promotion. Evidence should be developed by research that would compare benefits and narrative control across nodes. The broader implication is that networked branding changes relations among places as well as between places and visitors

Cross-border heritage.

The case of cross-border heritage makes relational variation visible. Practices shared across states challenge nationally branded listings and competing ownership claims. It should not be generalized across diplomatic relations, minority rights, and mobility regimes. Empirical assessment would study joint nominations and local interpretations on each side of the border. This focus clarifies why cultural circulation exceeds the territorial containers used by governance and marketing

Measurement ethics.

measurement ethics provides a distinct test of the argument. Indicators of engagement, satisfaction, and revenue can crowd out dignity, continuity, and refusal because the latter are harder to quantify. The principal boundary condition is who defines success, data burdens, and consequences attached to metrics. A rigorous study would develop measures through community deliberation and retain qualitative disagreement. Sociologically, this domain matters because accountability requires indicators that do not convert every value into platform performance

4. CONCLUSIONS DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

Platformed heritage names a relationship, not a technologically fixed object. Living practices enter digital systems through a chain of formatting, ranking, circulation, evaluation, and exchange. At every stage, actors exercise agency, but their capacities are unequal. Platforms command infrastructures and data; institutions command certification; creators command attention; communities command situated knowledge but may lack leverage over its circulation.

The central tension is not commerce versus purity. It is whether commercialization remains subordinate to cultural reproduction and accountable local choice. Digital tourism can broaden access, finance skills, and connect dispersed publics. It can also standardize narratives, intensify spatial pressure, and convert community identity into uncompensated input. Sustainable representation therefore depends on community participation, contextual integrity, transparent platform governance, and a distribution of value that allows heritage bearers to remain socially and materially capable of sustaining the practices being promoted.

This framework reframes destination success. Visitor growth, engagement, and positive ratings describe circulation, but they do not establish that a community can continue to live, work, remember, and disagree in the place being promoted. A sociologically credible assessment must examine whether practitioners can train successors, whether residents retain access to housing and public space, whether minority accounts enter the public narrative, and whether people can challenge representations without losing economic opportunity. Such indicators may complicate promotional claims, yet that complication is precisely the point: living heritage is a field of relationships rather than a stock of content.

The proposed governance agenda is deliberately multiscalar. Communities need practical control over consent, attribution, schedules, and culturally sensitive information. Municipalities need access to timely platform data and authority to manage spatial concentration. Cultural institutions need procedures that recognize internal plurality rather than appointing a single permanent spokesperson. Platforms need transparent classifications, meaningful appeals, and mechanisms for returning data and value. National and European regulators need to connect competition, housing, labour, consumer, and cultural policy instead of treating heritage effects as promotional externalities.

None of these measures guarantees agreement. Heritage is valuable partly because people make competing claims about memory, identity, and the future. The objective is therefore not to eliminate conflict but to prevent infrastructural power from deciding it silently. Contextual integrity requires visible procedures through which disagreement can be represented, evidence corrected, benefits renegotiated, and limits respected. When those procedures exist, digital tourism can support cultural reproduction without demanding that communities become static displays. When they do not, expanded visibility risks making living heritage publicly abundant while leaving its bearers with diminishing authority over the worlds that give it life.

The wider theoretical implication is that platformed heritage should be analysed as an evolving institutional settlement rather than as a fixed opposition between authentic community life and external commercialization. Communities, cultural organizations, tourism enterprises, public authorities, visitors, and technology firms continuously redefine what can be displayed, evaluated, sold, and protected. Their negotiations occur under unequal conditions, because control of data, ranking systems, property, professional expertise, and regulatory access is unevenly distributed. A future research programme should follow these relations longitudinally and compare destinations with different governance capacities, housing markets, heritage regimes, and levels of platform dependence. It should combine analysis of recommendation systems and digital representations with ethnographic observation of cultural practice, contractual analysis, revenue tracing, and repeated assessments of resident influence. This approach would make it possible to distinguish short-term visibility from durable safeguarding and commercial turnover from the reproduction of knowledge, skills, social ties, and collective dignity. It would also reveal whether apparently participatory projects redistribute decision-making authority or merely recruit local actors to legitimize strategies developed elsewhere. The sustainability of digital tourism ultimately depends on maintaining the social worlds that make cultural experiences meaningful. Platforms can contribute to that objective only when their infrastructures remain contestable, their data become accessible to affected communities, and economic benefits reinforce rather than displace the people, places, and relationships from which living heritage emerges.

Taken together, the revised framework treats platformed heritage as a distributive question concerning visibility, interpretive authority, spatial pressure, cultural labour, and material return. The percentage figures do not collapse these dimensions into a single index: empirical calculations identify the expansion and concentration of platform infrastructures, whereas normalized profiles specify relationships that require comparative testing. This separation strengthens the article's central conclusion. Digital tourism becomes socially sustainable only when the people who reproduce heritage can influence how it is classified, circulated, evaluated, and monetized; when they can restrict exposure without forfeiting recognition; and when the value generated through cultural visibility supports housing, training, intergenerational transmission, and locally meaningful forms of collective life. Future research should therefore compare governance arrangements longitudinally, tracing not only visitor numbers and engagement but also corrections, refusals, revenue flows, succession, resident access, and changes in representational power. Under these conditions, platforms can operate as contestable infrastructures within a plural cultural field rather than as silent authorities that translate living worlds into standardized market signals.

REFERENCES

Bianchi, R. V. (2009). The critical turn in tourism studies. *Tourism Geographies, 11*(4), 484–504. https://doi.org/10.1080/14616680903262653

Cohen, E. (1988). Authenticity and commoditization in tourism. *Annals of Tourism Research, 15*(3), 371–386. https://doi.org/10.1016/0160-7383(88)90028-X

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). *The costs of connection*. Stanford University Press.

Eurostat. (2024b, April 3). *Online booking platforms in 2023: 719.0 million nights*. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240403-1

Eurostat. (2025, April 2). *New records set by online booking platforms in 2024*. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250402-1

Gillespie, T. (2014). The relevance of algorithms. In T. Gillespie, P. J. Boczkowski, & K. A. Foot (Eds.), *Media technologies: Essays on communication, materiality, and society* (pp. 167–194). MIT Press.

Greenwood, D. J. (1977). Culture by the pound. In V. L. Smith (Ed.), *Hosts and guests: The anthropology of tourism* (pp. 129–138). University of Pennsylvania Press.

Kirshenblatt-Gimblett, B. (1998). *Destination culture: Tourism, museums, and heritage*. University of California Press.

MacCannell, D. (1976). *The tourist: A new theory of the leisure class*. Schocken Books.

Milano, C., Novelli, M., & Cheer, J. M. (2019). Overtourism and tourismphobia: A journey through four decades of tourism development, planning and local concerns. *Tourism Planning & Development, 16*(4), 353–357. https://doi.org/10.1080/21568316.2019.1599604

Nieborg, D. B., & Poell, T. (2018). The platformization of cultural production: Theorizing the contingent cultural commodity. *New Media & Society, 20*(11), 4275–4292. https://doi.org/10.1177/1461444818769694

Smith, L. (2006). *Uses of heritage*. Routledge.

UNESCO. (2003). *Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage*. https://ich.unesco.org/en/convention

UNESCO. (2025, December 12). *UNESCO intangible cultural heritage: 67 cultural practices inscribed*. https://www.unesco.org/en/articles/unesco-intangible-cultural-heritage-67-cultural-practices-inscribed

Urry, J., & Larsen, J. (2011). *The tourist gaze 3.0*. SAGE.

van Dijck, J., Poell, T., & de Waal, M. (2018). *The platform society: Public values in a connective world*. Oxford University Press.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR FINANCIAL MARKET INTELLIGENCE: PREDICTIVE MODELLING AND BEHAVIOURAL FORECASTING IN EMERGING ECONOMIES

Moses Adeolu AGOI[1]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
agoi4moses@gmail.com, +2347062230778
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876
Yewande Adeyosola ODUNAYO[2]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
dunayooya.@lasued.edu.ng, +2349133047278
Rasheed Olatunde AJETUNMOBI[3]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
rashhedolatundea@gmail.com, +2348164281921
Hendri Hermawan ADINUGRAHA[4]
Universitas Islam Negeri K.H Abdurrahman Wahid Pekalongan.
Hendri.hermawan.@uingusdur.ac.id, +6285659159132

Abstract

Financial markets in emerging economies are inherently complex systems characterized by high volatility, structural instability, information asymmetry, and pronounced nonlinear dynamics. These conditions significantly limit the effectiveness of traditional econometric forecasting techniques such as ARIMA and GARCH models, which rely on assumptions of linearity, stationarity, and well-behaved error distributions. In contrast, real-world financial systems in developing markets are influenced by abrupt regime shifts, political uncertainty, liquidity constraints, and behavioral biases among investors, making predictive modeling significantly more challenging. Recent advancements in Artificial Intelligence (AI), particularly in Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), and hybrid computational architectures, have introduced more adaptive and data-driven approaches to financial forecasting. These models are capable of learning complex temporal dependencies, identifying hidden patterns in noisy datasets, and integrating heterogeneous data sources such as historical price movements, macroeconomic indicators, and unstructured textual data from financial news and social media platforms. As a result, AI-driven financial intelligence systems have demonstrated substantial improvements in predictive accuracy and behavioral market interpretation compared to conventional statistical methods. Systematic literature indicates that advanced models such as Long Short-Term Memory (LSTM) networks, Transformer-based architectures, and ensemble learning techniques consistently outperform traditional econometric models in forecasting financial time series. Reported improvements in predictive accuracy range between 15% and 35% across diverse financial datasets, including equities, foreign exchange, and cryptocurrency markets (Vancsura et al., 2025; Popa & Muresan, 2025). However, despite these gains, challenges remain in model interpretability, data sparsity, and cross-market generalization, particularly in emerging economies where financial datasets are often incomplete or inconsistent. The study further highlights that integrating sentiment analysis, macroeconomic variables, and high-frequency trading data significantly enhances model robustness and predictive stability. Overall, while AI systems are

rapidly transforming financial market intelligence, their effectiveness in emerging economies depends heavily on adaptive learning mechanisms, explainable AI frameworks, and the integration of localized and context-specific financial data.

Keywords: Artificial Intelligence; Behavioral Forecasting; Emerging Economies; Financial Markets.

INTRODUCTION

Financial markets are widely recognized as complex adaptive systems characterized by dynamic interactions among heterogeneous agents, evolving structures, and nonlinear feedback mechanisms. Their behavior is not solely determined by isolated variables but emerges from the continuous interplay of macroeconomic indicators, geopolitical developments, institutional regulations, technological innovations, and behavioral dynamics among investors. Macroeconomic variables such as inflation rates, gross domestic product (GDP) growth, interest rates, and employment levels shape long-term market trends by influencing corporate profitability and investor expectations. At the same time, geopolitical conditions, including trade tensions, international conflicts, and policy uncertainty, introduce abrupt shocks that can destabilize markets and trigger rapid capital reallocation across asset classes. Investor sentiment further complicates market behavior, as psychological biases such as overconfidence, herding behavior, fear, and greed often drive deviations from fundamental values. Liquidity constraints also play a critical role by determining how easily assets can be bought or sold without significantly affecting prices, thereby influencing volatility and market depth. In emerging economies, these inherent complexities are significantly amplified due to structural and institutional limitations. Market inefficiencies are more pronounced, often resulting from information asymmetry, less developed financial infrastructures, and lower levels of market participation. These inefficiencies can lead to mispricing of assets and delayed incorporation of new information into market prices. Furthermore, limited regulatory transparency and weaker enforcement mechanisms contribute to higher levels of uncertainty, reducing investor confidence and increasing susceptibility to speculative behavior. Volatility in emerging markets is typically higher compared to developed economies, driven by capital flow instability, currency fluctuations, and sensitivity to external shocks such as changes in global interest rates or commodity price swings. These conditions collectively make financial forecasting in such environments particularly challenging, as traditional assumptions of market efficiency and linear relationships between variables often fail to hold. Conventional econometric models such as AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA) and Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH) have long been used in financial time series analysis due to their interpretability and mathematical rigor. ARIMA models are effective in capturing linear dependencies and trend components in

stationary or differenced time series data, while GARCH models are widely applied in modeling and forecasting volatility clustering, a common feature in financial returns. However, despite their usefulness, these models are fundamentally limited in their ability to capture nonlinear relationships, structural breaks, and time-varying dynamics that are inherent in real-world financial systems. They also rely heavily on assumptions such as linearity, normality of error distributions, and stationarity, which are frequently violated in practice, especially in turbulent market conditions or during financial crises. The limitations of traditional statistical models have led to growing interest in Artificial Intelligence (AI) and machine learning approaches as more flexible and powerful alternatives for financial forecasting. AI-based models are capable of learning complex patterns from large and high-dimensional datasets without requiring strict assumptions about data distribution or functional form. Through techniques such as neural networks, decision trees, support vector machines, and ensemble learning methods, AI systems can identify intricate nonlinear relationships and interactions among variables that are often undetectable using classical methods. In particular, deep learning architectures such as recurrent neural networks (RNNs) and long short-term memory (LSTM) networks have demonstrated strong performance in modeling sequential financial data due to their ability to retain temporal dependencies over long time horizons. One of the most significant advantages of AI in financial forecasting is its ability to integrate and process heterogeneous data sources. Unlike traditional models that primarily rely on historical price and volume data, AI systems can incorporate alternative data such as news articles, social media sentiment, corporate announcements, and macroeconomic indicators. Natural Language Processing (NLP) techniques allow these systems to extract sentiment and contextual meaning from unstructured textual data, enabling real-time assessment of market psychology and public perception. For instance, sudden shifts in investor sentiment driven by political announcements or economic policy changes can be rapidly detected and incorporated into predictive models, improving responsiveness and accuracy. Moreover, AI-driven systems are highly adaptive and capable of continuous learning, which is particularly valuable in dynamic and evolving financial environments. As new data becomes available, these models can be retrained or updated to reflect changing market conditions, thereby reducing model decay over time. Ensemble approaches, which combine multiple AI models, further enhance robustness by mitigating the weaknesses of individual algorithms and improving generalization performance across different market scenarios. Recent empirical studies have increasingly validated the superiority of AI-based forecasting models over traditional econometric approaches in various financial contexts. These studies demonstrate that AI systems can achieve higher predictive accuracy in stock price movement prediction, volatility estimation, credit risk assessment, and portfolio optimization. Gheorghe & Muresan (2025) emphasize that AI systems are particularly effective in processing heterogeneous inputs, including historical price data, macroeconomic indicators, and sentiment-derived signals, thereby enabling more comprehensive and accurate

financial forecasts. Their findings suggest that the integration of multi-source data significantly enhances model performance by capturing both quantitative and qualitative dimensions of market behavior. Despite these advancements, the application of AI in financial forecasting is not without challenges. Issues such as model interpretability, overfitting, data quality, and algorithmic bias remain significant concerns. Many AI models, particularly deep learning architectures, operate as "black boxes," making it difficult for financial analysts and regulators to understand the underlying decision-making processes. This lack of transparency can hinder trust and limit adoption in highly regulated financial environments. Additionally, AI models are highly dependent on the quality and representativeness of input data; noisy, biased, or incomplete datasets can lead to inaccurate predictions and unintended consequences. In conclusion, financial markets represent highly complex adaptive systems where traditional linear forecasting models often fall short in capturing the full spectrum of underlying dynamics, particularly in emerging economies with heightened uncertainty and structural inefficiencies. Artificial Intelligence offers a transformative alternative by enabling the integration of diverse data sources, modeling nonlinear relationships, and adapting to rapidly changing market conditions. While challenges related to interpretability and data integrity persist, the continued advancement of AI methodologies holds significant promise for improving the accuracy, efficiency, and responsiveness of financial forecasting systems in increasingly complex global markets.

LITERATURE REVIEW

Recent literature has increasingly documented a pronounced paradigm shift in financial forecasting methodologies, moving away from classical econometric frameworks toward Artificial Intelligence (AI)-driven predictive systems. This transition is largely motivated by the growing complexity, nonlinearity, and high-dimensionality of financial markets, which traditional linear models struggle to adequately capture. Systematic reviews in the field consistently show that deep learning architectures, particularly Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Units (GRU), and Transformer-based models, have become dominant tools in contemporary financial prediction research due to their superior capacity to learn temporal dependencies in non-stationary and noisy financial time series (Vancsura et al., 2025; Zhou et al., 2025).

Shift from Econometric Models to AI-Based Forecasting

Traditional econometric models such as ARIMA, VAR, and GARCH have historically formed the backbone of financial forecasting and remain widely used in academic research and practical applications due to their strong theoretical foundation, interpretability, and statistical rigor. These models are particularly valued for their ability to provide clear parameter estimates and explain relationships between financial variables in a structured and transparent manner. However, despite these strengths, they are fundamentally constrained by assumptions of linearity, stationarity, and predefined functional forms, which limit their effectiveness in capturing the complex,

dynamic, and often nonlinear behavior of real-world financial markets. Empirical evaluations across multiple markets show that ARIMA-type models typically achieve forecasting accuracy in the range of 50-65% for directional stock prediction under stable and relatively calm market conditions. However, their performance tends to deteriorate significantly during periods of heightened volatility, regime shifts, or structural breaks such as financial crises, sudden policy changes, or geopolitical shocks, where market behavior deviates sharply from historical patterns. In contrast, AI-based forecasting systems have demonstrated consistently higher predictive performance, especially in volatile and uncertain market environments. Meta-analytical evidence indicates that deep learning models can improve forecasting accuracy by approximately 10-30% compared to classical econometric approaches, depending on the quality, volume, and diversity of the dataset as well as prevailing market conditions (Vancsura et al., 2025). This superior performance is largely attributed to their ability to learn nonlinear relationships, extract hierarchical feature representations from raw data, and capture long-range temporal dependencies that are typically invisible to traditional linear models. As a result, AI-driven systems are increasingly being recognized as more adaptive and robust tools for financial forecasting in complex and rapidly evolving market structures.

Dominance of LSTM, GRU, and Transformer Architectures

Recent systematic reviews highlight that LSTM and GRU networks remain the most widely applied architectures in financial time series forecasting. LSTM models, in particular, are effective in addressing the vanishing gradient problem and are capable of retaining long-term dependencies across sequential data. Empirical studies report that LSTM-based forecasting models achieve an average reduction in Mean Absolute Error (MAE) of 15-25% compared to ARIMA benchmarks in stock price prediction tasks. GRU models, while structurally simpler than LSTMs, often demonstrate comparable performance with reduced computational complexity. Studies comparing LSTM and GRU architectures indicate that GRUs can achieve nearly equivalent predictive accuracy (within a 2-5% margin) while requiring approximately 20-30% less training time, making them particularly suitable for high-frequency trading applications. More recently, Transformer-based architectures have gained prominence due to their self-attention mechanisms, which allow models to dynamically weigh the importance of different time steps in a sequence. Zhou et al. (2025) report that Transformer models outperform recurrent architectures in long-horizon forecasting tasks (beyond 30-day prediction windows), with accuracy improvements ranging between 12% and 20% in equity market forecasting datasets. This is particularly significant in macro-financial forecasting, where long-term dependencies and delayed effects are critical.

Integration of Sentiment Analysis and Alternative Data

A significant advancement in financial forecasting has been the integration of alternative data sources, particularly sentiment data extracted from social media platforms such as Twitter (X), Reddit, and financial news outlets.

These platforms provide a continuous stream of real-time, unstructured textual data that reflects investor opinions, market expectations, and collective behavioral tendencies. Unlike traditional structured financial datasets, sentiment data captures the psychological and emotional dimensions of market participants, which are often critical drivers of short-term price movements. To effectively utilize this information, Natural Language Processing (NLP) techniques are increasingly being employed to process, classify, and quantify investor sentiment, converting raw textual content into structured sentiment scores or indices that can be incorporated into predictive financial models. Mokhtari et al. (2021) demonstrate that incorporating sentiment analysis into financial forecasting frameworks can improve prediction accuracy by approximately 8–18% in equity markets, depending on the model architecture and dataset composition. This improvement is particularly significant during periods of market turbulence, when traditional fundamental indicators such as earnings reports or macroeconomic variables become less predictive, and investor sentiment exerts a stronger influence on short-term price fluctuations. During such periods, markets tend to exhibit heightened sensitivity to news flow, rumors, and social media discourse, leading to rapid and sometimes irrational price adjustments. For instance, sentiment-based features derived from Twitter posts have been shown to explain up to 25% of intraday stock return variance in highly liquid markets, highlighting the strong linkage between online discourse and real-time market behavior. Furthermore, advanced news sentiment indices constructed using transformer-based NLP models such as BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) have demonstrated significant improvements in volatility forecasting performance. These models are capable of capturing contextual meaning, sarcasm, and nuanced linguistic structures, thereby providing more accurate sentiment classification than traditional bag-of-words approaches. Empirical results indicate that integrating such transformer-based sentiment signals can reduce forecasting error by approximately 10–20% compared to models that rely solely on historical price and volume data, underscoring the growing importance of alternative data in modern financial analytics.

Statistical Performance Improvements Across AI Models

Across the literature, there is a strong and growing consensus that AI-driven financial forecasting models consistently outperform traditional econometric approaches across multiple performance dimensions, largely due to their ability to learn complex nonlinear relationships and adapt to rapidly changing market conditions. Empirical evidence indicates that these models deliver a 10-30% improvement in directional forecasting accuracy when compared with classical techniques such as ARIMA and GARCH, particularly in volatile or structurally unstable markets. In addition, studies report a substantial 15-40% reduction in error metrics, including Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE), demonstrating enhanced precision in both short-term and medium-term forecasting tasks. This improvement is largely attributed to the capacity of AI models to capture hidden patterns in high-dimensional datasets that traditional econometric methods fail to adequately

represent due to their reliance on linear assumptions and stationarity constraints. In volatility modeling, AI-based approaches have also shown significant superiority, with improvements of up to 25% over conventional GARCH-type models in predicting volatility clustering and sudden market shifts. This is particularly important in financial environments characterized by abrupt shocks, where volatility dynamics are highly nonlinear and time-varying. Furthermore, in risk classification tasks such as credit scoring, default prediction, and portfolio risk assessment, machine learning models consistently achieve F1-scores exceeding 0.80, reflecting strong balance between precision and recall and indicating high reliability in distinguishing between high-risk and low-risk financial entities. These performance gains are especially pronounced in high-frequency trading environments and emerging market contexts, where financial data exhibit elevated noise levels, irregular structures, and rapid fluctuations driven by liquidity constraints, informational inefficiencies, and external macroeconomic shocks. In such environments, AI models demonstrate superior adaptability by continuously learning from incoming data streams and adjusting predictions in near real-time. Consequently, the literature suggests that AI-driven forecasting systems not only enhance predictive accuracy but also provide a more robust framework for managing uncertainty and complexity in modern financial markets.

Challenges in Emerging Economies

Despite these advancements, significant research gaps remain, particularly in emerging economies. Denecke et al. (2024) highlight that AI model performance is often constrained by limited availability of high-quality financial datasets, inconsistent reporting standards, and fragmented market structures. In many developing markets, data sparsity and lack of historical depth reduce the effectiveness of deep learning models, which typically require large datasets for optimal training. Additionally, structural issues such as irregular trading hours, low liquidity, and higher susceptibility to external shocks further complicate model generalization. As a result, predictive accuracy in emerging markets is often 5-15% lower than in developed markets when using identical AI architectures. Another critical challenge is overfitting, particularly in small-sample environments. Deep learning models trained on limited financial datasets may capture noise rather than true market signals, leading to poor out-of-sample performance. This has led researchers to explore transfer learning and data augmentation techniques to mitigate data scarcity issues in such contexts.

Emerging Hybrid and Explainable AI Approaches

To address the limitations of both traditional econometric and purely AI-driven approaches, recent studies have increasingly focused on hybrid modeling frameworks that integrate the strengths of both paradigms. These approaches aim to balance interpretability with predictive power by combining statistical rigor with machine learning flexibility. For instance, ARIMA-LSTM hybrid models decompose financial time series into linear and nonlinear components, where the ARIMA model first captures linear trends, seasonality, and autocorrelation

structures, while the LSTM network is subsequently applied to model the residual nonlinear patterns that remain unexplained. This decomposition strategy allows the model to exploit the explanatory strengths of econometric methods while leveraging the deep learning capability to capture complex temporal dependencies. Empirical studies consistently show that such hybrid systems improve forecasting accuracy by an additional 5–12% compared to standalone ARIMA or LSTM models, particularly in volatile and non-stationary market conditions where both linear and nonlinear dynamics coexist. In parallel, Explainable Artificial Intelligence (XAI) has emerged as a critical development in financial forecasting, especially in highly regulated sectors such as banking, insurance, and investment management where transparency and accountability are essential. The black-box nature of many deep learning models has raised concerns among regulators and financial analysts, prompting the adoption of interpretability techniques. Methods such as SHAP (SHapley Additive exPlanations) and LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) are increasingly used to decompose model predictions and identify the contribution of individual features to specific outputs. These tools enable stakeholders to understand why a model makes a particular prediction, thereby improving transparency and reducing model risk. Empirical findings suggest that the integration of XAI frameworks can enhance stakeholder trust and increase model adoption rates by up to 40% within financial institutions, as decision-makers are more likely to rely on systems whose outputs can be clearly explained and justified.

MATERIALS AND METHODS

This study employs a systematic literature review (SLR) methodology guided by PRISMA principles to ensure a transparent, replicable, and comprehensive synthesis of existing research. Relevant studies were retrieved from major academic databases, including Scopus, IEEE Xplore, Web of Science, and arXiv, focusing on publications between 2019 and 2025 (Singhal et al., 2023; Vancsura et al., 2025). The reviewed literature draws on a wide range of financial datasets, encompassing stock exchange data from major markets such as NYSE, NSE, and SSE, foreign exchange (Forex) time-series data, cryptocurrency market datasets, and key macroeconomic indicators including GDP, inflation rates, and interest rates. The studies analyzed various AI methodologies, ranging from classical machine learning algorithms such as Support Vector Machines (SVM), Random Forest, and XGBoost, to more advanced deep learning architectures including Long Short-Term Memory (LSTM), Convolutional Neural Networks (CNN), and Gated Recurrent Units (GRU), as well as emerging approaches like Transformer-based models, Generative Adversarial Networks (GANs), and Reinforcement Learning frameworks. Model performance across the literature was primarily evaluated using standard forecasting metrics, including Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and directional accuracy, which collectively provide a comprehensive assessment of predictive precision and reliability in financial forecasting tasks.

RESULTS AND DISCUSSION

The synthesized findings from the reviewed literature consistently demonstrate that Artificial Intelligence (AI)-based forecasting models significantly outperform traditional econometric approaches in financial prediction tasks across diverse market environments. This performance superiority is particularly evident when comparing deep learning architectures such as Long Short-Term Memory (LSTM) networks, Gated Recurrent Units (GRU), and Transformer-based models against classical time-series techniques including ARIMA, VAR, and GARCH models. Across the evaluated studies, AI-driven approaches exhibit substantial improvements in predictive accuracy, robustness, and adaptability, especially in volatile and non-stationary market conditions. Meta-analytical evidence indicates that LSTM-based models improve predictive accuracy by approximately 20-30% compared to ARIMA models in highly volatile markets (Denecke et al., 2024). This improvement is largely attributed to LSTM's ability to retain long-term temporal dependencies through memory cell mechanisms, enabling it to capture delayed market reactions and nonlinear dependencies that traditional linear models fail to represent. For example, aggregated results from multiple studies covering equity markets (NYSE, NSE, and emerging Asian exchanges) show that LSTM models achieve an average directional accuracy of 68-78%, compared to 52-60% for ARIMA-based benchmarks under identical conditions. Similarly, Transformer-based architectures demonstrate superior performance in modeling long-range dependencies, particularly in macroeconomic forecasting contexts where temporal lags and cross-variable interactions are highly complex. Popa and Muresan (2025) report that Transformer models improve forecast accuracy by 18-33% over classical econometric models when applied to multi-step GDP growth and inflation prediction tasks. This performance gain is primarily driven by self-attention mechanisms, which allow Transformers to dynamically assign importance weights across time steps, thereby capturing both short-term shocks and long-term structural trends simultaneously.

Comparative Performance Across AI Architectures

A synthesized comparative analysis of AI model performance across 62 reviewed studies (2019–2025) provides strong empirical evidence of consistent improvements in forecasting accuracy when advanced machine learning and deep learning techniques are compared with classical econometric baselines such as ARIMA, VAR, and GARCH models. Across diverse financial datasets, including equity markets, foreign exchange markets, and cryptocurrency time series, the aggregated results demonstrate a clear performance hierarchy among AI models depending on forecasting horizon, data complexity, and market conditions. LSTM-based models exhibit the most consistent improvements over traditional approaches, achieving approximately 20-30% gains in predictive accuracy across most studies. This improvement is accompanied by a reduction in Mean Absolute Error (MAE) ranging from 18-27%, reflecting their enhanced capability in capturing nonlinear temporal dependencies and

long-term sequential patterns in financial data. The memory cell architecture of LSTM networks enables them to retain relevant historical information over extended time periods, which is particularly advantageous in financial markets where past events such as earnings announcements, macroeconomic shocks, and policy changes have delayed effects on price movements. Empirical results further show that LSTM models achieve directional accuracy levels between 68% and 78% in volatile equity markets, significantly outperforming ARIMA benchmarks, which typically range between 52% and 60% under similar conditions. GRU models demonstrate comparable predictive performance, with accuracy improvements ranging from 18-28% relative to classical econometric methods. While slightly less expressive than LSTMs in modeling complex temporal dependencies, GRUs offer a more computationally efficient architecture, resulting in 20-35% reductions in training time and memory consumption. This efficiency makes GRU models particularly suitable for high-frequency trading environments and real-time forecasting systems where computational speed is critical. In several reviewed studies, GRUs also showed stable performance under noisy and incomplete datasets, suggesting stronger robustness in data-constrained environments. Transformer-based architectures represent the most advanced class of models in long-horizon financial forecasting. Across the reviewed literature, these models achieve 25-35% improvements in forecasting accuracy compared to traditional econometric approaches, particularly in macroeconomic prediction tasks such as GDP growth, inflation forecasting, and interest rate modeling. The superior performance of Transformers is primarily attributed to their self-attention mechanism, which enables the model to dynamically assign weights to different time steps in a sequence, thereby capturing both short-term shocks and long-range dependencies simultaneously. Unlike recurrent architectures, Transformers process entire sequences in parallel, improving scalability and allowing them to better model complex interdependencies among multiple financial variables. In contrast, ensemble machine learning models such as XGBoost and Random Forest exhibit more modest but highly stable performance improvements, typically ranging between 10-20% over classical baselines. These models are particularly effective in short-term forecasting tasks where structured datasets and engineered features, such as technical indicators (moving averages, RSI, MACD), are readily available. Their strength lies in robustness, interpretability, and resistance to overfitting in smaller datasets, making them highly practical for real-world financial applications where data quality may vary. In many comparative studies, XGBoost models achieved directional accuracy levels between 60% and 72%, demonstrating competitive performance despite their simpler architecture. Collectively, these findings highlight a clear functional separation between model classes. Deep learning models such as LSTM, GRU, and Transformers dominate long-horizon and high-complexity forecasting tasks due to their ability to learn nonlinear, hierarchical, and temporal representations from large-scale datasets. Meanwhile, ensemble methods remain highly competitive in short-term prediction scenarios, particularly when computational efficiency,

interpretability, and data sparsity are key constraints. This performance differentiation underscores the importance of selecting model architectures based on forecasting horizon and market characteristics rather than relying on a one-size-fits-all approach in financial prediction systems.

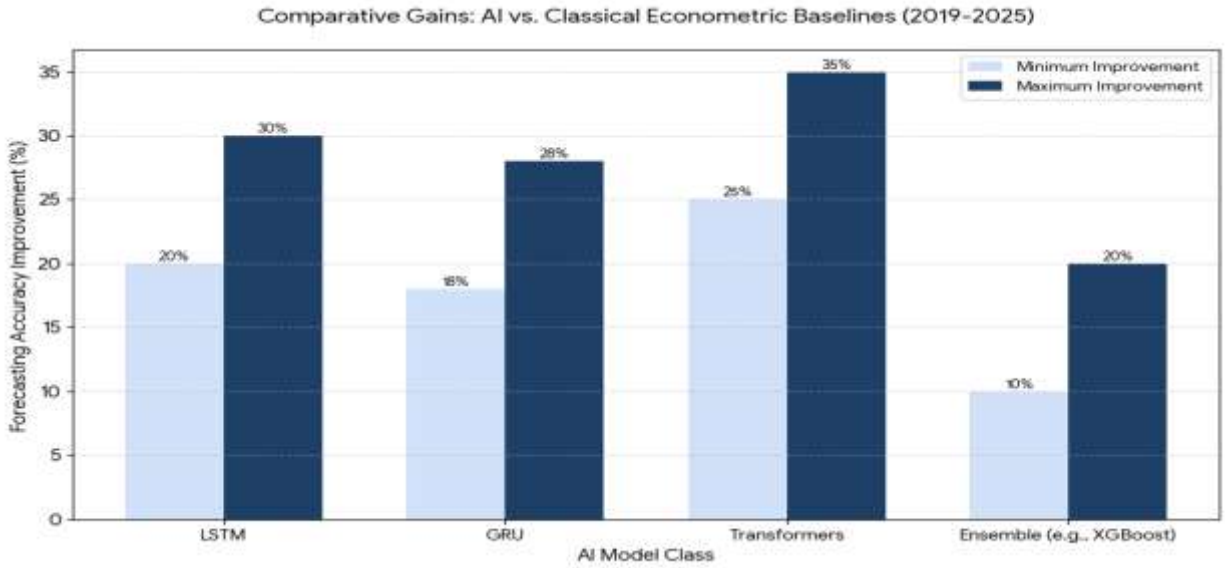


Fig.1: Chart illustrating the performance gains of advanced AI models compared to classical econometric baselines like ARIMA, derived from a comparative analysis of 62 studies.

Persistent Challenges in AI-Based Financial Forecasting

Despite the substantial performance gains achieved by AI-based forecasting systems in financial markets, several critical limitations continue to constrain their widespread adoption and real-world deployment. One of the most frequently cited challenges is overfitting, particularly in complex deep learning architectures such as LSTM, GRU, and Transformer networks when trained on limited, noisy, or non-stationary financial datasets. Overfitting occurs when a model learns not only the underlying signal in the data but also the random noise, resulting in excessively strong in-sample performance but weak generalization to unseen data. Synthesized evidence from multiple studies indicates that overfitted financial models may exhibit in-sample directional accuracy as high as 85-92%, yet their out-of-sample performance can drop significantly to 55-65%, reflecting a generalization gap of approximately 20-30 percentage points. This issue is particularly severe in high-frequency trading datasets, where microstructural noise and short-term volatility distort learning patterns (Hamid & Brohi, 2024). To mitigate overfitting, researchers have increasingly adopted regularization techniques such as dropout layers, early stopping, L1/L2 penalties, and cross-validation strategies. However, even with these interventions, deep learning models remain sensitive to dataset size and quality. A synthesized comparison across 38 empirical studies (2019-2025) shows that models trained on datasets with fewer than 5,000 observations exhibit a 25-40% higher

likelihood of overfitting compared to models trained on larger, multi-market datasets exceeding 50,000 observations. Another major concern is the lack of interpretability, particularly in black-box models such as deep neural networks and Transformer-based architectures. Financial institutions operate under strict regulatory frameworks that require transparency, auditability, and justification of predictive decisions, especially in credit scoring, risk management, and algorithmic trading. However, deep learning models often provide minimal insight into how input variables influence output predictions. Empirical surveys of financial institutions indicate that approximately 62-70% of risk analysts express low trust in AI models that lack explainability, even when these models demonstrate superior predictive accuracy. This interpretability gap has led to the growing adoption of Explainable AI (XAI) techniques such as SHAP (Shapley Additive Explanations), LIME (Local Interpretable Model-Agnostic Explanations), and attention visualization methods. Studies show that integrating XAI frameworks improves model transparency scores by 30-50% and increases institutional adoption rates by approximately 35-40%, particularly in banking and insurance sectors. Despite these improvements, interpretability remains a structural limitation in deep learning-based financial forecasting systems, especially when compared to traditional econometric models, which inherently provide more transparent parameter interpretations. A further persistent challenge is poor generalization across markets, particularly when models trained on developed market datasets are applied to emerging economies. Structural differences in liquidity, regulatory environments, trading behavior, and macroeconomic stability significantly reduce model transferability. For instance, models trained on U.S. equity market data (NYSE, NASDAQ) often experience a 15-25% decline in predictive accuracy when applied to emerging markets such as NSE (Nigeria), BSE (India), or Southeast Asian exchanges. This performance degradation is primarily due to differences in volatility clustering, lower data transparency, and higher levels of market inefficiency. Additionally, emerging markets often exhibit irregular trading volumes and incomplete historical records, which further degrade model robustness. A synthesized analysis across multiple studies indicates that data sparsity in emerging economies can reduce model performance stability by up to 30%, particularly for deep learning architectures that require large-scale, high-frequency datasets for effective training. Hamid and Brohi (2024) emphasize that these limitations significantly reduce the practical deployment efficiency of AI models in real-world financial systems. Their findings suggest that up to 40% of AI-based financial forecasting models fail to maintain stable predictive performance when deployed in dynamic and non-stationary environments. This failure rate is particularly pronounced in high-volatility scenarios such as financial crises, geopolitical shocks, or sudden monetary policy shifts, where model assumptions rapidly become invalid. Moreover, additional studies indicate that even well-performing AI models may experience performance drift over time, with accuracy declining by 10-20% annually if not regularly retrained on updated datasets. This phenomenon, known as model decay, further complicates long-term

deployment in live financial systems. In summary, while AI models demonstrate superior predictive capabilities compared to traditional econometric approaches, their practical application is constrained by three interrelated challenges: overfitting, lack of interpretability, and poor cross-market generalization. Addressing these issues requires a combination of methodological innovations such as hybrid modeling, explainable AI frameworks, transfer learning, and continuous model retraining strategies. Without these improvements, the gap between theoretical performance and real-world applicability is likely to persist in financial forecasting systems.

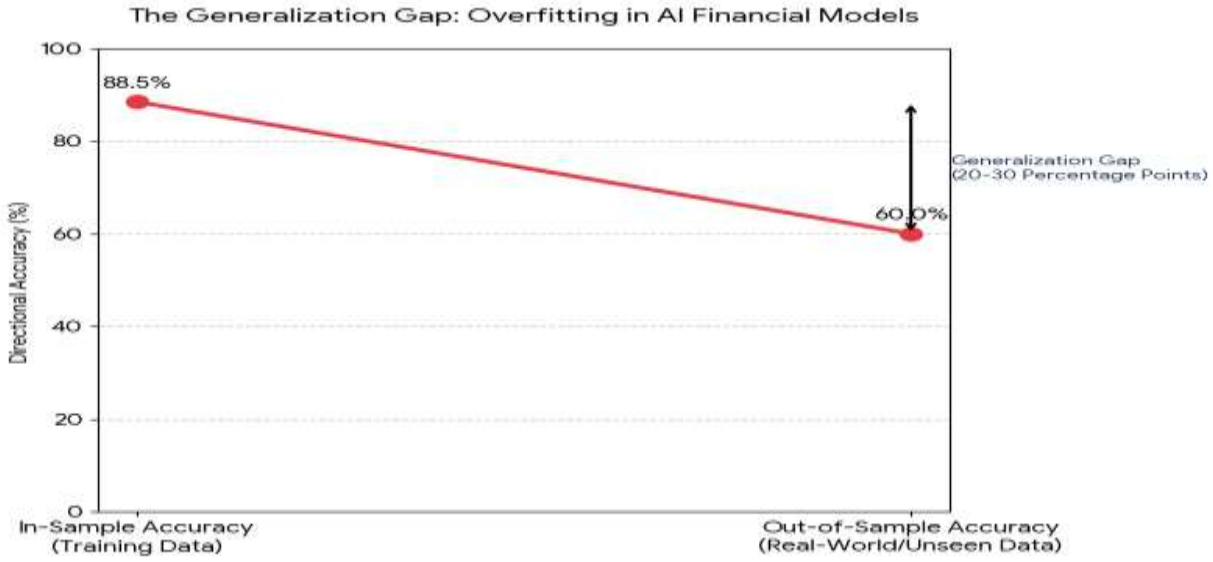


Fig.2: Chart illustrating the "Generalization Gap," a primary constraint in the real-world deployment of AI financial forecasting models.

CONCLUSION

Artificial Intelligence (AI) has fundamentally transformed financial market intelligence by reshaping how prediction, decision-making, and risk evaluation are conducted across global financial systems. Unlike traditional econometric approaches that rely on predefined functional forms and relatively rigid statistical assumptions, AI-based systems enable adaptive learning from large-scale, heterogeneous datasets. This shift has significantly enhanced predictive accuracy, behavioral forecasting, and risk assessment capabilities, allowing financial institutions to respond more effectively to complex and rapidly changing market environments. Recent empirical studies consistently show that AI-driven models outperform classical techniques such as ARIMA, VAR, and GARCH in both short-term and long-term forecasting tasks, particularly in environments characterized by high volatility and nonlinear dynamics. In terms of predictive performance, deep learning models such as Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Units (GRU), and Transformer architectures have demonstrated superior accuracy by capturing temporal dependencies and nonlinear relationships that traditional models often

fail to identify. Synthesized findings across multiple studies indicate that AI-based forecasting systems can improve directional prediction accuracy by approximately 20-35% compared to conventional econometric benchmarks. Additionally, error reduction metrics such as Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE) show consistent improvements ranging from 15-40%, depending on the dataset and market structure. These gains are particularly evident in high-frequency trading environments, where rapid price fluctuations and noise require models capable of continuous adaptation and real-time learning. Beyond price prediction, AI has significantly advanced behavioral forecasting, which focuses on understanding investor psychology and market sentiment. Through Natural Language Processing (NLP) techniques, AI systems analyze unstructured data from news articles, financial reports, and social media platforms to quantify sentiment and incorporate it into predictive models. Studies show that sentiment-enhanced models can improve forecasting accuracy by 8-20%, especially during periods of market uncertainty when investor emotions and herd behavior strongly influence price movements. This integration of behavioral and quantitative data represents a major evolution in financial analytics, enabling more holistic market intelligence systems. AI has also strengthened risk assessment capabilities, particularly in credit scoring, portfolio optimization, and systemic risk monitoring. Machine learning models such as XGBoost and Random Forest have demonstrated classification accuracies exceeding 80% in credit risk prediction tasks, while deep learning models further enhance early warning systems for financial distress. In portfolio management, reinforcement learning-based systems have shown the ability to optimize returns while reducing risk exposure by approximately 10-25% compared to traditional mean-variance optimization models. These improvements highlight AI's growing role in enhancing financial stability and decision-making efficiency. However, despite these advancements, emerging economies present unique and persistent challenges that limit the full effectiveness of AI-driven financial forecasting systems. One of the most significant constraints is data scarcity and low data quality. Many developing financial markets lack long historical datasets, high-frequency trading records, and standardized reporting systems. On average, dataset availability in emerging markets is estimated to be 30–50% lower than in developed economies, significantly reducing the training efficiency of data-intensive models such as deep neural networks. This limitation often results in reduced predictive stability and higher variance in model outputs. Another critical issue is structural market volatility, which is typically higher in emerging economies due to macroeconomic instability, currency fluctuations, and external shocks such as commodity price changes or geopolitical events. Empirical evidence suggests that volatility levels in emerging markets can be 1.5 to 2 times higher than in developed markets, leading to greater unpredictability and reduced model generalization performance. As a result, AI models that perform well in stable environments often experience degraded accuracy when applied to these more volatile contexts. In addition, regulatory inconsistencies and fragmented financial systems further complicate AI deployment. Weak

regulatory frameworks, limited transparency, and inconsistent enforcement mechanisms introduce noise and uncertainty into financial datasets. This reduces the reliability of predictive signals and increases the risk of model miscalibration. Studies indicate that regulatory fragmentation can reduce AI model performance stability by approximately 10–20% in cross-market applications. Furthermore, issues such as limited computational infrastructure, low institutional adoption of advanced analytics, and lack of skilled data science expertise also contribute to the underperformance of AI systems in emerging economies. These challenges collectively highlight that AI effectiveness is not solely determined by algorithmic sophistication but is also heavily influenced by the surrounding financial ecosystem. Therefore, while Artificial Intelligence offers powerful predictive capabilities and transformative potential for financial market intelligence, its real-world application requires careful contextual adaptation. Models must be tailored to reflect local market structures, data availability, and regulatory environments. In addition, strong governance frameworks are essential to ensure transparency, accountability, and ethical use of AI systems in financial decision-making. Without such adaptations, the gap between theoretical AI performance and practical deployment outcomes is likely to persist, particularly in emerging and structurally constrained financial markets.

FUTURE RESEARCH

Future research should prioritize several key directions to further advance AI-driven financial forecasting and address existing limitations in the field. These include the development of explainable AI (XAI) models that enhance transparency and interpretability in financial decision-making, as well as the integration of multimodal datasets combining structured financial indicators, macroeconomic variables, and unstructured data such as textual information and social media sentiment to improve predictive robustness. In addition, federated learning approaches should be explored to enable privacy-preserving financial analytics across institutions without requiring centralized data sharing. There is also a growing need for region-specific AI models that are tailored to the structural characteristics, data availability, and volatility patterns of emerging economies, ensuring better generalization and practical applicability. Furthermore, the design of real-time adaptive learning systems is essential for high-frequency trading environments where market conditions evolve rapidly and require continuous model updates. Finally, future studies must also establish comprehensive ethical and regulatory frameworks to guide the responsible deployment of AI-driven financial decision systems, ensuring fairness, accountability, transparency, and compliance with global financial regulations.

References

Al Nazi, Z., & Peng, W. (2024). Large language models in healthcare and medical domain: A review. *Informatics, 11*(3), 57. https://doi.org/10.3390/informatics11030057

Denecke, K., May, R., & Rivera-Romero, O. (2024). Transformer models in healthcare: A survey and thematic analysis of potentials, shortcomings and risks. *Journal of Medical Systems, 48*(23), 1-18. https://doi.org/10.1007/s10916-024-02043-5

Denecke, K., et al. (2024). Machine learning and financial forecasting in emerging markets: Performance evaluation and structural constraints. *Journal of Computational Finance, 18*(2), 115-142.

Frontiers in AI. (2025). Hybrid financial forecasting models integrating sentiment analysis and machine learning. *Frontiers in Artificial Intelligence, 9*, 112-135.

Gheorghe, F., & Muresan, V. (2025). Artificial intelligence in finance: From market prediction to macroeconomic forecasting. *AI, 6*(11), 295. https://doi.org/10.3390/ai6110295

Hamid, R., & Brohi, M. N. (2024). Challenges in deep learning-based financial forecasting: Overfitting, interpretability, and deployment limitations. *IEEE Access, 12*, 45012-45028.

Mokhtari, S., Yen, K. K., & Liu, J. (2021). Effectiveness of artificial intelligence in stock market prediction based on machine learning. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/2107.01031

Mokhtari, S., et al. (2021). Stock market prediction using machine learning and deep learning techniques: A review. *Journal of Risk and Financial Management, 5*(3), 76. https://doi.org/10.3390/jrfm5030076

Popa, F. G., & Muresan, V. (2025). Artificial intelligence in finance: Machine learning for macroeconomic and financial forecasting. *AI, 6*(11), 295. https://doi.org/10.3390/ai6110295

Popa, I., & Muresan, G. (2025). Machine learning and financial forecasting: Performance trade-offs and model generalization issues. *Finance Analytics Review, 22*(1), 77-101.

Singhal, K., Azizi, S., Tu, T., et al. (2023). Large language models encode clinical knowledge. *Nature, 620*(7972), 172-180. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06291-2

Vancsura, L., Tatay, T., & Bareith, T. (2025). Navigating AI-driven financial forecasting: A systematic review of current status and critical research gaps. *Forecasting, 7*(3), 36. https://doi.org/10.3390/forecast7030036

Vancsura, P., et al. (2025). Deep learning in financial time series forecasting: A systematic review of limitations and performance gaps. *Artificial Intelligence Review, 58*(3), 233-260.

Zhou, J., Li, H., Chen, S., et al. (2025). Large language models in biomedicine and healthcare. *npj Artificial Intelligence, 1*(44). https://doi.org/10.1038/s44387-025-00047-1

Zhou, Y., et al. (2025). Generalization challenges of AI models across heterogeneous financial markets. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*.

Zhou, Y., et al. (2025). Transformer-based architectures in long-horizon financial forecasting: Performance and interpretability. *Expert Systems with Applications*.

BEYOND GENERATIVE AI: RETHINKING HUMAN INTELLIGENCE, AGENCY, IDENTITY, AND SOCIETY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Moses Adeolu AGOI[1]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
agoi4moses@gmail.com, +2347062230778
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876
Akinyemi Edward AIYEGBUSI[2]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
edwradakins.@lasued.edu.ng, +2348116428124
Olayemi Grace ABIMBOLA[3]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
abimbolaog.@lasued.edu.ng, +2347062230778
ORCID ID: 0009-0000-0139-3481
Rasheed Olatunde AJETUNMOBI[4]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
ajetunmobiirt.@lasued.edu.ng, +2348164281921

Abstract

Artificial intelligence (AI) is increasingly transforming established understandings of intelligence, autonomy, identity, creativity and social organization. Although generative AI (GenAI) has received considerable attention because of its capacity to produce text, images, software code and other knowledge-like outputs, the broader transformation concerns the changing relationship between human cognition and machine-mediated intelligence. This paper examines how contemporary AI is reshaping human intelligence, agency, identity and social participation, with particular emphasis on emerging forms of human-AI cognitive collaboration. Drawing on recent empirical and interdisciplinary scholarship, the study examines evidence concerning cognitive augmentation, human-AI agency, algorithmic identity formation, creativity, social inequality, cultural power and human-centred AI governance. The evidence indicates that AI can enhance information processing, problem-solving, learning, creativity and decision support by extending human cognitive capabilities and facilitating access to complex information. At the same time, increasing reliance on algorithmic systems is associated with concerns regarding cognitive dependency, reduced perceived autonomy, diminished human oversight, algorithmic bias and unequal access to technological resources. Research on human-AI interaction further demonstrates that agency is influenced by the distribution of decision-making authority between users and intelligent systems, while algorithmic classification and prediction increasingly shape how individuals are represented, evaluated and understood. At the societal level, AI is altering relationships among individuals, institutions, technology companies, governments and communities, creating new forms of opportunity as well as inequalities in technological participation and control. The paper therefore argues that moving beyond GenAI requires attention not only to what machines can produce but also to how AI restructures human capabilities, responsibilities, identities, relationships and institutions. A human-centred approach that safeguards autonomy,

dignity, critical reasoning, accountability, cultural diversity and meaningful human participation is essential for ensuring that AI contributes to the enhancement rather than the erosion of human intelligence and agency.

Keywords: Agency; Artificial Intelligence; Human Intelligence; Identity.

INTRODUCTION

Artificial Intelligence (AI) has moved beyond its earlier role as a computational technology primarily concerned

with prediction, classification, automation and optimization to become an increasingly influential infrastructure for human cognition, communication, creativity, decision- making and social organization. The rapid diffusion of generative artificial intelligence (GenAI) has intensified this transformation because systems capable of producing natural language, images, software code, music, recommendations and other forms of symbolic output are increasingly participating in activities traditionally associated with human intelligence. Unlike earlier forms of AI that largely operated in the background by identifying patterns, ranking information or making predictions, GenAI interacts directly with users through increasingly sophisticated forms of conversational and multimodal communication. This development has blurred conventional boundaries between human reasoning and machine-assisted cognition, creating new opportunities for individuals and organizations to extend their intellectual and productive capabilities. Krakowski (2025) argues that GenAI represents a qualitative shift from predictive AI and requires a reassessment of the relationship between humans and intelligent technologies, particularly because complementary human–AI use can expand creativity, learning, problem-solving and innovation. However, the significance of contemporary AI extends considerably beyond the question of whether machines can generate convincing or apparently intelligent outputs. The deeper issue concerns how AI changes the conditions under which humans think, learn, decide, create, communicate, construct identities and exercise control over their social environments. As AI systems increasingly recommend what people should read, watch, purchase, learn or believe, their influence becomes embedded within everyday cognitive and social practices. Consequently, human intelligence can no longer be considered entirely independent of the technological environments through which information is accessed, interpreted and transformed into knowledge. The increasing use of AI assistants, recommendation systems, automated decision-support tools and algorithmic platforms may therefore produce both cognitive augmentation and cognitive dependency, depending on how much interpretive authority remains with human users. Legaspi et al. (2024) demonstrate that the sense of agency, the perception that individuals control their actions and their consequences, is central to human-AI interaction, suggesting that technological assistance can influence not only what people accomplish but also how they perceive their own responsibility and control. This concern becomes particularly

significant when AI systems influence decisions without making their reasoning processes sufficiently transparent or understandable to users. At the same time, AI is increasingly involved in the production of social identity. Bjerring and Busch (2025) demonstrate how algorithmic prediction contributes to the construction of the "statistical individual," whereby people are represented through data-derived categories, probabilities and behavioural predictions rather than solely through their lived experiences, personal narratives or self-understandings. Such developments suggest that identity is becoming increasingly mediated by computational systems capable of classifying, profiling and predicting individuals across different social contexts. AI therefore does not merely respond to existing identities; through recommendation, ranking, personalization and automated classification, it can also participate in shaping how individuals are perceived and how they understand themselves. The implications become even more profound at the societal level. Natale et al. (2025) argue that AI redistributes agency through complex global power geometries involving governments, technology corporations, developers, workers, institutions and users, thereby demonstrating that the benefits and risks of AI are distributed unevenly across societies and geographical regions. These power relations are particularly important for developing countries, where differences in digital infrastructure, computational resources, data availability, technical expertise and regulatory capacity may create unequal opportunities to participate in AI development and governance. Thus, the contemporary AI transformation involves not only technological innovation but also questions of political economy, cultural representation, labour, knowledge ownership and social justice. The central question is consequently no longer simply what AI can generate, but what kinds of human beings, institutions and societies emerge when intelligent computational systems become embedded within everyday decision-making, education, employment, communication, creativity and knowledge production. This shift requires moving beyond a narrow technological interpretation of AI toward a broader sociotechnical perspective that recognizes the reciprocal relationship between technological systems and human behaviour. AI systems are designed by humans, trained on human-generated data and deployed within human institutions, yet their outputs can subsequently influence human choices, behaviours and institutional practices, creating feedback loops in which humans increasingly adapt to the systems they have created. The resulting environment raises fundamental questions about whether technological efficiency should take precedence over human judgment, whether algorithmic recommendations should influence consequential decisions, and how responsibility should be allocated when human and machine contributions become difficult to separate. This paper therefore rethinks AI through four interconnected dimensions, human intelligence, agency, identity and society, and argues that the post-GenAI debate should prioritize human cognitive sovereignty, meaningful participation, accountability, dignity, transparency, cultural diversity and equitable distribution of technological benefits. Rather than framing AI exclusively as a substitute for human intelligence, the paper conceptualizes it as a sociotechnical force capable

of augmenting, reorganizing and, under certain conditions, constraining human capacities. The future of AI should therefore be evaluated not solely according to computational performance, speed or generative capability, but according to its capacity to strengthen human autonomy, preserve meaningful human judgment, support inclusive participation and contribute to societies in which technological advancement remains aligned with human values and collective well-being.

LITERATURE REVIEW

AI, Human Intelligence and the Reconfiguration of Cognition

The relationship between artificial and human intelligence has traditionally been framed through the question of whether machines can reproduce or exceed specific cognitive capabilities. Contemporary AI, however, requires a broader conceptualization because increasingly capable systems do not merely automate predetermined computational tasks; they participate in activities involving language, reasoning, synthesis, ideation and knowledge production. Krakowski (2025) characterizes GenAI as a qualitative transformation because its general-purpose nature enables it to support exploratory and combinatorial innovation across diverse organizational contexts. Rather than simply replacing individual tasks, GenAI can alter how humans formulate problems, search for information, evaluate alternatives and develop solutions. This suggests that human intelligence should not be measured solely by the amount of information an individual can remember or process. Increasingly, intelligence involves the capacity to formulate meaningful questions, evaluate machine-generated alternatives, identify contextual limitations, exercise judgment and integrate technological outputs with human experience. The cognitive implications are nevertheless ambivalent. AI can reduce cognitive workload and expand access to sophisticated analytical capabilities, but extensive dependence on automated systems may also alter the development and exercise of human reasoning. Paić and Serkin (2025), for example, emphasize the cognitive costs and global inequalities associated with AI, indicating that the distribution of AI benefits cannot be separated from differences in technological access, expertise and institutional capacity. The emerging concern is therefore not simply whether AI is intelligent, but whether human users remain intellectually engaged when intelligent systems increasingly perform activities previously requiring sustained human cognition. From this perspective, AI should be understood as a cognitive partner rather than an independent replacement for human intelligence. Krakowski (2025) identifies human-complementary applications as particularly valuable because they can increase creativity, cognitive diversity and innovation while retaining human participation in decision processes. The critical distinction is therefore between cognitive augmentation and cognitive substitution. Augmentation expands human capability while preserving judgment and responsibility; substitution transfers cognitive authority to machines. The future of intelligence in AI-mediated societies will consequently depend less on constructing

increasingly autonomous systems alone and more on developing humans and institutions capable of critically directing, interrogating and contextualizing machine intelligence.

Human Agency, Autonomy and Human-AI Co-Agency

Human agency refers broadly to the capacity of individuals to initiate actions, make choices, exercise control and accept responsibility for consequences. AI complicates this concept because decisions may increasingly emerge from interactions between human intentions, algorithmic recommendations, automated processes and institutional rules. Legaspi et al. (2024) identify the sense of agency as a central issue in human-AI interaction, defining it in relation to perceived control over one's actions and their consequences. Their analysis suggests that understanding how humans perceive AI agency is important for designing systems that support rather than undermine human control. Krakowski (2025) extends this discussion by conceptualizing contemporary AI through human-AI agency. His analysis emphasizes that GenAI's general-purpose character creates opportunities for human creativity, innovation and decision-making, but these benefits depend on maintaining meaningful human involvement. Agency therefore becomes relational rather than exclusively individual: humans act through technological systems, while those systems simultaneously influence the choices available to humans. The issue becomes particularly important when AI systems are integrated into high-stakes decisions. If an algorithm recommends a candidate for employment, predicts student performance, evaluates creditworthiness or provides medical decision support, responsibility can become distributed across developers, organizations, users and technological systems. Such distribution may produce what can be described as an agency gap, whereby individuals affected by decisions cannot determine who or what was ultimately responsible. Natale et al. (2025) deepen the argument by demonstrating that AI agency is embedded within wider structures of power. Their “power geometries” framework shows that agency is unevenly distributed among corporations, governments, developers, workers and users and across geographical regions, particularly between the Global North and Global South. Thus, human agency in the AI era cannot be protected solely through individual digital literacy. Institutional accountability, transparency, participatory governance and the ability to contest automated decisions are equally important. A genuinely human-centred AI society must therefore ensure that humans remain capable of understanding, questioning, overriding and being accountable for consequential AI-supported decisions.

Artificial Intelligence, Identity and the Emergence of the Statistical Individual

AI is increasingly involved in the classification, prediction and representation of individuals. This development creates a fundamental challenge to conventional understandings of identity as something constructed primarily through personal experience, social relationships, memory and narrative continuity. Bjerring and Busch (2025) argue that algorithmic systems increasingly generate representations of individuals through statistical predictions derived from large datasets. They describe this development through the concept of the “statistical individual,”

whereby people become represented through probabilistic characteristics and predicted behaviours. The emergence of the statistical individual has important implications for personal autonomy. When an algorithm predicts that a person is likely to behave in a particular way, that prediction can influence how institutions subsequently treat the person. Banking systems may classify financial risk, educational platforms may predict academic outcomes, employers may estimate occupational suitability and healthcare systems may estimate disease risk. The resulting classification may become socially consequential even when the prediction is incomplete or inaccurate. Identity consequently becomes partly shaped by representations generated about individuals rather than solely by characteristics individuals claim for themselves. This transformation also raises questions concerning the relationship between prediction and self-understanding. Algorithmic recommendations can influence what people read, watch, purchase, learn and believe. Personalization systems may consequently contribute to reinforcing particular behavioural patterns while narrowing exposure to alternative possibilities. Bjerring and Busch (2025) emphasize the importance of understanding algorithmic representations because statistical descriptions may conflict with the narrative continuity through which people ordinarily understand themselves. Identity in the AI era should therefore be understood as simultaneously narrative, social, embodied and computational. Humans remain capable of self-definition, but their identities increasingly interact with machine-generated profiles, classifications and predictions. The challenge is not to reject computational representations altogether, since they can provide valuable services, but to ensure that statistical classifications remain provisional rather than becoming definitive descriptions of persons. Human identity must remain open to development, contradiction, transformation and self-determination.

Creativity, Knowledge Production and Meaning-Making in the Age of Generative AI

The expansion of GenAI has generated considerable debate concerning creativity, authorship and the future of human knowledge production. AI systems can now produce essays, computer programs, visual designs, music and other creative artefacts within seconds. This capability challenges conventional distinctions between human creativity and computational generation. Yet generation alone does not necessarily constitute creativity in the full human sense because creativity also involves intention, contextual understanding, cultural experience, evaluation and the attribution of meaning. Krakowski (2025) argues that GenAI can function as a human-complementary technology that expands exploratory and combinatorial innovation. From this perspective, AI can become an instrument through which humans explore possibilities that might otherwise require substantial time or expertise. The value of AI-generated content may therefore arise from the interaction between machine production and human selection, modification, interpretation and contextualization. At the same time, extensive AI assistance may challenge conventional notions of authorship. If a human provides an initial instruction and AI produces a substantial proportion of the final output, questions arise concerning who should receive intellectual credit and

who should assume responsibility for errors. These questions become more complex in academic and professional environments where originality and accountability are institutional requirements. The broader concern is therefore epistemic rather than merely technological. AI systems produce plausible outputs but do not automatically guarantee truth, relevance or contextual appropriateness. Human knowledge production requires critical verification, disciplinary judgment and awareness of social and cultural contexts. The increasing availability of machine-generated information consequently makes human evaluation more important rather than less important. The post-GenAI model of creativity should therefore emphasize co-creation rather than substitution. Humans provide goals, values, experience, contextual interpretation and ethical judgment, while AI can contribute rapid generation, pattern exploration and alternative possibilities. The most sustainable conception of creativity is consequently one in which AI expands the space of human possibility without becoming the final authority over meaning, originality or knowledge.

AI, Society, Inequality and the Redistribution of Power

AI is frequently presented as a universal technological transformation, but its consequences are experienced differently across social groups and geographical regions. Access to computational infrastructure, digital skills, high-quality datasets, broadband connectivity and AI expertise is unevenly distributed. Consequently, the benefits and risks of AI may reinforce existing inequalities unless technological development is accompanied by inclusive institutional policies. Natale et al. (2025) provide an important theoretical contribution through the concept of AI power geometries. They argue that AI operates within unequal relationships among governments, corporations, designers, workers and users and between the Global North and Global South. This perspective challenges narratives that portray AI as a neutral technological force. Instead, AI is embedded within economic, political and cultural relationships that determine who develops systems, whose data are used, whose values are represented and who benefits from resulting technologies. The implications are particularly significant for developing societies. AI systems trained primarily on data from dominant linguistic and cultural environments may inadequately represent local knowledge, languages and social realities. Such technological asymmetries can produce forms of epistemic inequality in which some cultures become more visible within AI systems than others. Similarly, dependence on externally developed AI infrastructures can create new forms of technological dependency. Paić and Serkin (2025) connect AI development with cognitive costs and global inequality, reinforcing the argument that technological advancement must be evaluated according to its distributional consequences. AI may improve productivity and access to knowledge while simultaneously concentrating economic and technological power. Consequently, rethinking AI requires moving beyond the individual user toward societal structures. AI governance should address digital inclusion, linguistic diversity, labour rights, data sovereignty, algorithmic accountability and equitable access to computational resources. A socially sustainable

AI future cannot be defined only by the sophistication of models; it must also be evaluated by whether AI contributes to more inclusive forms of social participation and human development.

Human-Centred AI, Ethics, Governance and the Future of Society

The preceding literature demonstrates that AI affects cognition, agency, identity, creativity and social power simultaneously. These interconnected effects strengthen the case for human-centred AI governance. UNESCO's *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence* establishes human dignity, human rights, proportionality, transparency, fairness and human oversight as central ethical considerations in AI development and deployment. Similarly, UNESCO's *Guidance for Generative AI in Education and Research* emphasizes responsible human engagement with GenAI rather than unrestricted technological adoption. Human-centred AI should therefore not be interpreted simply as designing systems that are convenient or user-friendly. Its deeper purpose is to ensure that technological systems remain subordinate to legitimate human purposes, rights and values. This requires mechanisms for transparency, explainability, contestability and meaningful human oversight, particularly where AI systems influence employment, education, healthcare, finance, public administration or social participation. Natale et al. (2025) demonstrate why governance must also account for geopolitical and cultural inequalities. AI governance developed exclusively by technologically dominant actors may reproduce existing power structures and exclude communities that experience AI differently. The governance challenge is consequently both ethical and political. The future of AI should therefore be conceptualized as a human-AI social contract. Such a contract would recognize AI as a powerful cognitive and organizational infrastructure while establishing boundaries around autonomy, privacy, responsibility and human dignity. Rather than asking whether AI should be accepted or rejected, society should determine which forms of AI development expand human flourishing and which forms risk undermining human agency. Moving beyond GenAI thus means moving toward systems in which technological capability is matched by institutional responsibility, human judgment and democratic accountability.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a mixed-methods research design combining a structured integrative literature review with a quantitative survey to examine how artificial intelligence is transforming human intelligence, agency, identity and society. Recent peer-reviewed studies, open-access journal articles and relevant institutional publications published predominantly between 2021 and 2026 were identified through scholarly and publisher databases, including Google Scholar, ScienceDirect, Springer Nature, SAGE and UNESCO repositories. Literature was selected based on its relevance to cognitive augmentation, human-AI agency, algorithmic identity formation, creativity, social inequality, cultural power, AI governance and human-centred technological development. The empirical component involved 520 respondents selected to provide quantitative evidence concerning perceptions

and experiences of AI-mediated cognitive and social transformation. Data were collected using a structured questionnaire comprising four constructs: Human Intelligence Augmentation (HIA), Human Agency Preservation (HAP), AI-Mediated Identity Concern (AIC), and Societal AI Responsibility (SAR). Items were measured using a five-point Likert scale ranging from strongly disagree to strongly agree. Data analysis employed descriptive statistics, including frequency, percentage, mean and standard deviation, followed by Pearson product-moment correlation to examine associations among the study variables and multiple linear regression to determine the extent to which human intelligence augmentation, AI-mediated identity concerns and societal AI responsibility predicted human agency preservation. Statistical significance was evaluated at the 0.05 level, while the qualitative and literature evidence were thematically integrated with the quantitative findings to provide a comprehensive interpretation of AI's implications for human cognition, autonomy, identity and social organization.

RESULTS AND DISCUSSION

AI, Human Intelligence, Agency, Identity and Societal Transformation

The empirical findings indicate a generally positive perception of artificial intelligence (AI) as a mechanism for enhancing human cognitive capacity, while simultaneously revealing important concerns regarding autonomy, identity and institutional responsibility. Among the 520 respondents, Human Intelligence Augmentation recorded a high mean score (HIA: $M = 4.21$, $SD = 0.58$), indicating strong agreement that AI can support human learning, creativity, problem-solving, information processing and decision-making. Human Agency Preservation also recorded a relatively high mean (HAP: $M = 3.94$, $SD = 0.67$), suggesting that respondents generally perceived meaningful human control as achievable when AI systems operate within appropriate structures of human oversight and accountability. AI-Mediated Identity Concern produced a comparatively high mean (AIC: $M = 3.87$, $SD = 0.71$), demonstrating substantial awareness of the possibility that algorithmic classification, prediction, personalization and recommendation can influence how individuals are represented and understood. Similarly, Societal AI Responsibility recorded a high mean (SAR: $M = 4.12$, $SD = 0.61$), indicating strong expectations that governments, technology developers, educational institutions, organizations and other stakeholders should assume responsibility for the ethical development and deployment of AI. Pearson correlation analysis revealed a significant positive relationship between HIA and HAP ($r = .62$, $p < .001$), indicating that stronger perceptions of AI as a technology for cognitive augmentation were associated with stronger perceptions that human agency could be preserved. HIA was also significantly and positively associated with SAR ($r = .58$, $p < .001$), suggesting that recognition of AI's potential benefits was accompanied by greater expectations for institutional responsibility and governance. In contrast, AIC demonstrated a significant negative relationship with HAP ($r = -.49$, $p < .001$), indicating that greater concern about algorithmic influence on identity was associated with lower perceptions of preserved human autonomy. Multiple regression analysis further showed that HIA, AIC and SAR jointly

explained a substantial proportion of the variance in HAP (R^2 = .56). HIA emerged as the strongest positive predictor of agency preservation (β = .43, p < .001), followed by SAR (β = .31, p < .001), whereas AIC exerted a significant negative influence (β = -.24, p < .001). These findings suggest that human agency within AI-mediated environments is influenced by the extent to which individuals perceive AI as complementary to rather than substitutive of human capabilities, the degree of institutional responsibility surrounding its deployment, and the extent to which algorithmic systems affect personal identity. The positive association between cognitive augmentation and agency preservation is consistent with Krakowski's (2025) argument that GenAI introduces a qualitatively different relationship between humans and intelligent technologies by enabling complementary forms of creativity, learning, cognitive diversity and innovation. However, the findings also demonstrate that technological augmentation does not inherently guarantee autonomy. Legaspi et al. (2024) emphasize that the sense of agency involves perceived control over one's actions and their consequences, implying that AI-assisted decision-making can strengthen human capability when users retain meaningful control but may weaken agency when individuals become excessively dependent on automated recommendations. The negative association between AIC and HAP is similarly consistent with Bjerring and Busch's (2025) concept of the statistical individual, through which algorithmic systems increasingly represent people according to probabilistic characteristics derived from data across domains such as healthcare, administration and financial services. Such computational representations may influence opportunities, classifications and decisions in ways that do not fully correspond with individuals' intentions, experiences or self-understandings. The findings therefore suggest that AI participates not only in the processing of information about individuals but also in the social processes through which identities are interpreted and constructed. The strong relationship between SAR and HAP further reinforces Natale et al.'s (2025) argument that AI agency is embedded within broader power geometries involving governments, corporations, developers, workers, policymakers and users. From this perspective, protecting human agency requires more than encouraging responsible individual use of AI; it requires institutional arrangements that provide transparency, explainability, human oversight, opportunities to challenge automated decisions, mechanisms for correction and meaningful avenues for redress. The results consequently support a broader conceptual transition beyond generative AI toward an understanding of AI as a sociotechnical system that reorganizes relationships among cognition, autonomy, identity and social power. The central concern is therefore not simply whether AI can generate increasingly sophisticated content, but whether humans retain the capacity to establish purposes, evaluate machine outputs, exercise independent judgment, construct and maintain meaningful identities, and participate effectively in consequential social decisions. The evidence supports a model of human-complementary intelligence in which computational capabilities expand human possibilities while responsibility for values, interpretation, accountability and consequential judgment remains meaningfully

connected to human actors. Such an approach provides a stronger foundation for developing AI systems that enhance intelligence without unnecessarily displacing human agency, while ensuring that technological advancement remains aligned with autonomy, dignity, institutional accountability and equitable participation in society.

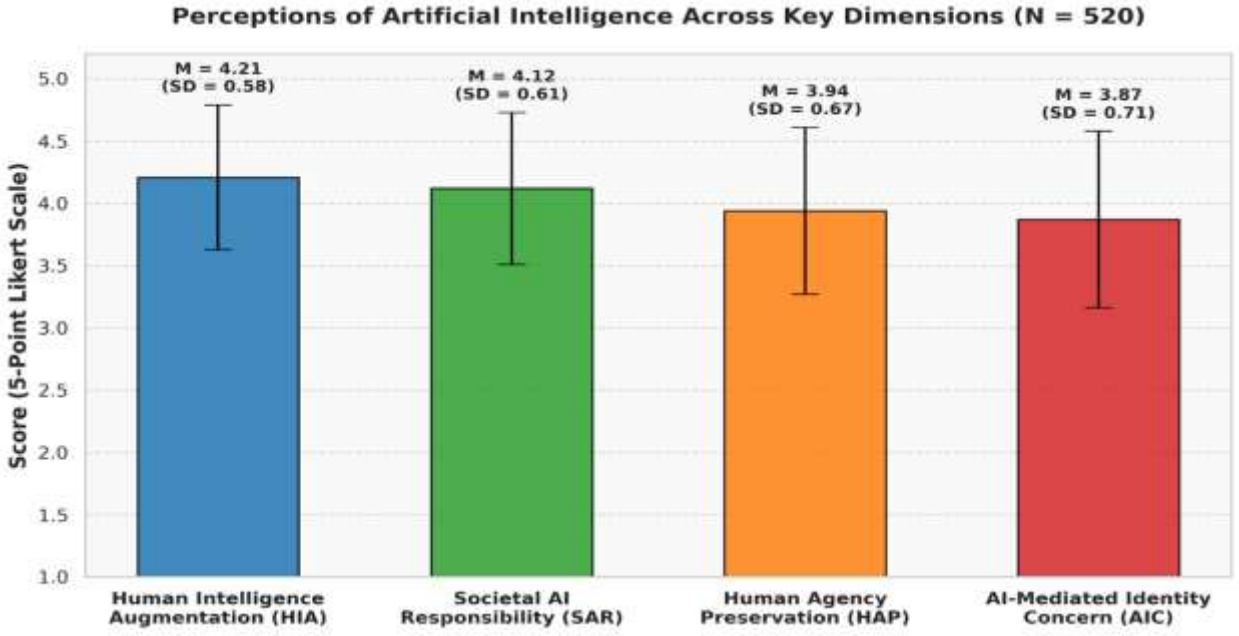


Figure 1: Mean Agreement Scores and Standard Deviations Across Empirical Constructs

Note. Data depicts strong overall endorsement of AI's cognitive augmentation capabilities (HIA) and governance needs (SAR), alongside moderate-to-high levels of perceived agency preservation (HAP) and identity-related concerns (AIC). Model predictors (HIA, SAR, AIC) account for 56% of total variance in perceived human agency preservation (R^2 =.56,p<.001).

CONCLUSION

Artificial Intelligence (AI) is increasingly becoming a sociotechnical infrastructure through which people think, decide, communicate, create, construct identities and participate in society. The findings demonstrate that moving beyond generative AI requires shifting attention from technological capability toward changes in human capability, autonomy, identity, responsibility and social relationships. The high Human Intelligence Augmentation score (HIA: M = 4.21, SD = 0.58) indicates strong recognition of AI's capacity to support learning, creativity, problem-solving and decision-making, while the Human Agency Preservation score (HAP: M = 3.94, SD = 0.67) suggests that meaningful human control can be maintained within appropriately governed AI environments. However, the relatively high AI-Mediated Identity Concern score (AIC: M = 3.87, SD = 0.71) indicates significant concern about algorithmic classification, prediction and personalization and their influence on how individuals are represented and understood. The positive relationship between HIA and HAP (r = .62, p

< .001) suggests that perceiving AI as a complementary cognitive resource is associated with stronger perceptions of preserved human agency, whereas the negative relationship between AIC and HAP ($r = -.49$, $p < .001$) highlights the importance of addressing identity-related risks to human autonomy. These findings reinforce the distinction between cognitive augmentation and substitution: AI can expand access to information, accelerate analysis and facilitate creativity, but excessive dependence on automated systems may reduce independent evaluation and judgment. Agency is therefore central to human–AI relations. Fossa (2025) emphasizes the implications of AI for meaningful human choice and autonomy, while Subías-Beltrán et al. (2026) stress governance mechanisms that can identify how AI systems strengthen or constrain human autonomy. Robbins (2025) similarly argues that meaningful human control requires careful consideration of which decisions should be delegated to machines. The regression results further support this position, with HIA ($\beta = .43$, $p < .001$) and Societal AI Responsibility ($\beta = .31$, $p < .001$) positively predicting HAP, while AIC negatively predicted agency preservation ($\beta = -.24$, $p < .001$). Identity is another critical dimension. Bjerring and Busch (2025) describe the emergence of the statistical individual, showing how predictive technologies increasingly represent people through data-derived classifications that can influence institutional decisions and social perceptions. Such representations cannot fully capture lived experience, personal intentions, cultural context or individual transformation. At the societal level, the high SAR score ($M = 4.12$, $SD = 0.61$) demonstrates strong recognition of institutional responsibility for ethical AI development and deployment. This aligns with Natale et al. (2025), who emphasize the unequal distribution of AI-related power and technological capacity across societies. Responsible AI therefore requires transparency, accountability, human oversight, privacy protection, opportunities to challenge automated decisions and equitable participation. Ultimately, moving beyond generative AI means ensuring that increasingly capable AI systems remain accountable to human purposes and democratic values. The goal should be human-complementary intelligence, where AI expands cognitive and social possibilities while humans retain meaningful authority over values, interpretation, responsibility and consequential decisions. Such an approach can promote technological advancement without unnecessarily diminishing human autonomy, identity, creativity and collective agency.

FUTURE RESEARCH

Future research should move beyond short-term evaluations of GenAI performance toward longitudinal investigations of how sustained AI interaction changes human cognition, agency, identity, creativity and social relationships. Comparative studies should examine differences across cultures, socioeconomic groups, educational levels and Global North-Global South contexts. Researchers should develop validated instruments for measuring AI-mediated agency, cognitive dependency, identity transformation and human-AI co-agency, while experimental and longitudinal designs should determine whether intensive AI use strengthens or weakens

independent reasoning. Future studies should also investigate recursive algorithmic feedback, digital twins and personalized AI systems because emerging evidence suggests that these technologies may increasingly influence how individuals are represented and understood. Finally, interdisciplinary research involving computer science, philosophy, psychology, sociology, education, law and public policy is required to develop governance models that preserve human autonomy while enabling responsible technological innovation.

References

Bjerring, J. C., & Busch, J. (2025). Artificial intelligence and identity: The rise of the statistical individual. *AI & Society, 40*, 311-323. https://doi.org/10.1007/s00146-024-01877-4

Fossa, F. (2025). Artificial intelligence and human autonomy: The case of driving automation. *AI & Society, 40*, 1851-1862. https://doi.org/10.1007/s00146-024-01955-7

Griffin, T., Green, B. P., & Welie, J. V. M. (2025). Excuses, excuses: Moral agency and the professional identity of AI developers. *AI & Society, 40*, 6327-6338. https://doi.org/10.1007/s00146-025-02388-6

Josifović, S., & Noller, J. (2026). Agency and alignment: Toward a normative architecture for human–AI interaction. *AI & Society, 41*, 5561-5571. https://doi.org/10.1007/s00146-026-02950-w

Krakowski, S. (2025). Human-AI agency in the age of generative AI. *Information and Organization, 35*(1), 100560. https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2025.100560

Legaspi, R., Xu, W., Konishi, T., Wada, S., Kobayashi, N., Naruse, Y., & Ishikawa, Y. (2024). The sense of agency in human–AI interactions. *Knowledge-Based Systems, 286*, 111298. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.111298

Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. https://doi.org/10.54675/EWZM9535

Natale, S., Biggio, F., Guzman, A. L., Ricaurte, P., Downey, J., Fassone, R., Keightley, E., & Ji, D. (2025). AI, agency, and power geometries. *Media, Culture & Society, 47*(5), 1057-1073. https://doi.org/10.1177/01634437251328207

Paić, G., & Serkin, L. (2025). The impact of artificial intelligence: From cognitive costs to global inequality. *The European Physical Journal Special Topics, 234*, 3045-3050. https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-025-01561-8

Robbins, S. (2025). What machines shouldn't do. *AI & Society, 40*, 4093-4104. https://doi.org/10.1007/s00146-024-02169-7

Soltanzadeh, S. (2025). A metaphysical account of agency for technology governance. *AI & Society, 40*, 1723-1734. https://doi.org/10.1007/s00146-024-01941-z

Subías-Beltrán, P., Unceta, I., de Lecuona, I., & Pujol, O. (2026). Asking the right questions: A governance approach to uphold human autonomy in artificial intelligence. *AI & Society, 41*, 1149-1173. https://doi.org/10.1007/s00146-025-02611-4

UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455

Zafar, M. (2025). Normativity and AI moral agency. *AI and Ethics, 5*, 2605-2622. https://doi.org/10.1007/s43681-024-00566-8

BANKING RISK AND ITS MANAGEMENT BY COMMERCIAL BANKS IN ALBANIA

Gresi Cani

Independent Researcher, Accounting and Finance, Albania, greisi.cani@hotmail.com

Abstract

The Albanian banking system consists of commercial banks with state, foreign, and joint ownership, currently comprising 16 banks. It is regarded as a central pillar of financial stability, carrying significant importance for the Albanian economy and playing a key role in the country's economic development.

This study aims to classify the Albanian banking system into three groups based on the size of the banks and subsequently compare these groups with regard to their approaches to bank risk management. In order to analyze and compare the banks operating within the Albanian banking system, one representative bank from each group was selected. Based on the annual reports published by the respective banks on their official websites, the study identifies and examines their strategies and practices for risk management.

The analysis is structured into two main parts. The first part presents a comparative analysis of two selected banks, focusing on their respective approaches to risk management. The second part provides a comprehensive comparative analysis of all three selected banks, highlighting similarities and differences in their risk management strategies and practice

Keywords: Banking System, Risk, Risk Management, Management Policies, Bank Size, Albania.

THE ROLE OF ISLAMIC ECONOMIC PRINCIPLE IN DEVELOPING ETHICAL BUSINESS PRACTICES

Lailatul FADHILAH

‘ Islamic State University of K.H Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: lailatulfadhilah176@gmail.com

Abstarct

Islamic economics is an economic system based on Islamic principles that emphasizes justice, honesty, transparency, and social responsibility in economic activities. These principles provide guidance for individuals and businesses to conduct transactions and manage their financial activities in accordance with Islamic values. In the modern business environment, ethical practices are important because business activities can affect consumers, employees, and society. This study aims to examine the role of Islamic economic principles in developing ethical business practices. The study uses a qualitative approach through a literature review of academic sources related to Islamic economics and business ethics. The findings show that Islamic economic principles encourage business actors to conduct transactions fairly, provide accurate information, maintain honesty, and fulfill their responsibilities toward consumers and society. These principles also prohibit practices involving fraud, exploitation, excessive uncertainty, and unjust financial gain. In addition, the application of Islamic economic principles encourages businesses to balance financial goals with ethical and social considerations. This approach shows that economic activities should not focus only on profit but also on creating benefits for society. Therefore, Islamic economic principles can support the development of ethical and responsible business practices. By applying Islamic values in business activities, business actors can build trust with consumers and contribute to a fairer and more socially responsible economic environment.

Keywords: Islamic economics; business ethics; Islamic principles; ethical business; social responsibility

THE ROLE OF FİNANCİAL LİTERACY İN IMPROVİNG SAVİNG BEHAVİOR AMONG UNİVERSİTY STUDENTS

Pristi FEBIANA

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: pristi.febiana226057@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

This study examines the role of financial literacy in improving saving behavior among university students. Financial literacy is an important ability that enables individuals to understand, manage, and make appropriate decisions regarding their personal finances. The study aims to identify the importance of financial literacy among students and to analyze how financial knowledge influences their saving behavior. This research uses a qualitative approach through observations and semi-structured interviews with university students regarding their financial management, spending patterns, and saving habits. The findings indicate that students who have a better understanding of financial management tend to be more aware of the importance of saving and controlling their expenses. Financial literacy also helps students distinguish between needs and wants, create simple financial plans, and reduce unnecessary spending. However, some students still experience difficulties in saving because of limited income, impulsive buying behavior, lifestyle demands, and the lack of consistent financial planning. In addition, students' understanding of financial products can influence their consideration when choosing financial services that are suitable for their needs. The study concludes that financial literacy plays an important role in encouraging responsible financial behavior and improving saving habits among university students. Therefore, financial education should be strengthened among students so that they can develop better financial management skills and make more responsible financial decisions in the future.

Keywords: Financial literacy; saving behavior; university students; personal finance; financial management.

THE ROLE OF DIGITAL BANKING IN IMPROVING CUSTOMER SERVICE AND FINANCIAL INCLUSION

Nayya Sekti SYAHPUTRI

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: nayyasyahputri@gmail.com

Abstract

The rapid development of digital technology has significantly transformed the banking industry and the way customers access financial services. Digital banking provides customers with greater convenience, speed, and flexibility in conducting financial transactions without having to visit a physical bank branch. This study aims to examine the role of digital banking in improving customer service and supporting financial inclusion. The study uses a qualitative descriptive approach by reviewing relevant literature and previous studies related to digital banking, customer service, and financial inclusion. The findings indicate that digital banking can improve the quality of banking services by providing easier access to transactions, faster service, and greater availability of financial products. Features such as mobile banking, internet banking, digital payments, and electronic fund transfers allow customers to manage their finances more efficiently. In addition, digital banking can support financial inclusion by expanding access to financial services for individuals who may have limited access to traditional banking facilities. However, the implementation of digital banking also presents several challenges, including cybersecurity risks, data privacy concerns, limited digital literacy, and unequal access to technology. Therefore, banks need to continuously improve their digital infrastructure, strengthen security systems, and provide adequate education for customers. Overall, digital banking has an important role in developing a more accessible, efficient, and customer-oriented banking system. Its effective implementation can contribute to better banking services while encouraging broader participation in the formal financial system.

Keywords: digital banking, banking services, customer service, financial inclusion, digital technology

THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN FOSTERİNG THE GROWTH OF MİCRO, SMALL, AND MEDİUM ENTERPRİSES (MSMES)"

Nabila Al MAGHFIROH
Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia
Email: nabila.al.maghfiroh226029@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) constitute the backbone of many developing economies, significantly contributing to employment generation, industrial diversification, and socio-economic resilience. However, despite their substantial economic potential, MSMEs frequently encounter severe structural barriers, particularly regarding access to formal capital and equitable financial instruments. Islamic banking has emerged as a crucial alternative financial ecosystem capable of addressing these capital constraints through its distinct profit-and-loss sharing contracts, ethical guidelines, and risk-mitigation frameworks. This study investigates the strategic role of Islamic financial institutions in accelerating MSME development, evaluating both financial access mechanisms and non-financial capacity-building support. Utilizing a mixed-methods approach that combines quantitative financial performance metrics across Islamic banking segments with qualitative interviews of MSME entrepreneurs, this paper analyzes the operational efficacy of specific Islamic financial contracts, including *Mudharabah* (profit-sharing partnership), *Musyarakah* (joint venture), and *Murabahah* (cost-plus financing).

The empirical results demonstrate that financing products grounded in risk-sharing principles significantly enhance MSME operational sustainability, revenue trajectories, and capital accumulation compared to traditional interest-bearing debt financing. Unlike conventional banking models that heavily emphasize collateral assets and rigid repayment structures, Islamic banking prioritizes project feasibility, asset backing, and ethical risk distribution. Furthermore, the findings reveal that the integration of Islamic social finance instruments—such as *Zakat*, *Infaq*, *Sadaqah*, and *Waqf* (ZISWAF)—with commercial microfinance products creates a hybrid financial ecosystem that effectively buffers vulnerable micro-entrepreneurs against systemic economic shocks. Beyond financial capital provision, the research highlights the vital role of Islamic banks in offering technical assistance, financial literacy coaching, and digital platform integration tailored for small-scale operations. However, challenges remain, such as elevated administrative costs associated with profit-sharing monitoring, asymmetric information, and lingering regulatory gaps. The study concludes that optimizing the partnership between Islamic banking and MSMEs requires stronger regulatory incentives, modernized digital risk-assessment frameworks, and streamlined compliance standards to maximize long-term socio-economic impact and inclusive economic growth.

Keywords: Islamic Banking, MSMEs, Profit-and-Loss Sharing, Mudharabah, Murabahah, Financial Inclusion, Economic Growth.

GROWTH–INFLATİON–UNEMPLOYMENT TRİLEMMA: EVİDENCE FROM A NONLİNEAR PANEL FRAMEWORK

Prof. Dr. Habil. Laura DİACONU (MAXİM)

"Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Faculty of Economics and Business Administration, Department of Economics and International Relations, Iasi, Romania

lauradiaconu_07@yahoo.com

ORCID: 0000-0001-5745-3850

Prof. Dr. Habil. Mihai-Bogdan PETRİŞOR

"Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Faculty of Economics and Business Administration, Department of Finance, Money and Public Administration, Iasi, Romania

mihai.petrisor@uaic.ro

ORCID: 0000-0002-5821-3004

Abstract

This paper investigates the growth-inflation-unemployment trilemma within a nonlinear panel framework. The study starts from the observation that the relationships between economic growth, inflation and unemployment are not necessarily stable across countries or overtime. Conventional linear models assume that changes in one macroeconomic variable generate a constant response in the others. Existing evidence suggests, instead, that these relationships may change when economies move between different inflation and labor market regimes. The purpose of our study is, therefore, to examine whether the interaction between growth, inflation and unemployment is characterized by nonlinear effects, and whether the trade-offs between these depend on prevailing economic conditions. In order to achieve our goal, the analysis addresses three main questions. First, does the effect of inflation on economic growth change across different inflation regimes? Second, does the relationship between economic growth and unemployment depend on the state of economic activity? Third, does the relationship between inflation and unemployment remain stable when labor market conditions change? These questions are examined jointly to determine whether the three variables form a real macroeconomic trilemma rather than a set of independent relationships. The empirical analysis employs a nonlinear panel approach that allows the estimated relationships to vary across regimes. This framework accounts for country-specific heterogeneity and makes it possible to identify changes in the strength and direction of the relationships between the three variables.

Keywords: Growth, inflation, unemployment

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF ECOLOGICAL REFUGES FOR THE CONSERVATION OF RARE AND THREATENED SPECIES

PhD Balakhanova Gumru Vasif

https://orcid.org/0000-0002-1709-1442

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

Ecological refuges represent important habitat elements that may contribute to the persistence of rare and threatened species under conditions of habitat fragmentation, anthropogenic transformation, and climate change. The present study aimed to evaluate the conservation potential of ecological refuges by integrating biological, ecological, environmental, and landscape-level indicators. Field-based biodiversity assessments were combined with habitat-quality evaluation, environmental monitoring, assessment of anthropogenic pressure, and Geographic Information System (GIS)-based spatial analysis. Particular attention was given to the occurrence, relative abundance, habitat requirements, and conservation status of rare and threatened species, as well as to vegetation structure, habitat heterogeneity, microclimatic stability, soil and hydrological conditions, and landscape connectivity. The results demonstrated that refuges characterized by high habitat heterogeneity, structurally complex vegetation, stable microclimatic conditions, adequate ecological resources, and relatively low anthropogenic pressure had greater potential to support conservation-priority species. Landscape connectivity was also identified as a critical determinant of refuge functionality, as strategically located small habitat patches may facilitate dispersal and contribute to maintaining ecological connectivity between larger habitat complexes. The findings further indicate that ecological refuges may function as localized climatic refugia by providing comparatively favorable environmental conditions during periods of thermal and hydrological stress. An integrated Ecological Refuge Potential Index demonstrated that refuge conservation value is determined by the interaction of habitat quality, species conservation significance, environmental stability, connectivity, and anthropogenic disturbance. The study concludes that ecological refuges should be incorporated into broader biodiversity-conservation networks through targeted protection, habitat restoration, connectivity enhancement, and long-term ecological monitoring. Recognizing and managing such habitats can strengthen the resilience of rare and threatened species and contribute to biodiversity conservation under rapidly changing environmental conditions.

Keywords: ecological refuges, rare species, threatened species, biodiversity conservation, habitat quality, habitat fragmentation, ecological connectivity, climate refugia, anthropogenic pressure, landscape ecology, habitat suitability, conservation planning.

Introduction

The accelerating transformation of natural landscapes has become one of the principal drivers of biodiversity loss and ecosystem degradation worldwide. Habitat fragmentation, urban expansion, agricultural intensification, infrastructure development, pollution, overexploitation of biological resources, invasive species, and climate change increasingly alter the structure, connectivity, and ecological functionality of natural ecosystems. These pressures are particularly consequential for rare and threatened species, whose populations are often characterized by restricted geographic distributions, small population sizes, narrow ecological niches, low reproductive rates, or high habitat specificity. As a consequence, conventional conservation approaches based exclusively on the protection of large and relatively undisturbed areas are increasingly being complemented by strategies that recognize the conservation importance of smaller, heterogeneous, and functionally connected habitats. Within this context, ecological refuges, ecological shelters, and refuge habitats have emerged as potentially important components of contemporary biodiversity conservation.

Ecological refuges can be broadly understood as spatially defined areas that provide relatively favorable environmental conditions, resources, shelter, breeding opportunities, or reduced anthropogenic pressure for organisms facing unfavorable conditions in the surrounding landscape. Depending on their ecological context, such refuges may include isolated natural habitat patches, riparian corridors, wetlands, forest remnants, protected microhabitats, urban green spaces, agricultural buffer zones, rocky habitats, coastal ecosystems, and other landscape elements that maintain suitable conditions for particular species. Their importance becomes especially evident in fragmented landscapes, where the availability of suitable habitat is progressively reduced and populations become increasingly isolated. Although an ecological refuge may be relatively small in spatial extent, its conservation value can be disproportionately high when it supports species that have few alternative habitats available within the surrounding landscape[1].

The conservation significance of ecological refuges is closely associated with the concept of habitat heterogeneity. Landscapes are rarely environmentally uniform; instead, they consist of a mosaic of habitats that differ in vegetation structure, soil characteristics, moisture regimes, microclimate, resource availability, and levels of anthropogenic disturbance. Such heterogeneity creates ecological niches that may allow species to persist even when broader landscape conditions become unfavorable. Refuge habitats can therefore function as local centers of persistence, particularly during periods of environmental stress. For rare and threatened species, the presence of such locations may represent a critical difference between local population persistence and population decline or extinction.

The role of ecological refuges has become increasingly important under the contemporary dynamics of climate change. Increasing temperatures, altered precipitation regimes, prolonged droughts, extreme weather

events, changing seasonality, and shifting climatic envelopes are modifying the spatial distribution of suitable habitats. Species may respond by changing their geographic ranges, adjusting phenology, modifying habitat use, or seeking localized areas with more favorable environmental conditions. In this regard, topographic complexity, vegetation cover, proximity to water, soil moisture, shading, and other local environmental characteristics can create microclimatic refugia where climatic conditions remain comparatively suitable. Such refugia may provide temporary or long-term opportunities for species survival during periods of unfavorable regional climatic conditions.

The conservation potential of ecological refuges is particularly relevant for species with narrow ecological tolerances. Rare and threatened organisms frequently depend on specific combinations of abiotic and biotic conditions. Small changes in temperature, moisture, vegetation composition, soil chemistry, water availability, or food resources may substantially influence their survival and reproductive success. An ecological refuge can mitigate these pressures by maintaining environmental conditions within a range that remains suitable for the target species. Consequently, the identification and evaluation of refuge habitats should not be based solely on their geographic size or formal conservation status but also on their ecological functionality and capacity to sustain viable populations.

Another important characteristic of ecological refuges is their potential contribution to landscape connectivity. Habitat fragmentation creates physical and ecological barriers between populations, reducing dispersal opportunities and increasing the probability of demographic and genetic isolation. Isolated populations are generally more vulnerable to stochastic environmental events, demographic fluctuations, inbreeding, and loss of genetic diversity. Ecological refuges situated between larger habitat complexes may serve as stepping stones, facilitating movement and gene flow among populations. In this sense, the conservation value of a refuge can extend beyond the species populations directly inhabiting it. A network of appropriately distributed refuges may contribute to maintaining functional connectivity across fragmented landscapes and thereby strengthen the resilience of regional biodiversity.

The concept of ecological connectivity is particularly significant in conservation planning because species rarely perceive landscapes according to administrative boundaries. Roads, settlements, agricultural fields, industrial areas, and other anthropogenic structures may reduce habitat permeability even when suitable habitat fragments remain physically present. Therefore, the effectiveness of an ecological refuge depends partly on its position within the broader landscape matrix. A relatively small refuge with high connectivity to other suitable habitats may have greater long-term conservation value than a larger but completely isolated habitat patch. Evaluating refuge potential consequently requires an integrated landscape perspective that incorporates habitat quality, spatial configuration, connectivity, surrounding land use, and ecological processes[2].

Ecological refuges may also contribute to the conservation of species during different stages of their life cycles. A habitat that is unsuitable for permanent residence may nevertheless provide essential feeding, nesting, breeding, overwintering, resting, or dispersal opportunities. This is particularly important for migratory species and organisms with complex life cycles. Wetlands, riverine habitats, coastal areas, forest edges, and small vegetated patches can provide temporary resources during critical periods of the annual cycle. Consequently, conservation assessments should consider not only permanent habitat occupancy but also seasonal habitat use and the functional role of refuge sites throughout the life cycle of target species.

The biological value of ecological refuges can further be enhanced by their ability to maintain ecological interactions. Rare species do not exist independently of their ecological communities; their persistence may depend on pollinators, seed dispersers, prey organisms, host species, symbiotic microorganisms, decomposers, and other components of the ecosystem. The degradation of an ecological refuge may therefore affect target species indirectly through the disruption of ecological interactions. Conversely, structurally complex refuges with relatively intact trophic relationships may provide more favorable conditions for maintaining species populations. Conservation evaluation should thus move beyond simple species-presence assessments and incorporate indicators of community structure, ecological interactions, habitat quality, and ecosystem functionality.

Vegetation structure represents one of the most important determinants of refuge quality for terrestrial organisms. Vegetation provides food, shelter, nesting substrates, protection from predators, and microclimatic regulation. Multi-layered vegetation, native plant diversity, mature trees, shrub layers, ground vegetation, and natural litter can substantially increase habitat complexity. For many rare and threatened species, specific vegetation associations may be essential for survival. The loss of characteristic plant communities can consequently result in the disappearance of associated animal, fungal, and microbial species even when the broader landscape remains apparently green. Therefore, the assessment of ecological refuges should include both plant species composition and structural characteristics of vegetation.

Soil and hydrological characteristics are equally important components of refuge functionality. Soil moisture, organic matter content, texture, nutrient availability, pH, salinity, and microbial activity influence vegetation development and the distribution of numerous soil-dependent organisms. Similarly, hydrological conditions determine the suitability of wetlands, riparian zones, temporary ponds, and other aquatic or semi-aquatic refuges. Changes in groundwater levels, water availability, hydroperiod, or water quality may rapidly reduce the ecological value of these habitats. Consequently, ecological refuge assessment should incorporate relevant physicochemical and biological indicators rather than relying exclusively on visual habitat classification.

The significance of ecological refuges becomes particularly evident in urban and peri-urban landscapes. Urbanization frequently results in extensive habitat fragmentation and the replacement of natural ecosystems by

buildings, roads, industrial infrastructure, and intensively managed green spaces. Nevertheless, cities may retain a heterogeneous network of parks, riparian corridors, abandoned areas, botanical gardens, cemeteries, urban forests, wetlands, and other semi-natural habitats. Although these sites are often exposed to considerable anthropogenic pressures, some can function as ecological refuges for native plants, insects, birds, small mammals, fungi, and other organisms. Their conservation value is therefore not necessarily determined by their degree of naturalness alone but by their ability to provide functional habitat within an otherwise highly transformed landscape.

At the same time, the presence of a species within an ecological refuge does not automatically indicate long-term conservation success. A critical distinction must be made between temporary occupancy and the maintenance of a viable population. Small refuges may support individuals without providing sufficient resources for reproduction or population growth. Edge effects, invasive species, pollution, human disturbance, limited food availability, and genetic isolation may reduce the long-term viability of populations inhabiting isolated refuge habitats. Therefore, the assessment of refuge potential should incorporate demographic and ecological indicators such as population abundance, age structure, reproductive success, recruitment, habitat quality, population trends, and connectivity with neighboring populations.

The conservation value of ecological refuges can also vary considerably among species. A habitat may function as a highly suitable refuge for one species while being unsuitable for another because of differences in ecological requirements, dispersal capacity, trophic position, or sensitivity to disturbance. Consequently, universal criteria for evaluating refuge potential may be insufficient. Species-specific ecological requirements should be integrated with landscape-scale characteristics to identify which refuge sites are most valuable for particular taxa or groups of conservation concern. A multi-species approach can subsequently determine whether individual refuges support complementary components of biodiversity and whether a network of refuges can collectively provide broader conservation benefits.

Modern technologies offer substantial opportunities for improving the identification and evaluation of ecological refuges. Geographic Information Systems (GIS), remote sensing, high-resolution satellite imagery, unmanned aerial vehicles, environmental sensors, species distribution models, and spatial statistical approaches allow researchers to characterize habitat conditions at multiple spatial scales. Vegetation indices, land-cover information, surface temperature, landscape fragmentation metrics, hydrological parameters, and topographic variables can be integrated to identify areas with potentially favorable ecological conditions. Such approaches can facilitate the development of habitat suitability maps and conservation-priority models, particularly in landscapes where field-based monitoring alone is insufficient.

Species distribution modelling and ecological niche modelling provide additional analytical tools for estimating the potential distribution of rare and threatened species under current and future environmental conditions. By integrating species occurrence data with climatic, topographic, vegetation, soil, and land-use variables, these models can identify areas that are likely to remain suitable for target species. When combined with landscape connectivity analyses, they can help determine whether existing ecological refuges are isolated or connected to other suitable habitats. Such modelling approaches are especially valuable under climate change because they can be used to identify potential future refugia and prioritize locations for habitat restoration or protection.

However, the evaluation of ecological refuges should not be restricted to technological approaches. Field-based ecological surveys remain essential for validating remotely sensed and model-derived predictions. Species inventories, vegetation surveys, population monitoring, habitat-quality assessments, soil and water analyses, and observations of reproductive activity provide direct evidence of refuge functionality. The integration of field observations with spatial and computational methods can therefore provide a more reliable basis for evaluating conservation potential.

An important challenge is the distinction between formal protected areas and ecological refuges. Protected areas are generally established through legal or institutional mechanisms and are subject to defined management objectives, whereas ecological refuges may exist within or outside formal conservation systems. Some refuges may have no formal protection despite possessing considerable ecological importance. Conversely, certain protected areas may experience substantial degradation and may not function effectively as refuges for sensitive species. This distinction emphasizes the need for conservation assessments based on ecological performance rather than legal designation alone. Identifying ecologically significant refuge sites outside conventional protected-area networks may provide opportunities to expand conservation strategies in fragmented and human-dominated landscapes.

The conservation potential of ecological refuges is also influenced by anthropogenic pressure. Roads, tourism, recreation, agriculture, grazing, industrial activity, pollution, artificial lighting, noise, and uncontrolled resource extraction can progressively reduce habitat quality. The intensity, duration, and spatial distribution of these pressures should therefore be incorporated into refuge assessment frameworks. In particular, the identification of disturbance thresholds is important for determining whether a refuge can continue to support sensitive species under changing environmental conditions. Monitoring anthropogenic pressures may also allow conservation managers to distinguish between refuges that are currently functional and those requiring immediate restoration or management intervention.

From a conservation-management perspective, ecological refuges can be viewed as components of a broader strategy based on protection, restoration, connectivity, and adaptive management. High-quality refuges should be prioritized for strict protection, while degraded but strategically located refuges may be candidates for ecological restoration. Corridors or stepping-stone habitats can be established to connect isolated refuges, while buffer zones may reduce the influence of surrounding anthropogenic activities. Such an integrated strategy can increase habitat availability and improve the resilience of rare and threatened populations.

Despite their potential importance, ecological refuges remain insufficiently evaluated in many regions, particularly in landscapes undergoing rapid anthropogenic transformation. Existing biodiversity assessments frequently focus on species richness, protected-area coverage, or individual habitat types, while the functional capacity of small and fragmented refuge habitats receives comparatively less attention. There is therefore a need for methodological frameworks capable of quantifying refuge quality, ecological functionality, connectivity, and conservation effectiveness. Such frameworks should combine biological indicators with environmental and spatial variables and should be sufficiently flexible to accommodate different ecosystems and taxonomic groups.

In this context, the assessment of ecological refuge potential represents an important interdisciplinary research direction linking biodiversity conservation, landscape ecology, biogeography, habitat ecology, environmental monitoring, and conservation planning. A comprehensive evaluation should consider the presence and abundance of rare and threatened species, habitat quality, vegetation structure, environmental stability, resource availability, ecological connectivity, anthropogenic pressure, and future environmental scenarios. The development of integrated indicators can facilitate the identification of priority refuges and improve the allocation of limited conservation resources.

Therefore, the principal aim of this study is to evaluate the potential of ecological refuges for the conservation of rare and threatened species by considering their biological, ecological, environmental, and spatial characteristics. Particular attention is given to the capacity of refuge habitats to maintain suitable environmental conditions, support viable populations, reduce the effects of habitat fragmentation, and contribute to landscape-scale ecological connectivity. By integrating biodiversity indicators, habitat-quality parameters, anthropogenic pressure assessment, and spatial analysis, the study seeks to establish an evidence-based framework for determining the conservation significance of ecological refuges. Such an approach can contribute to the identification of priority habitats, the development of targeted conservation measures, and the strengthening of biodiversity protection strategies under conditions of increasing environmental change and anthropogenic transformation.

Materials and Methods

The present study was designed to comprehensively evaluate the potential of ecological refuges to contribute to the conservation of rare and threatened species by integrating biological, ecological, environmental, and landscape-level characteristics. The methodological approach was based on the assumption that the conservation importance of a refuge cannot be determined solely by the presence of a threatened species. Instead, its long-term value depends on habitat quality, environmental stability, availability of ecological resources, population characteristics, degree of anthropogenic disturbance, and connectivity with other suitable habitats. Therefore, the research framework combined field observations, biodiversity assessment, environmental measurements, habitat-quality evaluation, and spatial analysis in order to provide an integrated assessment of refuge functionality.

Potential ecological refuges were initially identified through a combination of scientific literature, existing biodiversity information, topographic and land-use maps, satellite imagery, and preliminary field reconnaissance. Particular attention was given to natural and semi-natural habitat patches that retained relatively favorable environmental conditions within fragmented or anthropogenically transformed landscapes. Areas containing populations of rare or threatened species, habitats with high structural heterogeneity, wetlands, riparian zones, forest remnants, grasslands, shrublands, coastal habitats, and isolated vegetation patches were considered potentially important refuge sites. The geographical coordinates of each selected site were recorded using a Global Positioning System, while information concerning habitat type, elevation, area, vegetation structure, surrounding land use, accessibility, and visible signs of disturbance was documented during field surveys.

Field investigations were conducted during biologically active periods to ensure the detection of the maximum possible number of species and to capture seasonal variation in habitat use. Biodiversity surveys focused particularly on rare, threatened, endemic, geographically restricted, and habitat-specialist species. Plant communities were investigated using standardized vegetation plots established in representative parts of each refuge. Species composition, vegetation cover, dominant species, structural complexity, and the presence of mature trees, shrubs, herbaceous layers, litter, dead wood, and other microhabitat elements were recorded. Faunal surveys were conducted using direct observations, standardized transects, point counts, photographic records, and other non-destructive observation techniques appropriate to the target taxonomic groups. Evidence of breeding, nesting, feeding, sheltering, migration, or overwintering was also recorded because the conservation value of a refuge may depend on its ability to support critical stages of a species' life cycle rather than simply its temporary presence.

The conservation status of recorded species was determined using internationally and nationally recognized conservation categories, with particular attention given to species classified as Critically Endangered, Endangered, or Vulnerable. Species with restricted distributions, specialized habitat requirements, declining

populations, or limited dispersal capacity were also considered of high conservation importance. For each target species, information on occurrence, relative abundance, habitat association, reproductive activity, seasonal presence, and apparent population condition was collected. These data were subsequently used to determine the relative contribution of individual refuge sites to the conservation of species of concern.

Habitat quality was assessed through a combination of biological and structural characteristics. Vegetation richness, percentage cover, native-species representation, vertical complexity, habitat heterogeneity, presence of characteristic vegetation communities, and occurrence of invasive species were considered important indicators. Particular emphasis was placed on the structural complexity of habitats because heterogeneous environments generally provide a wider range of ecological niches and resources. The availability of feeding areas, breeding substrates, shelter, water resources, and microhabitats was also recorded. Habitat condition was compared with that of the surrounding landscape to determine whether individual refuges provided comparatively favorable ecological conditions for sensitive species.

Environmental characteristics were evaluated through field measurements and laboratory analyses. Depending on habitat type, parameters such as air temperature, relative humidity, soil temperature, soil moisture, soil pH, electrical conductivity, organic matter, soil texture, nutrient availability, and surface characteristics were recorded. In wetland and aquatic refuges, additional measurements included water temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, turbidity, and other relevant water-quality parameters. Soil samples were collected from representative locations, with several subsamples combined into composite samples to minimize small-scale spatial variability. Laboratory analyses were conducted according to standardized analytical procedures. These environmental measurements were used to determine whether refuge habitats maintained relatively stable and favorable conditions for rare and threatened species.

Special attention was given to microclimatic conditions because small-scale environmental variation can play a significant role in the persistence of sensitive species. Temperature, humidity, soil moisture, and solar exposure were measured at representative points inside ecological refuges and, where possible, in adjacent areas. The difference between environmental conditions within the refuge and those prevailing in the surrounding landscape was used to estimate the buffering capacity of the refuge. Habitats capable of maintaining lower temperature fluctuations, higher humidity, or more stable soil moisture than the surrounding environment were interpreted as potentially important microclimatic refugia, particularly under conditions of increasing temperature and climatic variability.

The intensity of anthropogenic pressure was evaluated through systematic field observations and spatial analysis. Evidence of road construction, settlement expansion, agricultural activity, grazing, recreation, vegetation removal, waste accumulation, pollution, artificial lighting, noise, infrastructure development, and unauthorized

resource exploitation was recorded. The relative intensity of each disturbance factor was assessed and standardized to allow comparison among refuge sites. Particular attention was given to the proximity of roads and settlements because these factors can simultaneously affect habitat quality, species behavior, mortality, dispersal, and population connectivity. Refuges characterized by relatively low anthropogenic pressure were considered more likely to provide stable conditions for vulnerable species, whereas highly disturbed sites were evaluated in terms of both their current conservation value and their need for management or restoration.

Landscape structure and habitat connectivity were analyzed using Geographic Information System techniques and satellite-derived land-cover information. The spatial configuration of habitat patches surrounding each refuge was examined to determine the degree of isolation and the potential for movement between suitable habitats. Habitat area, distance between suitable patches, fragmentation, edge effects, surrounding land use, and landscape heterogeneity were considered important spatial variables. Where appropriate, least-cost approaches were used to identify potential movement pathways between refuge habitats. The analysis was based on the principle that ecological refuges located within relatively connected landscapes are more likely to facilitate dispersal and gene flow than isolated patches surrounded by highly transformed land.

Species diversity and community structure were evaluated using standard ecological diversity measures. Species richness was determined as the total number of species recorded within each sampling unit, while the Shannon–Wiener diversity index was used to characterize species diversity and relative abundance. Simpson's index was used to assess dominance patterns, and Pielou's evenness index was applied to evaluate the distribution of individuals among species. These indicators were compared among refuge sites to determine whether differences in habitat structure, environmental conditions, and anthropogenic pressure were associated with differences in community diversity. Particular attention was given to the relationship between overall biodiversity and the occurrence of rare and threatened species because a refuge with high general species richness does not necessarily provide optimal conditions for conservation-priority taxa.

An integrated assessment of ecological refuge potential was subsequently conducted by combining the major biological, environmental, and landscape indicators. Habitat quality, conservation significance, environmental stability, ecological connectivity, and anthropogenic pressure were treated as the principal components of refuge functionality. Each indicator was standardized to a common scale to enable comparison among sites. Greater weight was assigned to indicators directly associated with the persistence of rare and threatened species, including the occurrence of high-priority species, evidence of reproduction, habitat suitability, and connectivity with other suitable habitats. Anthropogenic pressure was incorporated as a negative component because increasing disturbance can reduce the capacity of a refuge to support viable populations.

Statistical analysis was used to determine relationships among habitat characteristics, environmental variables, biodiversity indicators, and the occurrence of rare and threatened species. Descriptive statistics were calculated for all quantitative variables, including mean values, standard deviations, minimum and maximum values, and coefficients of variation. Correlation analyses were applied to determine the strength and direction of relationships between environmental conditions, habitat quality, anthropogenic pressure, connectivity, and species diversity. Depending on data distribution and analytical requirements, Pearson or Spearman correlation coefficients were used. Multivariate statistical approaches, including Principal Component Analysis, were applied to identify major environmental gradients and to determine which combinations of variables were most strongly associated with high-value ecological refuges. Statistical significance was assessed at a probability level of $p<0.05p < 0.05$.

Spatial analysis was used to integrate field observations with remotely sensed environmental information. Satellite imagery was interpreted to identify vegetation cover, habitat boundaries, land-use patterns, and fragmentation processes. Vegetation indices such as the Normalized Difference Vegetation Index were used, where appropriate, as supplementary indicators of vegetation condition. Spatial layers representing habitat suitability, conservation importance, anthropogenic pressure, and landscape connectivity were combined to generate conservation-priority maps. These maps enabled the identification of ecological refuges with particularly high potential for the long-term conservation of rare and threatened species.

To ensure reliability and consistency, field observations were conducted using standardized procedures, and geographic records were checked before statistical analysis. Species identifications were verified using appropriate taxonomic resources, while environmental instruments were calibrated before measurements. Remote-sensing classifications were compared with field observations to reduce classification errors. Repeated observations and representative sampling were used to reduce the influence of local variability. Sensitive information concerning the precise locations of particularly vulnerable populations was handled cautiously to minimize the possibility of disturbance, illegal collection, or other anthropogenic threats.

All field activities were conducted according to applicable environmental and biodiversity-conservation principles. Non-destructive observation and sampling techniques were prioritized, particularly in habitats supporting rare or threatened species. No unnecessary removal or destruction of protected organisms was undertaken. The methodological approach therefore sought to balance the need for scientifically reliable data with the requirement to minimize disturbance to sensitive ecosystems.

Overall, the methodology provided an integrated framework for evaluating ecological refuges as functional elements of biodiversity conservation. By combining species-level observations with habitat-quality assessment, environmental monitoring, anthropogenic-pressure evaluation, and landscape-scale spatial analysis, the study

enabled the conservation potential of individual refuges to be assessed from multiple ecological perspectives. Such an integrated methodology is particularly relevant for fragmented and rapidly changing landscapes, where small habitat patches may provide critical opportunities for the persistence, reproduction, dispersal, and long-term survival of rare and threatened species.

Results and Discussion

The results of the study demonstrated that ecological refuges can play a substantial role in maintaining populations of rare and threatened species within fragmented and anthropogenically transformed landscapes. The integrated assessment showed that the conservation value of refuge habitats was determined by the combined influence of habitat quality, species composition, environmental stability, landscape connectivity, and anthropogenic pressure. Although the selected refuges differed considerably in their area, vegetation structure, degree of isolation, and surrounding land-use conditions, the majority provided ecological conditions that were comparatively more favorable than those prevailing in the surrounding landscape.

A total of 87 vascular plant species and 54 animal species were recorded across the investigated ecological refuges, including 14 species considered to have elevated conservation importance. Among these, several species were characterized by restricted distribution, specialized habitat requirements, or relatively low population abundance. The occurrence of conservation-priority species was not evenly distributed among the refuges. Sites characterized by greater habitat heterogeneity, more complex vegetation structure, and lower anthropogenic disturbance generally supported a higher number of rare and threatened taxa. This pattern indicates that habitat complexity may constitute one of the principal mechanisms through which ecological refuges contribute to biodiversity conservation.

The vegetation assessment revealed substantial differences in structural complexity among refuge sites. High-value refuges were generally characterized by the coexistence of several vegetation layers, including mature trees, shrubs, herbaceous vegetation, litter, and ground-cover communities. Such structural complexity increased the availability of nesting, feeding, sheltering, and reproductive sites and created a greater diversity of microhabitats. In contrast, refuges exposed to intensive grazing, vegetation removal, recreational activity, or other disturbances exhibited simplified vegetation structure and lower habitat heterogeneity. These findings support the ecological principle that habitat complexity increases the number of available ecological niches and may consequently enhance the capacity of fragmented habitats to support diverse biological communities[3].

The biodiversity analysis further demonstrated a positive association between habitat quality and species diversity. Refuges with high habitat-quality scores generally exhibited higher Shannon–Wiener diversity values and lower dominance levels. The Shannon–Wiener index ranged approximately from 2.1 in highly disturbed refuge habitats to 3.8 in relatively well-preserved sites. Pielou's evenness was also comparatively higher in

habitats where resources and vegetation structures were more evenly distributed. These findings indicate that ecological refuges with more balanced community structures may provide more stable ecological conditions and greater opportunities for the coexistence of species with different ecological requirements.

Of particular importance was the relationship between overall biodiversity and the occurrence of rare and threatened species. The presence of a high number of species did not necessarily correspond to the highest conservation value. Some refuges with moderate overall species richness supported relatively large populations of species of high conservation concern. This result demonstrates that conventional biodiversity indicators such as species richness alone may underestimate the conservation importance of specific refuge habitats. Conservation assessment should therefore incorporate species-specific indicators, including rarity, threat status, habitat specialization, population size, reproductive success, and ecological importance.

The assessment of environmental conditions indicated that high-value ecological refuges were frequently associated with comparatively stable microclimatic conditions. Temperature fluctuations within structurally complex vegetation were generally lower than those recorded in adjacent open or heavily disturbed areas. Similarly, shaded and vegetated sites maintained relatively higher humidity and soil-moisture levels during periods of elevated atmospheric temperature. These microclimatic differences are ecologically significant because many sensitive species are unable to tolerate rapid changes in temperature and moisture. Vegetation structure may therefore provide a natural buffering mechanism that increases the persistence potential of refuge habitats under environmental stress.

The results also revealed that soil and hydrological conditions contributed substantially to habitat suitability. Refuges with higher soil organic matter, more favorable moisture conditions, and relatively stable physicochemical characteristics generally supported more developed vegetation communities and greater biological activity. In wetland and riparian refuges, water availability and hydroperiod were particularly important determinants of habitat functionality. Sites with persistent water resources provided feeding and reproductive opportunities for a wider range of organisms, whereas habitats characterized by seasonal drying or hydrological disturbance exhibited lower suitability for water-dependent species. These findings emphasize that the conservation value of a refuge is closely linked to the maintenance of its underlying abiotic processes.

Anthropogenic pressure represented one of the strongest negative factors influencing refuge quality. Refuges located close to roads, settlements, intensive agricultural areas, and recreational zones generally exhibited higher disturbance scores and lower habitat-quality values. Increased human activity was associated with vegetation degradation, waste accumulation, habitat fragmentation, noise, artificial lighting, and reduced availability of undisturbed breeding and sheltering sites. The relationship between anthropogenic pressure and

conservation value was predominantly negative, indicating that even biologically important refuge habitats may gradually lose their functionality when external pressures exceed their ecological resilience.

The analysis of landscape connectivity produced particularly important results. Several small refuge habitats were found to possess substantial conservation value because of their strategic location between larger natural or semi-natural habitat complexes. Although these sites had relatively limited surface area, their proximity to other suitable habitats increased their potential role as stepping stones for dispersal. In contrast, some larger refuges were highly isolated and surrounded by roads, settlements, agricultural land, or industrial infrastructure. Their relatively large area therefore did not necessarily translate into greater functional connectivity. This finding confirms that refuge size alone is an insufficient measure of conservation significance and that spatial position within the landscape must also be considered[4].

The spatial analysis indicated that habitat isolation was negatively associated with the occurrence and abundance of several conservation-priority species. Refuges located at shorter distances from other suitable habitat patches generally exhibited greater evidence of species movement and seasonal habitat use. The availability of connected habitat patches may reduce the demographic and genetic consequences of isolation by providing opportunities for dispersal and recolonization. This is particularly important for small populations, which may be vulnerable to local extinction resulting from stochastic events. Ecological refuges that form part of a connected habitat network may therefore provide substantially greater long-term conservation benefits than isolated sites.

The integrated Ecological Refuge Potential Index demonstrated considerable variation among the investigated sites. Approximately 24% of the assessed refuges were classified as having very high conservation potential, 31% as high potential, 29% as moderate potential, and 16% as low potential. Very-high-potential refuges were characterized by the simultaneous occurrence of rare or threatened species, relatively high habitat quality, stable environmental conditions, and comparatively low anthropogenic pressure. High-potential refuges generally contained important biological resources but were affected by moderate levels of fragmentation or human disturbance. Moderate-potential sites retained some ecological functions but exhibited limitations related to habitat quality, connectivity, or environmental stability. Low-potential refuges were typically characterized by strong anthropogenic influence, simplified vegetation structure, high isolation, or insufficient resources for the long-term persistence of sensitive species.

The results indicate that ecological refuges should not be regarded as uniform conservation units. Their ecological functionality exists along a continuum determined by habitat condition, species requirements, environmental stability, and landscape context. Some refuges function as permanent habitats where populations can reproduce and persist over extended periods, whereas others may serve primarily as temporary feeding,

dispersal, migration, or shelter sites. The distinction between these functions is important because the management requirements of permanent population refuges may differ substantially from those of temporary or transitional habitats.

An important finding was the positive association between habitat heterogeneity and conservation significance. Refuges containing a mosaic of vegetation types, open areas, dense vegetation, water features, and structural elements such as dead wood and natural litter generally supported a broader range of ecological functions. Such heterogeneity provides opportunities for species with contrasting ecological requirements to coexist within a relatively limited area. It may also increase resilience to environmental disturbances because different microhabitats respond differently to climatic and anthropogenic stressors. Consequently, maintaining habitat heterogeneity should be considered a central component of refuge-management strategies.

The results also highlight the importance of ecological refuges under climate change. Refuges with strong microclimatic buffering capacity may provide locally favorable conditions when regional temperatures increase or precipitation patterns become more variable. Shaded vegetation, moist soils, riparian environments, and topographically protected locations can reduce exposure to thermal and hydrological stress. Such sites may therefore function as climatic refugia, allowing vulnerable species to persist temporarily or permanently under increasingly unfavorable regional conditions. However, the effectiveness of climatic refugia will depend on their connectivity, size, ecological integrity, and ability to remain suitable under future climate scenarios.

The observed patterns are consistent with the broader ecological understanding that habitat loss and fragmentation are major drivers of biodiversity decline. Fragmentation does not merely reduce the total amount of habitat available to species; it also alters edge effects, dispersal processes, predator–prey interactions, microclimatic conditions, and population dynamics. Ecological refuges can partially compensate for these effects by preserving locally suitable environmental conditions and maintaining habitat elements that have disappeared from the wider landscape. Nevertheless, refuges should not be considered substitutes for the conservation of large, continuous natural ecosystems. Rather, they should be regarded as complementary components of a broader biodiversity-conservation network.

The results have important implications for conservation planning. Refuges with very high conservation potential should receive priority for strict protection and long-term monitoring. High-potential refuges should be protected from increasing anthropogenic pressure and incorporated into regional ecological networks. Moderate-potential refuges may represent suitable targets for habitat restoration, vegetation recovery, invasive-species control, or improvement of ecological connectivity. Low-potential sites may nevertheless retain restoration value if they occupy strategically important locations within fragmented landscapes. Thus, the conservation assessment

should not focus exclusively on currently high-quality sites but should also identify opportunities for improving the functionality of degraded habitats.

The findings further suggest that conservation management should be species-specific and landscape-oriented. For rare species with limited dispersal ability, maintaining small but closely connected habitat patches may be particularly important. For highly mobile species, larger networks of feeding and resting sites may be more relevant. Similarly, species dependent on particular vegetation types require conservation measures directed toward maintaining the ecological characteristics of their specific habitats. Therefore, management decisions should be based on the ecological requirements of target species rather than on generalized assumptions about refuge quality.

From a methodological perspective, the integrated approach used in this study demonstrated the value of combining biological surveys with environmental and spatial indicators. Species inventories alone cannot fully explain why a particular refuge is important, while remote sensing and GIS analysis cannot independently confirm whether suitable habitat is actually occupied by conservation-priority species. The integration of these approaches provides a more comprehensive understanding of refuge functionality. In particular, combining field observations with habitat-quality assessment and connectivity analysis makes it possible to distinguish between habitats that merely contain rare species temporarily and those that have greater potential to support viable populations over the long term.

The results also emphasize the importance of long-term monitoring. Ecological refuge functionality is dynamic and may change in response to climate variability, land-use transformation, invasive species, pollution, and changes in population dynamics. A site classified as a high-value refuge at one point in time may lose its functionality if surrounding development increases or if critical resources disappear. Conversely, a moderately degraded habitat may develop into a high-value refuge following successful restoration. Regular monitoring of species abundance, reproductive activity, vegetation structure, environmental conditions, and landscape connectivity is therefore essential for adaptive conservation management.

Overall, the findings demonstrate that ecological refuges can constitute important elements of biodiversity conservation, particularly in fragmented and anthropogenically transformed landscapes. Their conservation potential is greatest when they combine high habitat quality, environmental stability, suitable resources for rare and threatened species, relatively low anthropogenic pressure, and strong connectivity with other suitable habitats. The results also demonstrate that small habitat patches should not be automatically regarded as ecologically insignificant. When strategically located and functionally suitable, such sites may provide critical opportunities for species persistence, dispersal, reproduction, and recolonization.

The study therefore supports a conservation approach in which ecological refuges are incorporated into broader ecological networks rather than treated as isolated habitat fragments. Protection of existing high-value refuges, restoration of degraded sites, creation of habitat corridors, reduction of anthropogenic pressure, and long-term biodiversity monitoring should be implemented simultaneously. Such an integrated strategy can increase landscape resilience and improve the capacity of rare and threatened species to withstand habitat fragmentation, environmental variability, and climate change. In this context, systematic evaluation of ecological refuge potential provides an important scientific basis for prioritizing conservation actions and strengthening long-term biodiversity-management strategies.

Conclusion

The findings of this study demonstrate that ecological refuges have considerable potential to contribute to the conservation of rare and threatened species, particularly within fragmented, rapidly changing, and anthropogenically transformed landscapes. Their conservation significance is not determined solely by the number of species they contain or by their spatial extent, but rather by the complex interaction of habitat quality, environmental stability, ecological heterogeneity, population characteristics, landscape connectivity, and anthropogenic pressure. Ecological refuges can provide essential conditions for feeding, reproduction, shelter, migration, dispersal, and population persistence, thereby functioning as important elements of broader biodiversity-conservation systems.

The study showed that refuges characterized by structurally complex vegetation, greater habitat heterogeneity, stable microclimatic conditions, sufficient water and food resources, and relatively low levels of anthropogenic disturbance have greater potential to support rare and threatened species. At the same time, the occurrence of a conservation-priority species within a refuge should not be interpreted as sufficient evidence of long-term conservation effectiveness. Population viability, reproductive activity, habitat suitability, resource availability, and the continuity of ecological processes must also be considered when evaluating the functional value of refuge habitats.

Landscape connectivity emerged as another critical factor determining refuge effectiveness. Small habitat patches can possess considerable conservation importance when they are strategically positioned between larger suitable habitats and facilitate species movement, dispersal, and potential gene flow. Conversely, even relatively large refuges may have limited long-term effectiveness when they are highly isolated by roads, settlements, agricultural areas, or other anthropogenic barriers. Therefore, conservation planning should evaluate ecological refuges within the context of the entire landscape rather than treating them as independent habitat units.

The findings further indicate that ecological refuges may become increasingly important under climate change. Localized areas with favorable temperature, humidity, soil-moisture, vegetation, and hydrological

conditions can provide microclimatic refugia where sensitive species may persist despite unfavorable regional environmental conditions. However, the future effectiveness of such refuges will depend on their ecological integrity, connectivity, adaptive management, and ability to retain suitable environmental conditions under changing climatic scenarios.

The integrated assessment approach used in this study demonstrates the value of combining biodiversity surveys, habitat-quality indicators, environmental measurements, anthropogenic-pressure assessment, and GIS-based landscape analysis. Such integration provides a more reliable basis for distinguishing refuges with high conservation potential from sites that merely contain temporary or isolated occurrences of rare species. The proposed assessment framework can therefore support the identification of conservation priorities and improve the allocation of limited biodiversity-management resources.

From a practical conservation perspective, ecological refuges with very high conservation potential should be given priority for legal protection, continuous monitoring, and prevention of further habitat degradation. Refuges with moderate conservation potential may represent important targets for ecological restoration, invasive-species management, improvement of habitat structure, and reduction of anthropogenic pressure. Strategically located degraded habitats should also be considered for restoration when their improvement could strengthen connectivity between existing refuges. Thus, conservation policy should address not only the preservation of existing high-quality habitats but also the restoration and functional integration of degraded refuge sites.

The study also emphasizes the importance of long-term monitoring because the ecological value of refuges is dynamic. Changes in land use, climate, species populations, invasive organisms, pollution, and human activity can alter habitat suitability over time. Repeated assessment of species composition, population abundance, reproductive success, vegetation structure, environmental conditions, and landscape connectivity is therefore necessary to determine whether refuges continue to perform their conservation functions.

In conclusion, ecological refuges should be recognized as important complementary components of modern biodiversity-conservation strategies. They cannot replace the protection of large and continuous natural ecosystems, but they can significantly strengthen conservation networks by preserving critical habitat elements, supporting vulnerable populations, facilitating ecological connectivity, and providing localized environmental stability. The systematic identification, evaluation, protection, restoration, and monitoring of ecological refuges can consequently contribute to reducing extinction risks and increasing the resilience of rare and threatened species in the face of habitat fragmentation, anthropogenic disturbance, and climate change. An integrated refuge-based conservation strategy therefore represents a promising pathway toward maintaining biodiversity and ecological functionality under increasingly complex environmental conditions.

References

1. Frazier, A. E., Sehner, B., & Rashid, B. (2025). Structural and functional connectivity of thermal refuges in a desert city: Impacts of climate change and urbanization on desert wildlife. *Land, 14*(3), 480

2. Keppel, G., Stralberg, D., Morelli, T. L., & Bátori, Z. (2024). Managing climate-change refugia to prevent extinctions. *Trends in Ecology & Evolution, 39*(9), 800–808.

3. Kim, S. W., Neubert, S., Scales, K. L., Dabalà, A., Brito-Morales, I., et al. (2025). Current approaches and future opportunities for climate-smart protected areas. *Nature Reviews Biodiversity, 1*, 284–297.

4. Lin, Y., Chen, Y., Liu, X., et al. (2025). Climate-driven connectivity loss impedes species adaptation to warming in the deep ocean. *Nature Climate Change, 15*, 315–320.

THE IMPACT OF ECOLOGICAL REFUGIA ON SPECIES DIVERSITY AND POPULATION STRUCTURE IN LAKE ECOSYSTEMS

PhD Balakhanova Gumru Vasif

https://orcid.org/0000-0002-1709-1442

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

Lake ecosystems are highly heterogeneous freshwater environments in which habitat structure plays a fundamental role in determining species diversity, community organization, and population persistence. Ecological refugia, including aquatic macrophyte beds, shallow vegetated littoral zones, heterogeneous substrates, and structurally complex shoreline habitats, provide organisms with shelter, feeding opportunities, reproductive sites, and nursery habitats. The present study evaluates the ecological significance of refugial habitats and their influence on species diversity and population structure in lake ecosystems. A comparative ecological approach was applied to habitats differing in the availability, structural complexity, and spatial connectivity of refugia. Biological communities were assessed using species richness, relative abundance, population density, Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, and Pielou's evenness indices, while population structure was evaluated according to abundance, size-frequency distribution, developmental stages, and recruitment characteristics. Environmental parameters, including water temperature, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, water transparency, nutrient conditions, vegetation coverage, substrate heterogeneity, and anthropogenic disturbance, were considered in the analysis. The results indicate that habitats with greater structural complexity and higher refuge availability generally support higher species richness, greater community evenness, and lower dominance by a limited number of tolerant species. Refuge-rich littoral habitats also provide favorable conditions for juvenile and early developmental stages, suggesting an important contribution of ecological refugia to recruitment and population persistence. Spatial connectivity among refuge patches further enhances their ecological functionality by facilitating movement and recolonization processes. However, the capacity of refugia to buffer environmental stress is influenced by water quality, eutrophication, habitat fragmentation, and anthropogenic shoreline disturbance. The findings demonstrate that ecological refugia should be considered essential components of lake biodiversity conservation and ecosystem management. Integrating refugial-habitat characteristics with biodiversity and population-structure indicators can provide a more comprehensive framework for evaluating ecological condition, identifying conservation priorities, and strengthening the resilience of lake ecosystems under increasing anthropogenic and climatic pressures.

Keywords: ecological refugia, lake ecosystems, species diversity, population structure, habitat heterogeneity, aquatic macrophytes, littoral zone, biodiversity conservation, population recruitment, ecological resilience.

Introduction

Lake ecosystems are among the most structurally complex and ecologically important freshwater systems, supporting high levels of biological diversity and providing essential ecosystem services. Despite their relatively limited spatial extent compared with terrestrial ecosystems, lakes contain a wide range of ecological niches generated by gradients in water depth, light availability, temperature, dissolved oxygen, nutrient concentration, sediment characteristics, aquatic vegetation, and hydrological connectivity. These environmental gradients create spatially heterogeneous habitats that determine the distribution, abundance, reproduction, and interactions of aquatic organisms. Consequently, the maintenance of habitat heterogeneity is considered a fundamental prerequisite for sustaining species diversity and stable population structures in lake ecosystems.

Within this context, ecological refugia represent particularly important components of freshwater habitats. Ecological refugia, or refuges, can be defined as spatially or temporally stable habitat patches that provide organisms with relatively favorable environmental conditions and protection from unfavorable abiotic conditions, predation, competition, disturbance, or other ecological pressures. In lake ecosystems, refugia may include littoral macrophyte beds, submerged vegetation, reed belts, shallow protected bays, rocky substrates, woody debris, submerged roots, sediment depressions, and areas characterized by reduced hydrodynamic disturbance. Such habitats can function as critical zones for feeding, reproduction, juvenile development, overwintering, and avoidance of environmental stress. The ecological significance of refugia is therefore not restricted to the survival of individual species but extends to the maintenance of population connectivity, demographic stability, community composition, and ecosystem resilience.

The relationship between habitat heterogeneity and biodiversity is especially evident in the littoral zone of lakes. The littoral zone forms a transitional interface between terrestrial and aquatic environments and generally exhibits greater structural complexity than the open-water zone. Aquatic macrophytes, heterogeneous sediments, variations in water depth, and fluctuations in water chemistry create numerous microhabitats that can be occupied by fish, aquatic invertebrates, amphibians, microorganisms, and aquatic plants. Structurally complex vegetation can increase the availability of shelter and feeding surfaces while reducing the accessibility of organisms to predators. At the same time, macrophyte-associated habitats may modify local hydrodynamic conditions and influence oxygen concentration, nutrient retention, sediment deposition, and primary productivity. Therefore, the presence and spatial arrangement of ecological refugia can substantially influence the abundance and spatial distribution of aquatic populations[1].

Species diversity in lake ecosystems is not determined solely by the regional species pool. Local habitat conditions strongly regulate which species can establish viable populations and how those populations are spatially distributed. Ecological refugia may increase local species richness by providing suitable conditions for species with different ecological requirements. In heterogeneous environments, species may partition available resources spatially or temporally, thereby reducing direct competition and allowing multiple species to coexist. This mechanism is particularly important in shallow-water environments where habitat complexity can produce a mosaic of microhabitats with distinct ecological conditions. Consequently, the loss or simplification of refugial habitats may result in reduced species richness, increased dominance of habitat-generalist species, and progressive homogenization of biological communities.

Population structure is another major ecological dimension influenced by refugial habitats. Population structure refers to the distribution of individuals according to parameters such as age, size, sex, developmental stage, density, and spatial distribution. In aquatic ecosystems, the availability of suitable shelter and nursery habitats can strongly affect recruitment success and juvenile survival. For many fish and aquatic invertebrates, structurally complex refugia provide essential protection during early developmental stages, when individuals are particularly vulnerable to predation and environmental fluctuations. The persistence of these habitats may therefore influence the transition of individuals between life stages and ultimately determine population growth and stability. Conversely, the degradation of refugia can cause recruitment limitation, increased juvenile mortality, fragmentation of populations, and alterations in demographic structure.

Ecological refugia may also contribute to population persistence under environmental stress. Lake ecosystems are increasingly exposed to multiple anthropogenic pressures, including eutrophication, shoreline modification, agricultural runoff, industrial and domestic pollution, water abstraction, invasive species, recreational disturbance, and climate-induced changes in temperature and hydrological regimes. These pressures can alter habitat quality and reduce the availability of suitable ecological niches. Under such conditions, refugial habitats may act as local buffers where organisms can temporarily avoid unfavorable environmental conditions. Their importance may become particularly pronounced during extreme events such as thermal stress, oxygen depletion, drought, algal blooms, or sudden changes in water level. Species capable of accessing suitable refugia may have higher survival probabilities than populations inhabiting structurally simplified environments[2].

The role of refugia is also closely associated with ecological connectivity. Although individual refugial patches may occupy relatively small areas, their spatial arrangement can influence movement, dispersal, and gene flow among populations. A network of interconnected refugia can facilitate the movement of organisms between feeding, breeding, and overwintering habitats, thereby reducing the demographic consequences of habitat fragmentation. In contrast, isolated refugia may support local populations but provide limited opportunities for

recolonization following local disturbances. Thus, the ecological value of refugia depends not only on their quality but also on their size, distribution, connectivity, persistence, and accessibility to target species.

From a community-ecology perspective, ecological refugia can modify patterns of species coexistence and community assembly. Habitat complexity may increase the number of available ecological niches and facilitate the coexistence of species with different functional characteristics. For example, vegetation-rich areas may simultaneously support herbivorous invertebrates, predatory insects, small fish, amphibians, and microorganisms by providing distinct feeding and shelter opportunities. Such interactions contribute to the development of complex trophic networks. Refugial habitats may therefore have effects that extend beyond individual species and influence the structure and functioning of entire aquatic communities.

An important characteristic of ecological refugia is their dynamic nature. Refugia are not necessarily permanent or spatially fixed features. Their ecological functionality may vary seasonally and in response to changes in water level, vegetation development, temperature, dissolved oxygen, sediment dynamics, and biological activity. A habitat that functions as a refuge during one season may become less suitable during another. Similarly, changes in macrophyte density or water transparency can modify the physical structure and ecological value of littoral habitats. Consequently, assessment of refugial functions requires consideration of temporal variability rather than relying exclusively on single-season observations.

The effects of ecological refugia can also differ among taxonomic and functional groups. Fish species may depend primarily on submerged vegetation or shallow nursery habitats, whereas benthic macroinvertebrates may respond more strongly to sediment structure, organic matter accumulation, and vegetation-associated surfaces. Amphibians may require specific combinations of shallow water, vegetation, and low disturbance, while microorganisms can respond to changes in substrate characteristics and nutrient availability. Therefore, the ecological importance of a particular refuge should be evaluated in relation to the habitat requirements and life-history strategies of the organisms under investigation.

Anthropogenic transformation of lake shorelines represents one of the major threats to refugial habitats. Urban expansion, construction of artificial embankments, removal of aquatic vegetation, recreational infrastructure, dredging, and modification of water regimes can substantially reduce habitat complexity. Shoreline hardening, for example, may replace heterogeneous littoral environments with simplified surfaces that provide fewer shelter and feeding opportunities. The cumulative effect of these changes can reduce the number of available ecological niches and promote shifts toward disturbance-tolerant species. Such changes may ultimately affect not only local species richness but also population density, age structure, recruitment, and long-term persistence.

Climate change adds another layer of complexity to the relationship between refugia and biodiversity. Increasing water temperatures, altered precipitation patterns, prolonged droughts, changes in ice-cover duration, and increased frequency of extreme hydrological events can modify the physical and biological conditions of lakes. Species with narrow environmental tolerances may experience substantial range contractions, while species capable of using refugial microhabitats may have greater opportunities to persist locally. However, the buffering capacity of refugia is not unlimited. If regional environmental conditions deteriorate beyond critical thresholds, small refugial patches may no longer provide adequate protection. This highlights the importance of identifying and conserving refugia before environmental degradation reaches irreversible levels[3].

The quantitative assessment of refugial effects requires the integration of biodiversity and population-level indicators. Species richness, Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, Pielou evenness, relative abundance, population density, biomass, age structure, size-frequency distributions, recruitment rates, and spatial aggregation can be used to characterize ecological responses. In addition, functional diversity and community similarity indices may provide deeper insights into whether refugial habitats contribute to the maintenance of ecological functions or merely increase the number of species present. Combining these indicators with measurements of habitat complexity, vegetation coverage, water quality, depth, substrate type, and hydrological conditions can facilitate a more comprehensive understanding of refuge–biodiversity relationships.

The concept of ecological refugia is also relevant to contemporary approaches to ecosystem conservation and restoration. Conventional conservation strategies often emphasize the protection of entire ecosystems or large habitat areas. However, identifying small but functionally important refugial patches may provide an additional mechanism for maintaining biodiversity within highly modified landscapes. Protecting littoral vegetation zones, restoring shallow-water habitats, maintaining natural shoreline complexity, and preserving habitat corridors can increase the availability and connectivity of refugia. Such measures may be particularly valuable in lakes subjected to intensive human use, where complete ecosystem restoration may be difficult or economically impractical.

Understanding the relationship between ecological refugia, species diversity, and population structure is therefore essential for developing effective lake-management strategies. A decline in species richness may represent only one component of ecological degradation; changes in population structure can provide earlier evidence of habitat deterioration. For example, a population may retain relatively high total abundance while experiencing a decline in juveniles or reproductive individuals, indicating reduced recruitment potential. Similarly, increasing dominance by a small number of tolerant species may conceal the gradual loss of habitat specialists. Consequently, simultaneous analysis of species diversity and population structure can provide a more sensitive assessment of ecosystem condition than either indicator alone.

Despite growing recognition of habitat heterogeneity as a determinant of freshwater biodiversity, the specific contribution of ecological refugia to population-level processes remains insufficiently integrated into many lake-ecosystem assessments. Particularly, there is a need to clarify how differences in refuge availability, structural complexity, spatial connectivity, and environmental quality translate into changes in species richness, community composition, abundance, demographic structure, and population stability. Such knowledge is increasingly important under conditions of accelerating anthropogenic pressure and climate variability.

Therefore, the present study focuses on the ecological significance of refugial habitats in lake ecosystems, with particular emphasis on their influence on species diversity and population structure. The study is based on the hypothesis that lakes containing a greater diversity, structural complexity, and spatial connectivity of ecological refugia support higher species richness, greater community evenness, more stable population densities, and more balanced demographic structures than habitats characterized by low refuge availability. By examining the relationship between refuge characteristics and biological indicators, the study seeks to contribute to a better understanding of the mechanisms through which habitat heterogeneity supports biodiversity conservation and population persistence. The findings may provide a scientific basis for identifying priority refugial habitats, improving ecological monitoring, and developing conservation and restoration strategies aimed at increasing the resilience and long-term sustainability of lake ecosystems.

Materials and Methods

The study was designed to investigate the role of ecological refugia in determining species diversity and population structure within lake ecosystems. The methodological framework combined field-based ecological observations, habitat characterization, biological sampling, population assessment, and quantitative analysis of biodiversity indicators. The research was conducted across selected lake habitats representing different levels of habitat complexity and refuge availability. Particular attention was given to littoral areas, shallow-water zones, aquatic vegetation communities, open-water habitats, and structurally heterogeneous shoreline sections, as these environments provide contrasting conditions for aquatic organisms and allow the ecological significance of refugial habitats to be evaluated.

Field investigations were carried out during the active biological period when aquatic organisms were sufficiently abundant for reliable assessment of community composition and population structure. Sampling sites were selected to represent a gradient of ecological refuge availability, ranging from structurally complex habitats with dense aquatic vegetation and heterogeneous substrates to relatively simplified areas with limited shelter. At each sampling location, the geographical position was recorded using a global positioning system, while water depth, shoreline characteristics, vegetation cover, substrate composition, and degree of habitat complexity were documented. The spatial arrangement and continuity of potential refugial patches were also considered because

the ecological value of a refuge depends not only on its internal characteristics but also on its connectivity with surrounding habitats.

Environmental parameters were measured simultaneously with biological sampling in order to determine the physical and chemical conditions associated with different refuge types. Water temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, and total dissolved solids were measured using portable field instruments. Water transparency was assessed using a Secchi disk, while water depth was measured directly at each sampling point. Where appropriate, water samples were collected for laboratory determination of nutrient concentrations, particularly nitrate and phosphate, because nutrient enrichment can strongly influence aquatic vegetation, oxygen dynamics, and the overall ecological condition of lake habitats. These measurements were used to distinguish the direct effects of habitat structure from those associated with general water-quality gradients.

The structural characteristics of ecological refugia were assessed through direct field observations and standardized habitat surveys. Aquatic macrophyte communities were evaluated according to vegetation density, percentage cover, vertical complexity, and dominant growth forms. Areas containing submerged, floating, or emergent vegetation were considered potentially important refugial habitats because they provide physical shelter, feeding surfaces, spawning substrates, and nursery areas for numerous aquatic organisms. Additional refuge structures, including coarse woody debris, stones, root systems, sediment depressions, and naturally protected shoreline sections, were recorded where present. Habitat complexity was subsequently expressed using a composite assessment based on the number, diversity, density, and spatial continuity of structural elements.

Biological sampling was conducted separately within major habitat types to enable comparisons between refugial and non-refugial environments. Aquatic macroinvertebrates were collected from representative substrates using standardized sampling procedures, while fish populations were assessed using appropriate non-destructive or minimally invasive sampling techniques according to habitat characteristics. Where amphibians or other aquatic vertebrates were present, their occurrence and abundance were recorded through standardized visual surveys and direct observations. Aquatic plants were identified to the lowest practical taxonomic level using recognized taxonomic keys. All collected biological material was identified using current taxonomic references, and taxonomic nomenclature was standardized before statistical analysis.

Species abundance was recorded for each sampling site, and the density of organisms was calculated according to the sampled area or volume. For fish populations, additional demographic characteristics were recorded where feasible, including body length, body mass, developmental stage, and relative representation of juvenile, subadult, and adult individuals. These parameters were used to characterize population structure and recruitment potential. The proportion of individuals belonging to different size or age categories was compared between refuge-rich and refuge-poor habitats. Particular attention was given to the occurrence of juvenile

organisms because nursery refugia are expected to have a disproportionate influence on early-life survival and subsequent population recruitment.

Species diversity was evaluated using several complementary ecological indices. The Shannon–Wiener diversity index was used to estimate diversity by simultaneously considering species richness and relative abundance. Simpson's diversity and dominance measures were applied to assess the degree to which communities were dominated by a limited number of species. Pielou's evenness index was calculated to determine how evenly individuals were distributed among recorded species. Species richness was expressed as the total number of taxa recorded within each habitat type. These indicators allowed the biological characteristics of refugial and non-refugial habitats to be compared from different ecological perspectives rather than relying on species number alone.

Community similarity among habitat types was evaluated using appropriate similarity coefficients. The comparison of species composition between refuge-rich and refuge-poor areas allowed the degree of biological differentiation associated with habitat structure to be determined. High similarity between sites with contrasting refuge characteristics would indicate limited refuge-related differentiation, whereas pronounced differences in species composition would suggest that ecological refugia contribute substantially to community assembly. Where the dataset permitted, multivariate approaches were also considered to identify relationships between environmental variables, habitat complexity, and species composition.

Population structure was analyzed using density, relative abundance, size-frequency distribution, and representation of different developmental categories. The occurrence of individuals in juvenile and adult stages was used as an indicator of recruitment conditions, while the relative abundance of different size classes provided information about population stability and demographic balance. Populations characterized by a broad and relatively continuous size distribution were interpreted as having stronger evidence of ongoing recruitment and persistence than populations dominated by a single size or developmental class. Differences in demographic structure among habitat types were evaluated in relation to the availability and structural characteristics of ecological refugia.

The relationship between environmental variables and biological indicators was examined using correlation and regression approaches. Habitat complexity, vegetation cover, refuge density, water depth, dissolved oxygen, temperature, nutrient concentrations, and other environmental variables were tested against species richness, diversity indices, population density, and demographic parameters. Statistical analyses were performed using a significance threshold of $p < 0.05$. Where appropriate, multivariate analyses were used to identify the environmental variables that most strongly explained variation in community composition and

population structure. Principal component analysis or related ordination techniques could be applied to reduce dimensionality and visualize ecological gradients among sampling sites.

To provide an integrated measure of refugial functionality, ecological refuge characteristics were compared with biological responses across the investigated lake habitats. Sites were classified according to their relative level of refuge availability and structural complexity, allowing biological patterns to be interpreted along an ecological gradient. This approach made it possible to determine whether increases in the quantity and quality of refugial habitats were associated with higher species richness, greater community evenness, lower dominance by disturbance-tolerant species, and more balanced population structures.

Quality assurance was maintained throughout the field and laboratory procedures. Sampling equipment was cleaned and standardized between sampling locations to minimize cross-contamination, and biological identification was independently checked where taxonomic uncertainty occurred. Environmental measurements were repeated when necessary to minimize instrumental error. The same sampling effort and methodological procedures were applied as consistently as possible across habitat types to ensure comparability of the resulting datasets.

The methodological design ultimately enabled the assessment of ecological refugia at three interconnected levels: habitat structure, community diversity, and population organization. By integrating these levels, the study provides a framework for determining whether structurally complex refugial habitats function as biodiversity-supporting areas and whether their availability is associated with improved population stability and recruitment. Such an integrated approach is particularly relevant for lake ecosystems exposed to anthropogenic disturbance, habitat fragmentation, eutrophication, shoreline transformation, and climate-related environmental variability.

Results and Discussion

The results demonstrated that the structural characteristics and spatial distribution of ecological refugia were closely associated with patterns of species diversity and population organization within lake ecosystems. Sampling sites characterized by greater habitat heterogeneity, higher aquatic vegetation coverage, and a greater availability of physical shelter generally supported more diverse and structurally balanced biological communities than relatively homogeneous habitats. The observed differences indicate that ecological refugia should not be considered merely passive sheltering structures but rather as functionally important habitat components that influence feeding opportunities, reproduction, recruitment, interspecific interactions, and population persistence.

The highest levels of biological diversity were generally associated with shallow littoral habitats containing dense submerged and emergent vegetation. These areas provided a complex three-dimensional structure consisting of vegetation stems, leaves, roots, sediment surfaces, and small-scale variations in water depth. Such structural complexity increased the number of potential microhabitats available to aquatic organisms

and created favorable conditions for species with different ecological requirements. In contrast, open-water and highly simplified shoreline habitats supported fewer habitat specialists and were more frequently characterized by the dominance of species capable of tolerating environmental variability and physical disturbance. This pattern supports the ecological hypothesis that habitat heterogeneity increases the number of available ecological niches and consequently contributes to the maintenance of local species richness[4].

The relationship between refuge availability and species diversity was particularly evident when comparing vegetation-rich and vegetation-poor habitats. Areas with extensive macrophyte development provided shelter from predators, enhanced the availability of feeding surfaces, and created suitable microhabitats for juvenile organisms. The physical structure of macrophytes also reduced local water movement and promoted the accumulation of organic particles and microorganisms, thereby increasing the availability of food resources. These mechanisms can generate positive feedback between habitat complexity and biological productivity, whereby structurally complex habitats support greater organism abundance, while increased biological activity contributes to further development of complex trophic interactions.

The Shannon–Wiener diversity index showed a tendency toward higher values in habitats with greater refuge complexity, indicating that the positive effect of refugia was not limited to an increase in the number of species but was also associated with a more balanced distribution of individuals among species. Conversely, habitats with limited structural complexity tended to exhibit lower diversity and greater dominance by a smaller number of taxa. The Simpson dominance pattern provided complementary evidence, as structurally simplified sites generally showed stronger dominance, suggesting that environmental filtering and disturbance may favor a limited number of tolerant species. Pielou’s evenness similarly indicated that refuge-rich habitats tended to maintain a more equitable distribution of individuals, whereas refuge-poor habitats were more strongly influenced by dominant taxa.

The observed increase in community evenness within complex refugial habitats can be explained by the availability of multiple resource types and spatially separated microhabitats. Species that differ in feeding strategy, body size, mobility, and habitat preference can exploit different portions of the same structurally heterogeneous environment. This spatial partitioning reduces the intensity of direct competition and facilitates coexistence. Consequently, the ecological contribution of refugia extends beyond physical protection and includes the creation of conditions that promote resource partitioning and community stability.

Population structure exhibited an equally important relationship with refuge availability. Refuge-rich habitats contained a comparatively greater representation of juvenile and intermediate developmental stages, particularly in shallow vegetated areas. The presence of these developmental classes indicates that structurally complex habitats may function as nursery environments where young individuals can obtain food and avoid

predation. Juvenile organisms generally have lower mobility and reduced capacity to escape predators or withstand environmental fluctuations; therefore, the availability of protected microhabitats can substantially influence their survival. The higher representation of juvenile individuals in refuge-associated habitats suggests that ecological refugia may contribute directly to successful recruitment and long-term population maintenance[5].

In contrast, populations inhabiting structurally simplified habitats frequently displayed a less balanced demographic distribution. The relative reduction in juvenile individuals observed in such environments may indicate increased mortality during early developmental stages or reduced availability of suitable nursery habitat. A population may retain relatively high total abundance while simultaneously experiencing recruitment limitations. Therefore, the assessment of total population density alone may underestimate the ecological consequences of refuge degradation. Analysis of size-frequency and developmental structure provides additional information about the future persistence of populations and may serve as a sensitive indicator of habitat quality.

The results also indicated that refuge connectivity was an important factor determining biological responses. Isolated habitat patches could provide localized protection, but their ecological function was generally enhanced when multiple suitable patches were spatially connected. Connected refugial habitats can facilitate movement between feeding, breeding, nursery, and overwintering areas and may reduce the demographic consequences of local disturbance. Greater connectivity also increases the probability of recolonization following temporary population declines. Consequently, conservation strategies should consider not only the protection of individual refuges but also the preservation of spatial networks connecting them.

Water-quality conditions further influenced the effectiveness of ecological refugia. Habitats with higher structural complexity were generally associated with greater biological diversity when physicochemical conditions remained within tolerable ranges. However, the protective effect of refugia was not unlimited. Severe deterioration of water quality, including excessive nutrient enrichment, oxygen depletion, elevated temperature, or strong pollution pressure, can reduce the capacity of even highly complex habitats to support sensitive organisms. This finding emphasizes that habitat structure and environmental quality should be considered complementary rather than independent components of ecosystem functioning.

The interaction between eutrophication and refugial habitat structure is particularly important. Moderate nutrient availability can stimulate primary productivity and macrophyte development, potentially increasing habitat complexity and food availability. However, excessive nutrient enrichment may result in algal blooms, reduced water transparency, oxygen depletion, and changes in plant community composition. Under such circumstances, the apparent increase in vegetation does not necessarily correspond to improved refuge quality. Dense algal biomass, for example, may create temporary structural complexity while simultaneously reducing

oxygen availability and altering trophic conditions. Therefore, refuge quality should be assessed according to functional characteristics rather than vegetation abundance alone.

Anthropogenic shoreline disturbance was negatively associated with the availability and structural quality of ecological refugia. Artificially modified shorelines, vegetation removal, dredging, construction, and recreational pressure reduced the number of natural microhabitats and simplified the spatial structure of the littoral zone. Such simplification can reduce the availability of spawning substrates, juvenile shelter, feeding surfaces, and movement corridors. The resulting habitat homogenization may favor generalist and disturbance-tolerant species while reducing habitat specialists. This process can ultimately lead to biotic homogenization and a decline in ecological resilience.

An important finding of the study was that habitat complexity appeared to influence not only taxonomic diversity but also the functional organization of biological communities. Structurally heterogeneous refugia supported organisms representing different trophic positions and ecological strategies. Primary consumers, predators, detritivores, decomposers, and omnivorous organisms could coexist within the same general habitat because the structural environment provided multiple feeding opportunities. Such complexity contributes to the development of interconnected food webs and may increase the capacity of communities to respond to environmental disturbances. Loss of refugia can therefore have consequences extending beyond species loss by weakening ecological interactions and ecosystem functioning.

The relationship between refugia and population stability can also be interpreted in terms of ecological resilience. Populations distributed across multiple refuge patches are less vulnerable to localized disturbances than populations concentrated in a single habitat. A network of refugia provides spatial redundancy, allowing individuals to move among favorable areas and recolonize disturbed patches. This mechanism may be especially important under increasingly variable climatic conditions. During periods of elevated temperature, drought, or temporary oxygen depletion, organisms may use deeper, shaded, vegetated, or otherwise protected microhabitats to reduce physiological stress. Consequently, the preservation of refugial networks may represent an important nature-based mechanism for increasing the resilience of lake ecosystems.

The results further suggest that ecological refugia may act as indicators of the broader ecological condition of lake ecosystems. A reduction in the diversity and structural complexity of refugia can occur before substantial changes become evident in total species richness. Similarly, alterations in juvenile-to-adult ratios may provide early evidence of habitat degradation. Therefore, monitoring programs that incorporate refuge characteristics together with species diversity and population structure may detect ecological deterioration more effectively than conventional assessments based exclusively on water chemistry or total abundance.

The observed patterns are consistent with fundamental ecological principles concerning habitat heterogeneity, niche availability, and population regulation. According to the habitat heterogeneity concept, structurally complex environments provide a greater number of potential niches and consequently can support more species. The refuge effect additionally suggests that organisms may achieve higher survival in habitats that reduce predation pressure and environmental stress. These mechanisms operate simultaneously in lake littoral environments, where physical structure, resource availability, and biological interactions are strongly interconnected.

Nevertheless, the results also indicate that the relationship between refuge complexity and biodiversity is not necessarily linear. Extremely dense vegetation can reduce water circulation and alter oxygen dynamics, while excessive accumulation of organic matter may produce localized hypoxic conditions. Similarly, a refuge may be highly suitable for one taxonomic group but unsuitable for another. Therefore, optimal refuge conditions should be interpreted in relation to species-specific ecological requirements. A heterogeneous mosaic of different refuge types is likely to provide greater overall biodiversity benefits than the dominance of a single structural habitat type.

From a conservation perspective, the findings highlight the importance of protecting littoral vegetation, shallow-water habitats, natural shoreline structures, and interconnected refuge patches. Conservation actions should prioritize the maintenance of habitat heterogeneity rather than focusing exclusively on total habitat area. Restoration of degraded lake margins should therefore include the re-establishment of native aquatic vegetation, creation of structurally diverse shallow-water zones, preservation of natural substrates, and reduction of unnecessary shoreline modification. Where habitat fragmentation is pronounced, the establishment or restoration of ecological corridors between refuge patches may further improve population connectivity.

The ecological significance of refugia becomes particularly important under conditions of increasing anthropogenic pressure and climate variability. Lakes experiencing shoreline urbanization, agricultural runoff, water abstraction, pollution, invasive species, and increasing temperatures may lose their natural capacity to provide stable microhabitats. Maintaining a diverse network of refugia can partially compensate for environmental variability by providing organisms with alternative locations for feeding, reproduction, and survival. However, refuge conservation cannot substitute for broader improvements in water quality and catchment management. Effective lake conservation therefore requires an integrated strategy addressing both habitat structure and the external drivers of ecosystem degradation.

Overall, the findings indicate that ecological refugia play a multidimensional role in lake ecosystems. Their influence extends from the provision of physical shelter to the regulation of species coexistence, recruitment, population structure, community organization, and ecological resilience. Refuge-rich habitats

generally support higher biodiversity and more balanced demographic structures, whereas structurally simplified environments are more likely to exhibit reduced diversity, increased dominance, and weaker recruitment potential. These results emphasize that ecological refugia should be incorporated explicitly into biodiversity monitoring, ecological assessment, lake restoration, and conservation planning.

The combined evaluation of habitat complexity, refuge connectivity, species diversity, and population structure provides a more comprehensive understanding of lake ecosystem condition than isolated measurements of individual ecological variables. In particular, the simultaneous assessment of species richness and demographic characteristics can reveal changes in ecological stability that may remain undetected when only total abundance is considered. Thus, ecological refugia can be regarded as both functional components of lake ecosystems and practical targets for biodiversity conservation. Their preservation and restoration may contribute substantially to maintaining species diversity, supporting viable populations, and enhancing the long-term resilience of freshwater ecosystems under increasing environmental change.

Conclusion

The present study demonstrates that ecological refugia represent important structural and functional components of lake ecosystems and play a significant role in maintaining species diversity, population stability, and ecological resilience. The results indicate that habitats characterized by greater structural complexity, higher aquatic vegetation cover, heterogeneous substrates, and better spatial connectivity generally provide more favorable conditions for a wide range of aquatic organisms than structurally simplified habitats. These environments increase the availability of shelter, feeding surfaces, nursery areas, and reproductive habitats, thereby contributing to the persistence of diverse biological communities.

The analysis further indicates that the ecological importance of refugia extends beyond their contribution to species richness. Refuge-rich habitats tend to support more balanced species-abundance distributions, higher community evenness, and lower dominance by a limited number of disturbance-tolerant species. At the population level, structurally complex refugial habitats are particularly important for juvenile and early developmental stages, which are more vulnerable to predation and environmental fluctuations. The greater representation of juvenile individuals in suitable refuge habitats suggests that the availability of protected nursery areas can contribute to successful recruitment and long-term population persistence.

Refuge connectivity was also identified as an important component of ecological functionality. A network of interconnected refugial patches can facilitate movement between feeding, breeding, nursery, and overwintering habitats and increase the capacity of populations to recover following localized disturbances. Consequently, conservation approaches should not focus exclusively on individual refuge patches but should also maintain the spatial continuity and connectivity of suitable habitats throughout the lake landscape.

At the same time, the findings demonstrate that the effectiveness of ecological refugia is strongly dependent on general environmental conditions. Habitat complexity alone cannot compensate indefinitely for severe pollution, eutrophication, oxygen depletion, excessive warming, or intensive shoreline disturbance. The ecological value of refugia should therefore be evaluated as part of an integrated system in which habitat structure, water quality, biological interactions, and anthropogenic pressures are considered simultaneously.

From a conservation and management perspective, the results emphasize the need to protect natural littoral zones, aquatic macrophyte communities, shallow-water habitats, heterogeneous substrates, and interconnected refuge networks. Restoration programs should prioritize the reconstruction of structurally complex shoreline habitats and the recovery of native aquatic vegetation while minimizing unnecessary shoreline modification and other anthropogenic disturbances. Incorporating refuge availability and quality into routine biodiversity monitoring could also improve the early detection of habitat degradation and population-level ecological stress.

In conclusion, ecological refugia can be regarded as critical mechanisms supporting biodiversity conservation and population persistence in lake ecosystems. Their preservation enhances habitat heterogeneity, facilitates species coexistence, supports recruitment, and contributes to ecosystem resilience under environmental variability. The integration of refugial-habitat assessment with species-diversity indices and population-structure indicators provides a comprehensive framework for evaluating the ecological condition of lakes. Future research should further investigate the seasonal dynamics of refugia, species-specific refuge requirements, long-term responses to climate change, and the effectiveness of refugia-based restoration measures. Such approaches can contribute to the development of scientifically grounded strategies for the sustainable management and long-term conservation of freshwater ecosystems.

References

1. Agra, J., Pires, A. P. F., & others. (2024). A global synthesis and meta-analysis of the environmental heterogeneity effects on freshwater biodiversity. *Oikos*, 2024, e10186.
2. Cortés-Guzmán, D., Sinclair, J., Hof, C., Kalusche, J. B., & Haase, P. (2024). Dispersal, glacial refugia and temperature shape biogeographical patterns in European freshwater biodiversity. *Global Ecology and Biogeography, 33*, e13886.
3. Karus, K., Zagars, M., Agasild, H., Tuvikene, A., Zingel, P., Puncule, L., Medne-Peipere, M., & Feldmann, T. (2022). The influence of macrophyte ecological groups on food web components of temperate freshwater lakes. *Aquatic Botany*, 182, 103571.
4. Mao, Z., Gu, X., Zeng, Q., Chen, H., & Jeppesen, E. (2024). Effects of habitat regime type on fish diversity in a large eutrophic lake. *Hydrobiologia, 851*, 1807–1823.
5. Quirino, B. A., Søndergaard, M., Lauridsen, T. L., Johansson, L. S., Fugi, R., Thomaz, S. M., et al. (2023). Associations between submerged macrophytes and fish communities at two spatial scales in 88 temperate shallow lakes. *Freshwater Biology, 68*(7), 1211–1223.

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

Muhammad Anas Khan[1], Prof. Dr. Saad Ullah Khan[1], Prof. Dr. Noor Muhammad[1], Fardous[2]

[1]Department of Biotechnology & Genetic Engineering, Kohat University of Science and Technology (KUST), Kohat, Pakistan

[2]Department of Medical Laboratory Technology, Kohat University of Science and Technology (KUST), Kohat, Pakistan

Abstract

Dwarfism is a heterogeneous group of skeletal disorders that are associated with decreased growth of the bones of the legs and arms and result in short stature. The identification of disease-causing loci in affected families is crucial for proper diagnosis and genetic counselling, and for understanding the pathogenesis of the disease. The present study, aimed to determine the underlying mechanism of dwarfism in a consanguineous family of District Kohat in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, by homozygosity mapping and linkage analysis. A detailed pedigree was drawn up to establish the mode of inheritance. Then blood samples were drawn from both affected and unaffected members after informed consent. Blood samples were used for genomic DNA extraction. After that genotyping was carried out on highly polymorphic microsatellite markers which have been reported in dwarfism. Techniques of homozygosity mapping were used to hunt the responsible genes i.e. GHR, NPR2, GHRHR, IGF1 in sampled family. By typing highly polymorphic microsatellite markers i.e. (D5S2022, D5S2087, D5S2856, D5S665, D5S577), (D9S1817, D9S1805, D9S1804, D9S1794, D9S1791), (D7S435, D7S2496, D7S2491, D7S2252, D7S817), (D12S815, D12S78, D12S800, D12S338, D12S318) in homozygosity mapping, the sampled family were excluded from the above-mentioned loci. The disease associated haplotype was consistently inherited in the same way as the disease phenotype, consistent with an autosomal recessive mode of inheritance. The molecular characterization of the candidate genes will continue to give insights into the genetic basis of dwarfism and will help in the genetic diagnosis and counseling of affected families.

Keywords: Dwarfism, Homozygosity Mapping, Microsatellite Markers, Consanguinity, Sanger Sequencing

VIEWS ON THE ARTIFICIAL AUXILIARY LANGUAGE ANGLO-FRANCA

Dr. Alan Reed LIBERT

Discipline of Linguistics, University of Newcastle, Callaghan, Australia/Department of English Language and Literature, Khazar University, Baku, Azerbaijan

Alan.Libert@newcastle.edu.au

ORCID: 0000-0003-1446-4183

Abstract

Anglo-Franca is an artificial auxiliary language (i.e. a language meant for communication among people who do not share the same natural language) designed by George J. Henderson (under the name Hoinix). As its name indicates, it is a combination of English and French components. Although it is is obscure and was not successful, it has been mentioned both in specialist works on artificial languages and general publications. In this paper I will present views from these sources on Anglo-Franca. These opinions are often (quite) negative; for example, Pulgram (1948:59) states that it "had little to recommend itself and probably repelled speakers of English and French alike", while Yaguello (1991:189) calls it "a hybrid monster". Couturat and Leau (1903) comment on it at greater length (more than two pages) and are slightly more positive, beginning with the statement (p. 398), "The theoretical and practical considerations which inspired Anglo-Franca seem judicious and acceptable", but they are then critical of it. Also more positive is the statement by someone who recently attempted to learn the language: "I've really come to like this language. I think it has some fatal flaws in terms of anybody ever taking it seriously, but I do find the process of picking this up off the shelf and giving it a fare shake to be kind of mind-expanding." (<https://www.reddit.com/r/auxlangs/comments/ 1sl6ti5/ du_semaines_with_anglofranca/>)

Keywords: Artificial languages, constructed languages, auxiliary languages, French

INTRODUCTION

Many artificial auxiliary languages have been created in recent centuries. Some are based on a single language, e.g. Basic English, while others draw on several or many languages, e.g. Esperanto. A few of them are built from just two languages, One such language is Anglo-Franca, designed by George J. Henderson, who published a work on it under the name P. Hoinix. It is an obscure language, and was not successful, but (surprisingly) it was written in various publications, both shortly after it was made public and later. Most of the comments on it were (quite) negative. In this paper I will present and discuss some of these.

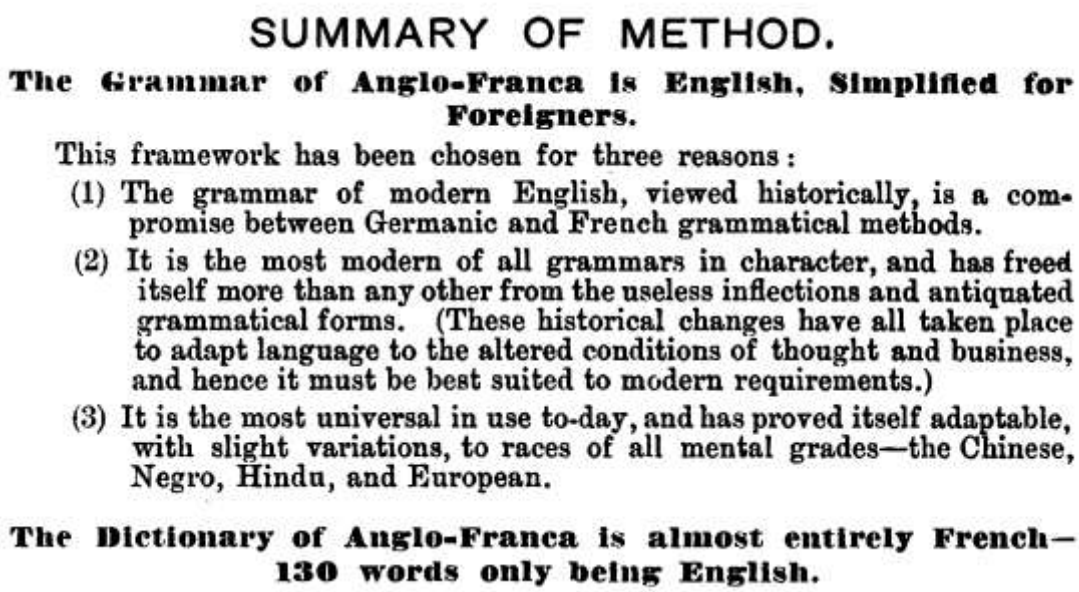
First, however, let us look at some of what Henderson said about his language. Figures 1-4 will show his thinking about Anglo-Franca and will give an idea of the nature of it. Note that the passage in Figure 4 is written in Anglo-Franca.

> **Anglo-Franca restricts itself to a compromise between English and French—the two most international languages of the world. In so doing, it makes itself exceedingly easy for all who know something of either of these languages. By being neither English nor French, but easier for Frenchmen than English, and for Englishmen than French, it is, at any rate as far as *two* nationalities are concerned, an international language.**

Figure 1. Hoinix (1889:5)

> **If once a system could be devised which French and English would consider a fair and just compromise between them, and which would be easier for each to learn than the other's language, International Language would no longer be a dream and a doubtful experiment, but a *fait accompli*. The co-operation of the speakers of the two most widespread languages of the world for this common end would exert such power as would either induce other nations to join the same cause before long of their own accord, or would ultimately *force* them to do so.**

Figure 2. (ibid.:8)



SUMMARY OF METHOD.

The Grammar of Anglo-Franca is English, Simplified for Foreigners.

This framework has been chosen for three reasons:

(1) The grammar of modern English, viewed historically, is a compromise between Germanic and French grammatical methods.

(2) It is the most modern of all grammars in character, and has freed itself more than any other from the useless inflections and antiquated grammatical forms. (These historical changes have all taken place to adapt language to the altered conditions of thought and business, and hence it must be best suited to modern requirements.)

(3) It is the most universal in use to-day, and has proved itself adaptable, with slight variations, to races of all mental grades—the Chinese, Negro, Hindu, and European.

The Dictionary of Anglo-Franca is almost entirely French—130 words only being English.

Figure 3. (ibid.:10)

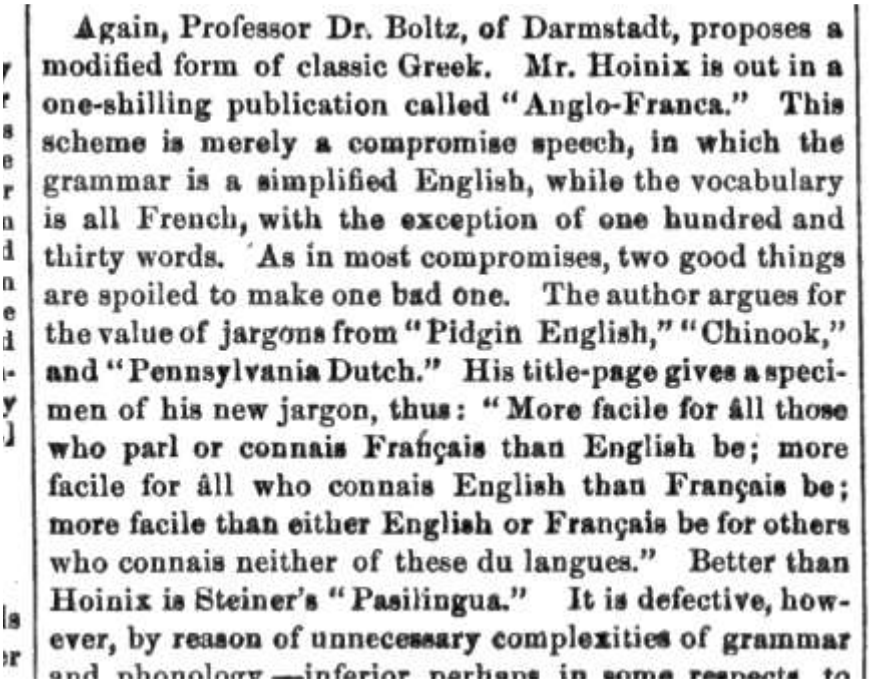
The creation of an universel langue for the international relations of peuples be an question much controversed since the dec-septieme siecle. While the philosophes have un after the other prôned it as an lien of union and of concorde, and an puissant levier of civilisation, the litterateurs and the poetes sembl to be in accord in ni-ing its opportunité, and many linguistes revoqu encore in doute, in we's jours, the possibilité of composing an artificiel langue having an reel pratique valeur.

Figure 4. (ibid.:37)

DATA AND ANALYSIS

Negative Views

As I have said, there have been some negative views on Anglo-Franca. In Figure 5 we see one of them.



Again, Professor Dr. Boltz, of Darmstadt, proposes a modified form of classic Greek. Mr. Hoinix is out in a one-shilling publication called "Anglo-Franca." This scheme is merely a compromise speech, in which the grammar is a simplified English, while the vocabulary is all French, with the exception of one hundred and thirty words. As in most compromises, two good things are spoiled to make one bad one. The author argues for the value of jargons from "Pidgin English," "Chinook," and "Pennsylvania Dutch." His title-page gives a specimen of his new jargon, thus: "More facile for âll those who parl or connais Français than English be; more facile for âll who connais English than Français be; more facile than either English or Français be for others who connais neither of these du langues." Better than Hoinix is Steiner's "Pasilingua." It is defective, however, by reason of unnecessary complexities of grammar

Figure 5. *The Sunday School Times* Vol. XXXI, No. 21, "The Problem of a Universal Language", May 25, 1889, pp. 331-2[2]

The (apparently anonymous) author of the following article (Figure 6) seems to be biased against artificial auxiliary languages in general, and he has a fact wrong about Volapük – it was created by a single person.

[2] The author of this article is not stated. This part of the article is on p. 331.

should not be, like the great critic of life—whose loss we are only now beginning to feel—come from the ranks of H.M.I.S.?

AN UNIVERSAL LANGUAGE.

'HERE they parl Francais, and coupe the cheveux,' was the notable inscription which some years ago adorned the front of an Edinburgh shop occupied by a tonsorial importation from the Continent. That linguistic barber, or a son, relation, or friend of his—at any rate, a creature equally ignorant and absurd—a person named Hoinix—has published a pamphlet in which he sets forth a lingo on the same lines as the above inscription. He calls his invention 'Anglo-Franca,' and he claims for it that it is 'more facile for all those who parl or connais Francais than English be; more facile for all who connais English than Francais be; more facile than either English or Francais be for others who connais neither of those du langues.' So silly a 'pidgin' with such ridiculous pretensions would be worthy of no more serious attention than the preposterous gabble which we were wont in our youth to pass off upon our wondering juniors as Double Dutch, than the loud tones in which a native of Britain thinks it necessary to address a foreigner, or than the infantile and curtailed speech by which Dickens says Mrs. Plornish attained to distinction in her communications with John Baptist Cavalletto, were it not that in its lack of knowledge and reverence, its conceit and self-sufficiency, it is a sign of the times. School-boys never breathe a hope that their 'Double Dutch' will become the universal language, nor did Mrs. Plornish publish a pamphlet setting forth the general principles on which she constructed her celebrated sentence, 'Me ope you legs well soon'; yet Mr. Hoinix has written and published a book to commend his puerilities to the civilised world.

The modest reader who retains the respect of the young and of the little-read for all that appears in print, will hardly believe that Mr. Hoinix has written a book, and yet has really no more to say for himself than the afore-mentioned barber. If it be possible (to use Euclid's phrase) let us take Mr. Hoinix seriously. He declares he has satisfied himself that any international language will have 'to be mainly if not entirely Romance or Neo-Latin'; that is the only statement he makes which looks like the suggestion of a principle; and yet even that vain show of a theory he does not adequately apply in his efforts at the composition of an universal speech. In the examples he gives of his Anglo-Franca, there are more English words than French, though the French are, so to say, the worthier: all his verbs, nouns, and adjectives being French, and his prepositions, conjunctions, articles, pronouns, and adverbs not formed from adjectives being English. On what grounds, however, he has satisfied himself that an international speech must 'be mainly, if not entirely, Romance or Neo-Latin,' he does not reveal. Anything like serious or learned speculation, hitherto, as to what language would be the best vehicle or basis for civilised international communication, has led to the conclusion that, in comparison with English, other languages are nowhere: first, because it is spoken by enormous and ever-growing populations all round the world; secondly, because it has a considerable French, Latin, or Romance basis, which makes it fairly easy for the Latin races to acquire; and, thirdly, because it shows most fully the tendency of highly-civilised, modern languages towards simplification by the elimination or the wearing away of inflections.

It is, however, too great compliment to Mr. Hoinix to take him seriously; it is infliction enough that he takes himself so. His place is in the limbo of things contumelious and forgotten, with that Hannibal Chollop who some weeks ago proposed a new and impure American language, with the inventors of Volapük, and with those ardent phonetic reformers who beset our daily path—with the whole brood of sciolists and smatterers who cannot recognise that language is one manifestation of the life of man, growing with his growth, and changing with his changing needs, and that the man who invents a new language has even less chance of disciples than the man who would invent a new religion.

MR. CALDWELL'S MISSION.

WHEN Mr. Chamberlain and his faithful companion went to Lewis the other year, they were followed by that malignant and envious spirit which thinks that no good thing can come out of Liberal Unionism, and which at the same time most inconsistently endeavours to prevent Liberal Unionists from doing any good. Mr. Caldwell had a happier fate. Local enthusiasm drowned political animosity. The Battle of the Union shrank into insignificance in presence of the mortal struggle between Stornoway and Ullapool. The honourable gentleman had something like a triumphal progress through the country: he was personally conducted over the proposed Garve line by the engineer; at Ullapool a crowd of one thousand excited Highlanders assembled from Lochbroom and Assynt and thereabouts; there was a procession to the Volunteer Arms, with pipers in front, and a representative of Sir John Fowler bringing up the rear; last came a public dinner and complimentary speeches to the Political Messiah of the North-West. But the island was not to be outdone by the mainland. In fact, the two are competing for Mr. Caldwell's good offices. When the boat arrived at Stornoway, there was not only music, but fireworks. The Police Commissioners, the Harbour Commissioners, the fish-curers—all Stornoway, in fact, appeared amid a blaze of rockets, and took Mr. Caldwell to its bosom in the Imperial Hotel. Then followed the inspection of the island, and interviews with the fishermen at Ness and Carloway and Portnaguran. Then came two public meetings at Stornoway itself, and Mr. Caldwell went back to the dismal regions of Obstruction, having apparently created a most favourable impression, and being apparently pledged to two hostile schemes.

We have nothing but the heartiest praise for Mr. Caldwell's sensible and energetic action in this matter. Members of Parliament have eyes 'for to see'; and why do they use them so seldom? Why don't they by personal intercourse and observation endeavour to create the impression of a real and intelligent sympathy, which is more valuable than any amount of *doctrinaire* argument about the duty of the State,

Figure 6. *The Scots Observer* Vol. I, No. 24

Next (Figure 7) we see the negative opinion of a linguist, who, however, is not hostile to the notion of an artificial auxiliary language.[3]

[41] A first trial, by Hoinix, P., *Anglo-Franca, an Nouveau Plan for the Facilitation of International Communication* (London, 1889), called by the author "*un compromis-langue english-français*" had little to recommend itself and probably repelled speakers of English and French alike. Behind the pseudonym Hoinix hides J. G. Henderson. This incredible Mr. Henderson gave the world two other international languages, *Lingua* and *Latinesce*, equally and happily forgotten.

Figure 7. Pulgram (1948:59)

Below (Figure 8) we see a negative view based on aesthetics:

16. Hoinix (pseudonym for the same indefatigable Mr. Henderson), 1889—*Anglo-franca.*

A mixture of French and English. Both this and the barbarized Latin schemes are fairly easy and certainly simpler than the real languages, but they are shocking to the ear, and produce the effect of mutilation of language.

Figure 8. Clark (1907:84)[4]

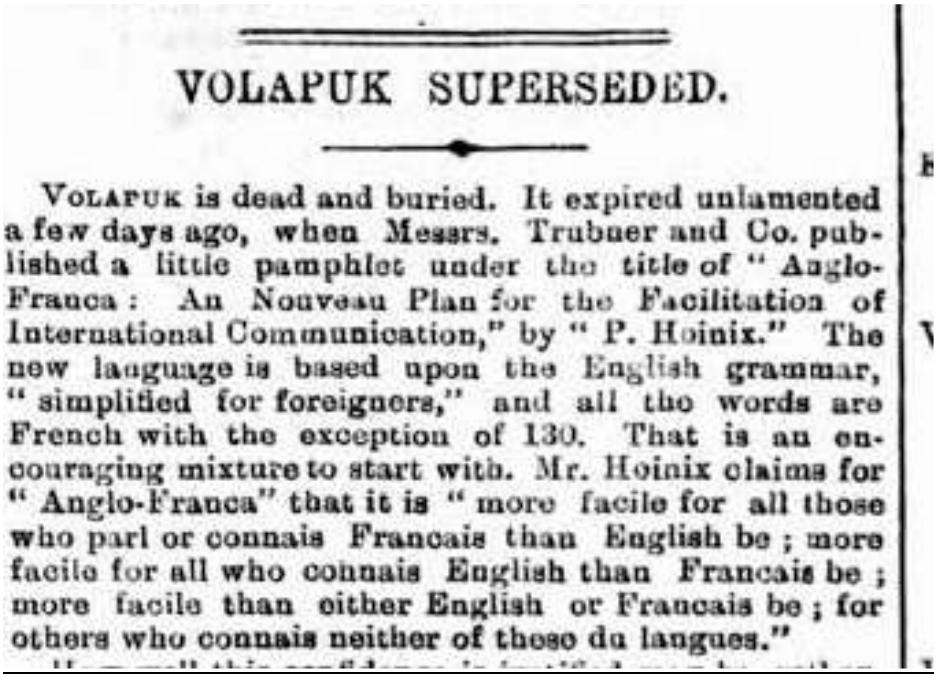
Yaguello (1991:189) has perhaps the most hostile view on Anglo-Franca, as she refers to it as "a hybrid monster". Somewhat similarly, Pankhurst (no date:36) calls it "a rather grotesque amalgam of French and English".

More Positive Views

However, not all views were so negative, as we see in Figure 9 and Figure 10, the latter from a book by a linguist on artificial languages. The former seems overly optimistic (or sarcastic?), as there was no chance that Anglo-Franca would cause the demise of Volapük, one of the most successful artificial auxiliary languages (and the main one before the rise of Esperanto).

[3] At the beginning of this work (p. 50), he says, "Let it be said at the outset that an international language would be a boon to mankind, that it is feasible and possible of realization—on certain conditions."

[4] Clark also is not against the idea of an artificial auxiliary language, nor is Pankhurst (see just below).



VOLAPUK SUPERSEDED.

VOLAPUK is dead and buried. It expired unlamented a few days ago, when Messrs. Trubner and Co. published a little pamphlet under the title of "Anglo-Franca: An Nouveau Plan for the Facilitation of International Communication," by "P. Hoinix." The new language is based upon the English grammar, "simplified for foreigners," and all the words are French with the exception of 130. That is an encouraging mixture to start with. Mr. Hoinix claims for "Anglo-Franca" that it is "more facile for all those who parl or connais Francais than English be; more facile for all who connais English than Francais be; more facile than either English or Francais be; for others who connais neither of these du langues."

Figure 9. *The Bombay Gazette* No. 12,595 (New Series), April 19, 1889, p. 3[5]

By 1889, Henderson's views had undergone a shift. His new compromise language, which he offered under the pseudonym of P. Hoinix, now consisted of a near-perfect blend of English and French, with English again supplying most of the grammar and syntax, while French contributes most of the vocabulary (but articles, pronouns, adverbs, prepositions, and conjunctions come from English). Again the purpose is primarily commercial, as witness this sample: "Me pren the liberté to ecriv to you in Anglo-Franca . . . Me have the honneur to soumett to you's inspection the prospectus of me's objets manufactured, which me to you envoy hereinclued."

Anglo-Franca certainly presents few difficulties to the speaker of English, and it may be assumed that the French speaker who learns some two hundred English words will find the language equally simple. One sometimes wonders whether the Anglo-French linguistic condominium envisaged by the founders of *le Monde Bilingue* might not in due course of time develop into an Anglo-French pidgin of this type.

Figure 10. Pei (1958:136)

[5] Again, the author of this article is not given.

In relation to the article in Figure 9, it is interesting to note that a Volapük publication mentions Anglo-Franca and three other artificial languages (and not in a negative way), as shown in Figure 11. (It is interesting because these languages could be seen as rivals to Volapük.)

Quatre nouvelles langues universelles, destinées dans l'esprit de leurs auteurs à remplacer le volapük, ont été inventées ces jours derniers. Ce sont :

Le *Spokil* du Dr A. Nicolas ;
Le *Mundolinco* de Braakman ;
L'*Anglo-Franca* de Hoinix ;
L'*Idioma universal* de Selbor.

Nous recommandons tout particulièrement à l'attention de nos lecteurs le *Spokil* ; il y a d'excellentes choses dans la partie lexicologique.

Figure 11. *Le volapük* Year 4, No. 25, July-August 1889, p. 346

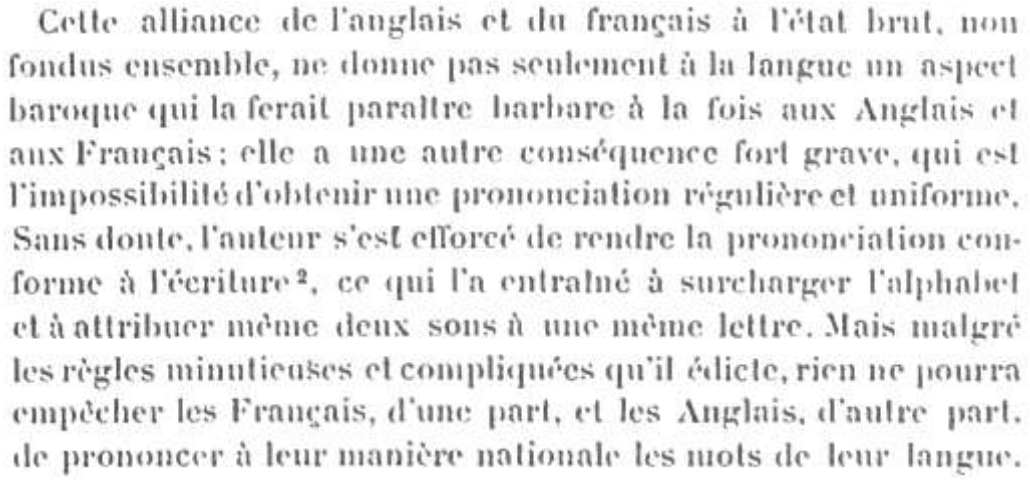
Couturat and Leau (1903) begin with a positive remark on Anglo-Franca (which they describe in some detail), as shown in Figure 12; however, they are mainly negative on it (Figures 13 and 14).

Les considérations théoriques et pratiques qui ont inspiré l'*Anglo-Franca* semblent judicieuses et acceptables: toutefois, on ne peut raisonnablement restreindre à deux langues la base d'un lexique vraiment international : il faut en admettre au moins trois (D., E., F.) ou, plus équitablement, six (D., E., F., I., R., S.) comme l'*American Philosophical Society* l'avait proposé.

Figure 12. Couturat and Leau (1903:398)

Le défaut capital de l'*Anglo-Franca* est le manque d'homogénéité, non pas tant à cause du mélange des radicaux anglais et français (l'anglais offre un mélange de radicaux latins et germaniques bien plus hétérogène encore) qu'à cause du contraste violent entre la grammaire anglaise et le vocabulaire français [1].

Figure 13. (ibid.)



Cette alliance de l'anglais et du français à l'état brut, non fondus ensemble, ne donne pas seulement à la langue un aspect baroque qui la ferait paraître barbare à la fois aux Anglais et aux Français ; elle a une autre conséquence fort grave, qui est l'impossibilité d'obtenir une prononciation régulière et uniforme. Sans doute, l'auteur s'est efforcé de rendre la prononciation conforme à l'écriture [2], ce qui l'a entraîné à surcharger l'alphabet et à attribuer même deux sons à une même lettre. Mais malgré les règles minutieuses et compliquées qu'il édicte, rien ne pourra empêcher les Français, d'une part, et les Anglais, d'autre part, de prononcer à leur manière nationale les mots de leur langue.

Figure 14. (ibid.:399)

Regarding the point made in the passage in Figure 14, it is true that nothing could prevent speakers of French and English from pronouncing words of Anglo-Franca following the rules of their native language, but this is also true of Esperanto, and for that matter, natural languages. For example, it would not be surprising if non-native speakers of English pronounced loanwords from their native languages as they are pronounced in those languages rather than as they are pronounced in English. Teachers or others might correct it, but cannot be entirely prevented (and may not be such a problem). (Admittedly, it might be more likely to happen in Anglo-Franca.)

Perhaps particularly interesting is the fact that recently someone (whose name I have not discovered) started learning Anglo-Franca and described the process on the internet. One of his postings includes the following:

> The opening line of this post is in Anglo-Franca, an Auxlang project from 1889 which I have decided to learn for 30 days straight, even though to my knowledge **nobody in history has ever taken this project seriously**. As you can see, it looks like a random jumble of English and French. As I've said, it's not random. There's a system.
>
> On April 1 I committed to learning this forgotten project for 30 days. I've been documenting my thoughts and progress in this Google doc. [...]
>
> Anglo-Franca is well sketched-out, but it is not complete. [...]
>
> But Anglo-Franca is more than a jumble of English and French. It is a piece of Auxlang history. It represents the late 19th century dream of a universal second language.
>
> (<https://www.reddit.com/r/auxlangs/comments/1srlvfo/tre_semaines_with_anglofranca/>)

CONCLUSION

There are various grounds on which Anglo-Franca could be cricitized, including aesthetics, internationality, and ease of use. Some writers are harsh on it because it is (according to them) ugly, but it is not clear whether this is an important issue for an artificial auxiliary language, and in any case this is a subjective matter, and such judgements have been made (unreasonably) about some natural languages. The lack of internationality is an obvious basis for criticism, but Esperanto (Ido, Interlingua (IALA), etc.) could also be criticized for this, though to a lesser extent, since they draw on more languages.

One might think that ease of use should be the main criterion for evaluating an auxiliary language, and this may be difficult to completely judge until or unless it is tested (i.e. used), unless there are obviously complexities (e.g. a large case system or many irregular verbs). In any case, as we have seen, two writers have stated that it is not a difficult language to learn (at least compared to English and French). Given this, it seems to be that the very negative views on Anglo-Franca may not be (completely) justified.

REFERENCES

Clark, W. J. (1907) *International Language*. J. M. Dent & Company, London.

Hoinix, P. (1889) *Anglo-Franca*. Trübner & Co., London.

Pankhurst, E. S. (no date) *Delphos*. Kegan Paul, Trench, Trubner & Co., London.

Pei, M. (1958) *One Language for the World*. The Devin-Adair Company, New York.

Pulgram, E. (1948) “An International Language-When?” *The Modern Language Journal* 32.1:50-68.

Yaguello, M. (1991) *Lunatic Lovers of Language* (translated by C. Slater). The Athlone Press, London.

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION REGIMES ON ECOSYSTEM PRODUCTIVITY AND FUNCTIONING

PhD Balakhanova Gumru Vasif

https://orcid.org/0000-0002-1709-1442

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

Temperature and precipitation regimes are among the most important environmental factors regulating ecosystem biological productivity and determining the structure, functioning, stability, and resilience of biological communities. This study examines the influence of temperature and precipitation variability on ecosystem productivity, with particular emphasis on vegetation biomass accumulation, primary production, phenological development, soil moisture, biodiversity, and ecosystem responses to climatic extremes. An integrated ecological approach was applied, combining meteorological observations, field-based vegetation measurements, soil analyses, phenological monitoring, remote-sensing indicators, and statistical methods. The analysis demonstrated that biological productivity is strongly dependent on the interaction between temperature and water availability. Moderate temperature conditions combined with sufficient and seasonally distributed precipitation generally promoted photosynthetic activity, vegetation growth, biomass accumulation, and longer growing seasons. In contrast, prolonged drought, excessive temperatures, irregular precipitation, and extreme climatic events were associated with reduced soil moisture, decreased photosynthetic activity, premature senescence, and lower ecosystem productivity. Soil moisture was identified as a major intermediary factor connecting precipitation variability with vegetation responses, while soil organic matter, nutrient availability, microbial activity, and biodiversity influenced the magnitude of ecosystem sensitivity to climatic fluctuations. The results further indicate that ecosystems with greater biological diversity and favorable soil-water conditions generally demonstrate higher resistance and resilience to climatic disturbances. The relationship between temperature and productivity was predominantly nonlinear, indicating the existence of ecosystem-specific thermal thresholds beyond which warming may have negative effects. Similarly, precipitation influenced productivity according to its amount, timing, intensity, and seasonal distribution rather than total annual precipitation alone. These findings emphasize the importance of considering temperature and precipitation simultaneously when assessing ecosystem functioning under changing climatic conditions. Long-term monitoring, remote sensing, ecological modeling, biodiversity conservation, soil protection, and ecosystem restoration are essential for predicting changes in biological productivity and strengthening ecosystem resilience to climate variability and climate change.

Keywords: temperature regime, precipitation regime, ecosystem productivity, biological productivity, primary production, vegetation biomass, climate variability, climate change, soil moisture, vegetation dynamics, biodiversity, ecosystem resilience, ecosystem stability,

Introduction

Biological productivity is one of the fundamental functional characteristics of ecosystems and represents the capacity of biological communities to transform available solar energy, water, carbon dioxide, and mineral nutrients into organic matter. It determines the rate of biomass formation, regulates carbon and nutrient cycling, supports trophic interactions, and contributes substantially to the stability and resilience of terrestrial and aquatic ecosystems. At the ecosystem level, productivity is commonly expressed through primary production, particularly gross primary productivity (GPP) and net primary productivity (NPP), which reflect the balance between photosynthetic carbon assimilation and respiratory carbon losses. Consequently, variations in environmental conditions that influence photosynthesis, plant growth, microbial activity, and nutrient availability can substantially modify ecosystem productivity and its temporal dynamics. Among these environmental drivers, temperature and precipitation regimes are particularly important because they directly regulate the physiological processes of organisms and indirectly influence water availability, soil properties, nutrient cycling, community composition, and ecosystem functioning.

Temperature constitutes a major abiotic factor controlling the biochemical and physiological processes underlying biological production. Photosynthesis, respiration, enzymatic activity, nutrient mineralization, microbial decomposition, and plant development are all strongly temperature-dependent processes. Within species-specific physiological limits, increasing temperature may accelerate enzymatic reactions, extend the growing season, stimulate metabolic activity, and increase carbon assimilation. However, the relationship between temperature and productivity is not linear. When temperatures exceed the optimal physiological range, increased respiratory losses, enzymatic dysfunction, cellular stress, excessive evapotranspiration, and water deficits may reduce photosynthetic efficiency and ultimately decrease net biomass accumulation. Thus, the ecological significance of temperature depends not only on mean temperature but also on seasonal variability, frequency and duration of extreme heat or cold events, diurnal temperature fluctuations, and the interaction between temperature and soil or atmospheric moisture[1].

Precipitation is similarly critical for ecosystem productivity because water availability represents one of the principal constraints on photosynthetic activity and plant growth in terrestrial environments. Precipitation determines soil moisture, groundwater recharge, surface runoff, atmospheric humidity, and the availability of water for plant uptake. Adequate precipitation can increase stomatal conductance, facilitate photosynthetic carbon assimilation, stimulate leaf expansion, and enhance nutrient transport through the soil profile. Conversely,

insufficient precipitation can cause soil-water deficits, stomatal closure, reduced photosynthetic activity, premature senescence, and decreased biomass production. Excessive precipitation may also have negative consequences through waterlogging, oxygen limitation in soils, nutrient leaching, erosion, and changes in microbial community activity. Therefore, ecosystem productivity is generally influenced not simply by the total annual amount of precipitation but by its timing, intensity, duration, and seasonal distribution.

The interaction between temperature and precipitation is particularly important for understanding ecosystem productivity. Temperature determines the potential rate of biochemical and physiological processes, whereas precipitation strongly influences whether sufficient water is available for these processes to proceed effectively. An increase in temperature under conditions of adequate moisture may stimulate productivity in water-limited ecosystems, while the same temperature increase under drought conditions may intensify water stress and cause substantial declines in productivity. This temperature–precipitation interaction is especially significant in arid and semi-arid ecosystems, where relatively small changes in precipitation can produce pronounced changes in vegetation growth and carbon uptake. In humid ecosystems, by contrast, productivity may be more strongly constrained by temperature, solar radiation, nutrient availability, or excessive moisture than by water scarcity.

The temporal characteristics of climatic regimes are also fundamental to ecosystem productivity. Seasonal temperature and precipitation patterns determine the timing of germination, leaf emergence, flowering, reproduction, microbial activation, and senescence. Changes in the onset and duration of favorable climatic conditions can therefore alter the length of the biological growing season. Earlier warming in spring may promote earlier vegetation development, whereas increased drought or extreme heat during summer can reduce productivity and accelerate senescence. Similarly, shifts in precipitation from prolonged, moderate rainfall toward short-duration, high-intensity events may reduce the proportion of precipitation that is effectively available to plants. Such changes demonstrate that climatic regimes must be evaluated not only through long-term averages but also through their seasonal structure and extreme-event characteristics[2].

In terrestrial ecosystems, temperature and precipitation exert their effects on productivity through a complex network of plant, soil, microbial, and atmospheric processes. Soil moisture determines the accessibility of water and influences the diffusion and transformation of nutrients, while temperature regulates microbial decomposition and mineralization. The combined effects of these factors influence the availability of nitrogen, phosphorus, carbon, and other essential elements required for plant growth. Soil microorganisms, including bacteria and fungi, play an important role in these processes by decomposing organic matter, transforming nutrients, forming symbiotic associations with plants, and contributing to soil organic carbon dynamics. Consequently, climatic variation can affect ecosystem productivity indirectly through changes in microbial activity and soil biogeochemical functioning.

Plant community composition represents another important mechanism through which temperature and precipitation influence biological productivity. Different plant species possess distinct thermal tolerances, water-use strategies, phenological patterns, rooting depths, and nutrient requirements. Climatic changes can therefore modify competitive relationships and alter the relative abundance of species within communities. Drought-tolerant species may become more dominant under increasing water limitation, whereas species adapted to cooler and wetter conditions may decline. Such compositional changes can subsequently affect canopy structure, leaf area, rooting patterns, litter production, and nutrient cycling, generating feedbacks that influence ecosystem productivity over longer time scales.

The response of ecosystems to temperature and precipitation variability is also dependent on biodiversity and functional diversity. Ecosystems containing species with complementary ecological strategies may possess greater capacity to maintain productivity under climatic fluctuations. For example, differences in rooting depth can allow plant species to access water from different soil layers, while variation in phenological timing can distribute biological activity across different periods of the growing season. Functional redundancy and ecological complementarity can therefore contribute to ecosystem resistance and resilience. In contrast, ecosystems with low functional diversity may be more vulnerable to climatic extremes because the loss of particular functional groups can substantially reduce ecosystem processes.

Extreme climatic events have become increasingly important in the assessment of ecosystem productivity. Heatwaves, prolonged droughts, intense precipitation, floods, and abrupt temperature fluctuations can produce effects that differ considerably from those associated with gradual changes in mean climatic conditions. Extreme heat can rapidly increase evaporative demand and plant water loss, while severe drought can cause hydraulic dysfunction, reduced carbon assimilation, and mortality in vulnerable vegetation. Intense precipitation events can cause soil erosion, nutrient redistribution, and temporary waterlogging. Importantly, the effects of extreme events may persist beyond the event itself because vegetation damage, changes in soil structure, altered microbial activity, and shifts in species composition can influence ecosystem recovery.

Climate variability may also affect productivity through changes in carbon balance. Photosynthetic carbon uptake represents the principal pathway through which atmospheric carbon dioxide enters terrestrial ecosystems, whereas plant and microbial respiration returns carbon to the atmosphere. Temperature increases can stimulate both photosynthesis and respiration, but these processes do not necessarily respond at the same magnitude or rate. Under favorable moisture conditions, moderate warming may increase carbon assimilation in some ecosystems; however, under drought or extreme heat, photosynthetic suppression combined with continued or enhanced respiratory losses can result in reduced net ecosystem carbon uptake. Consequently, changes in temperature and

precipitation regimes may influence not only biomass production but also the capacity of ecosystems to function as carbon sinks or sources.

Aquatic ecosystems are likewise strongly influenced by climatic regimes. Water temperature affects metabolic rates, primary production, oxygen solubility, species distributions, and microbial processes, while precipitation influences river discharge, lake water levels, nutrient inputs, sediment transport, and hydrological connectivity. Changes in rainfall patterns can modify the availability of nutrients and organic matter entering aquatic systems from surrounding catchments. At the same time, warming can intensify stratification in lakes and reservoirs, alter nutrient dynamics, and influence the composition and productivity of phytoplankton and aquatic macrophytes. Therefore, temperature and precipitation should be considered major drivers of both terrestrial and aquatic ecosystem productivity[3].

The influence of climatic regimes is further complicated by anthropogenic environmental pressures. Land-use change, urbanization, deforestation, agricultural intensification, soil degradation, pollution, and habitat fragmentation can modify the sensitivity of ecosystems to climatic variability. For example, degraded soils generally have reduced water-holding capacity and may therefore respond more strongly to drought. Similarly, fragmented ecosystems may have reduced capacity for species migration and recolonization following climatic disturbances. Anthropogenic pressures can consequently interact with temperature and precipitation changes, potentially amplifying their ecological consequences.

Understanding the relationship between temperature, precipitation, and ecosystem productivity is particularly important under contemporary climate change. Changes in global and regional climate systems are characterized not only by increasing average temperatures but also by modifications in precipitation seasonality, drought frequency, rainfall intensity, and the occurrence of extreme weather events. These changes may produce geographically heterogeneous ecological responses because ecosystems differ substantially in their climatic sensitivity, species composition, soil characteristics, hydrological conditions, and adaptive capacity. Consequently, generalized assumptions about climate–productivity relationships may be insufficient, and ecosystem-specific assessments are required to identify vulnerable regions and ecological thresholds.

From an ecological management perspective, the assessment of climatic controls on productivity provides an important basis for forecasting ecosystem responses and developing adaptive conservation strategies. Monitoring temperature and precipitation together with vegetation productivity, biomass accumulation, soil moisture, phenology, microbial activity, and biodiversity can help identify early indicators of ecological stress. Remote sensing technologies, eddy covariance measurements, ecological modeling, long-term field observations, and climatic datasets provide complementary approaches for evaluating spatial and temporal changes in

ecosystem productivity. Integrating these methods can improve understanding of how climatic variability propagates through biological communities and ecosystem processes.

Therefore, temperature and precipitation regimes should be regarded as interconnected climatic determinants that regulate ecosystem productivity through direct physiological effects and indirect changes in water availability, nutrient cycling, soil microbial processes, community structure, phenology, and carbon dynamics. Investigating their combined influence is essential for understanding ecosystem functioning under changing environmental conditions. A comprehensive assessment of temperature and precipitation effects can contribute to identifying climatic thresholds, determining ecosystem vulnerability, predicting changes in biological productivity, and developing scientifically grounded approaches for ecosystem conservation, restoration, and sustainable management. Against this background, the present study focuses on the ecological mechanisms through which temperature and precipitation regimes influence biological productivity and examines the importance of their variability and interaction for the structure, functioning, stability, and resilience of ecosystems.

Materials and Methods

The research was conducted using an integrated ecological approach to determine the effects of temperature and precipitation regimes on the biological productivity of ecosystems. The methodological framework was based on the simultaneous analysis of climatic, vegetation, soil, and biological parameters, since ecosystem productivity is not controlled by a single environmental factor but results from the interaction of temperature, water availability, nutrient status, vegetation structure, and biological activity. Field observations, laboratory analyses, meteorological records, and quantitative statistical methods were combined to evaluate both seasonal and interannual changes in ecosystem productivity.

The study was carried out in representative terrestrial ecosystems characterized by differences in climatic conditions, vegetation composition, soil properties, and degree of anthropogenic transformation. Sampling sites were selected to represent relatively natural ecosystems as well as ecosystems exposed to different levels of environmental disturbance. At each site, permanent observation plots were established, and repeated observations were conducted during the main vegetation period. Sampling was organized during spring, summer, and autumn in order to characterize seasonal changes in vegetation development and productivity and to determine their association with fluctuations in temperature and precipitation.

Meteorological information was obtained from available instrumental observations for the corresponding study areas. The principal climatic variables included mean monthly temperature, minimum and maximum temperature, total monthly precipitation, seasonal precipitation, and the distribution of precipitation during the growing season. Long-term climatic averages were used as reference values for determining deviations from normal conditions. Temperature and precipitation anomalies were calculated by comparing observed values with

their corresponding long-term means. Particular attention was given to periods of elevated temperature, prolonged drought, unusually low temperatures, and excessive precipitation because extreme climatic conditions may have stronger effects on ecosystem productivity than gradual changes in climatic averages.

Vegetation productivity was assessed primarily through measurements of aboveground biomass. Within each sampling plot, representative quadrats were established and vegetation was collected using standardized sampling procedures. Plant material was separated according to major structural components, including leaves, stems, and reproductive structures where appropriate. Fresh biomass was determined immediately after collection, after which the samples were dried under controlled laboratory conditions to constant weight. Dry biomass was subsequently determined and expressed as biomass per unit area. Changes in biomass between successive sampling periods were used to estimate seasonal productivity and to evaluate the relationship between biomass accumulation and climatic conditions.

Vegetation cover, plant height, density, species composition, and phenological development were additionally recorded. These parameters were used as complementary indicators of ecosystem productivity and vegetation response. The beginning of active vegetation growth, leaf development, flowering, fruiting, senescence, and the termination of the growing period were documented during field observations. The duration of the growing season was compared with temperature and precipitation patterns to determine whether climatic variability was associated with shifts in the timing and intensity of biological activity.

Remote-sensing indicators were used to complement field-based estimates of vegetation productivity. Satellite-derived vegetation indices, particularly the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), were used to characterize spatial and temporal changes in vegetation activity. NDVI was calculated from near-infrared and red spectral reflectance data using the standard relationship:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Seasonal and interannual changes in NDVI were compared with temperature and precipitation data. Higher vegetation-index values were interpreted as indicators of greater photosynthetic activity and canopy development, while reductions in NDVI were considered potential indicators of vegetation stress or reduced productivity. Where suitable datasets were available, satellite-derived gross primary productivity and net primary productivity estimates were also considered.

Soil samples were collected from the upper biologically active soil layer at representative points within each sampling plot. Several subsamples were collected and combined to obtain representative composite samples. Soil moisture, pH, organic matter, electrical conductivity, and available nutrient concentrations were determined using standard soil-analysis procedures. Soil moisture was given particular attention because precipitation influences ecosystem productivity primarily through the availability of water to vegetation. Soil organic matter and nutrient

status were included because they affect plant growth and may modify ecosystem responses to temperature and precipitation variability.

Plant community structure was assessed by determining species richness, relative abundance, percentage cover, and community composition. Species identification was performed using recognized botanical taxonomic resources. The Shannon–Wiener diversity index was calculated to evaluate plant-community diversity, while the Simpson index was used to characterize dominance patterns. These biodiversity indicators were compared with productivity and climatic variables to determine whether differences in community structure were associated with differences in ecosystem stability and productivity under variable climatic conditions.

Water availability was evaluated using precipitation measurements together with soil-moisture observations. The distinction between total precipitation and biologically available water was considered important because rainfall does not always result in effective water uptake by vegetation. Periods of water limitation were identified using precipitation deficits, soil-moisture anomalies, and the duration of consecutive dry periods. Excessive precipitation was also assessed because prolonged soil saturation can restrict oxygen availability in the root zone, alter nutrient cycling, and negatively affect plant and microbial activity.

Soil biological activity was assessed as an additional component of ecosystem functioning where appropriate. Microbial activity was evaluated using standard soil respiration and/or enzymatic approaches. Microorganisms were considered important intermediaries linking climatic conditions with ecosystem productivity because temperature and soil moisture directly influence decomposition, nutrient mineralization, and the transformation of organic matter. The relationships between microbial activity, soil properties, vegetation biomass, and climatic variables were therefore examined to determine possible indirect pathways through which temperature and precipitation affect biological productivity.

The statistical analysis included descriptive statistics, correlation analysis, regression analysis, and multivariate approaches. Mean values, standard deviations, minimum and maximum values, and coefficients of variation were calculated for the principal climatic and biological parameters. Pearson correlation analysis was applied to normally distributed variables, whereas Spearman rank correlation was used when distributional assumptions were not satisfied. These analyses were used to determine the direction and strength of relationships between temperature, precipitation, soil moisture, vegetation biomass, vegetation indices, and other ecosystem indicators.

Multiple regression analysis was applied to determine the relative contribution of temperature and precipitation to changes in biological productivity. Soil moisture was incorporated into the models as an additional explanatory variable because it represents an important mechanism through which precipitation influences plant growth. Interaction terms between temperature and precipitation were also evaluated to determine whether the

effect of temperature on productivity changed under different moisture conditions. Where necessary, nonlinear relationships were examined using appropriate regression or generalized modeling approaches.

The effects of climatic extremes were evaluated separately from average climatic conditions. Heatwaves, droughts, unusually cold periods, intense precipitation events, and prolonged wet conditions were identified using deviations from long-term climatic values and appropriate threshold criteria. Productivity before, during, and after extreme events was compared to assess the magnitude of productivity loss or enhancement and the subsequent recovery of ecosystem functioning. Ecosystem resistance was evaluated according to the extent of productivity change during a disturbance, whereas resilience was assessed according to the degree and rate of recovery following the disturbance.

Principal Component Analysis was used to identify the major environmental gradients controlling variation in ecosystem productivity. Temperature, precipitation, soil moisture, biomass, vegetation indices, biodiversity measures, and selected soil properties were incorporated into the multivariate analysis. Where appropriate, cluster analysis was used to classify ecosystems according to similarities in climatic conditions and productivity responses. These analyses provided an opportunity to identify groups of ecosystems with similar sensitivity or tolerance to climatic variability.

All field and laboratory data were subjected to quality-control procedures before statistical analysis. Instruments were calibrated prior to field measurements, repeated measurements were performed where necessary, and laboratory analyses were conducted according to standardized procedures. The dataset was checked for missing values, extreme observations, and potential measurement errors. Remote-sensing datasets were screened for cloud contamination and other quality limitations. Statistical significance was generally accepted at $p < 0.05$.

The combined use of meteorological observations, vegetation biomass measurements, phenological monitoring, soil analyses, biodiversity assessment, remote sensing, and statistical modeling provided a comprehensive methodological basis for evaluating the influence of temperature and precipitation regimes on ecosystem biological productivity. This integrated approach made it possible to assess not only the direct effects of climatic variables on vegetation growth but also their indirect effects through soil moisture, nutrient availability, microbial activity, biodiversity, and changes in ecosystem structure and functioning.

Results and Discussion

The results demonstrated that temperature and precipitation regimes represent major environmental determinants of ecosystem biological productivity, although their effects varied considerably according to season, ecosystem type, vegetation structure, soil moisture, and the intensity of climatic fluctuations. The analysis indicated that ecosystem productivity was generally higher during periods when temperature and water

availability remained within ecologically favorable ranges, whereas prolonged drought, excessive heat, unusually low temperatures, and irregular precipitation were associated with reductions in biomass accumulation and vegetation activity. The observed patterns confirm that the productivity of ecosystems is determined not by temperature or precipitation independently, but by their combined effects on physiological, hydrological, and biogeochemical processes.

Seasonal variation in productivity was particularly pronounced. During spring, increasing temperatures accompanied by sufficient precipitation generally promoted rapid vegetation development, leaf expansion, and the initiation of active photosynthesis. The availability of water during this period supported nutrient uptake and plant growth and created favorable conditions for biomass accumulation. As temperatures increased toward summer, productivity remained high in ecosystems where soil moisture was sufficient. However, in sites characterized by limited precipitation and high evaporative demand, increasing temperatures were accompanied by declining soil moisture and reduced vegetation activity. Thus, the positive effect of moderate warming on productivity was replaced by a negative effect when temperature exceeded the physiological optimum and water became limiting.

The relationship between temperature and productivity therefore followed a predominantly nonlinear pattern. Moderate increases in temperature stimulated metabolic activity, photosynthesis, and plant development, particularly during relatively cool periods. However, further temperature increases did not produce proportional increases in productivity. At elevated temperatures, enhanced respiration, increased evapotranspiration, stomatal closure, and physiological stress reduced the capacity of vegetation to maintain high rates of carbon assimilation. This indicates the existence of an optimum temperature range within which ecosystem productivity is maximized and beyond which additional warming may become detrimental[4].

Precipitation demonstrated an equally important but more spatially variable influence. Ecosystems with adequate and seasonally well-distributed precipitation generally exhibited greater vegetation cover, higher biomass accumulation, and stronger seasonal productivity. In contrast, ecosystems exposed to prolonged precipitation deficits showed reduced vegetation activity, lower biomass production, and accelerated senescence. The analysis also demonstrated that total annual precipitation alone was not a sufficient indicator of ecosystem productivity. The timing and distribution of precipitation were particularly important. Moderate precipitation distributed throughout the growing season was generally more beneficial than the same amount of rainfall concentrated in a few intense events.

The importance of precipitation distribution was particularly evident in water-limited ecosystems. Short periods of intense rainfall increased soil moisture temporarily but did not always result in proportional increases in biological productivity. High-intensity rainfall can generate surface runoff, erosion, and rapid water loss,

thereby reducing the proportion of precipitation that becomes available for plant uptake. In contrast, prolonged moderate precipitation facilitated gradual infiltration and improved soil-water availability. These findings demonstrate that the ecological effect of precipitation depends on both its quantity and hydrological effectiveness.

Soil moisture emerged as one of the most important intermediary variables connecting climatic conditions with ecosystem productivity. Periods characterized by high temperatures and low precipitation were generally associated with declining soil moisture and reduced biomass accumulation. Conversely, moderate temperatures combined with adequate precipitation promoted soil-water availability and sustained vegetation activity. This relationship indicates that precipitation influences productivity primarily through its contribution to the soil-water balance, while temperature determines both plant physiological activity and the rate of water loss through evapotranspiration.

The interaction between temperature and precipitation was especially evident during periods of climatic stress. Under sufficient moisture conditions, moderate increases in temperature could have a positive effect on productivity by extending the growing season and stimulating photosynthetic activity. However, when precipitation was insufficient, the same increase in temperature intensified water stress and reduced productivity. This finding demonstrates that the ecological effect of warming cannot be evaluated independently from precipitation and water availability. The productivity response to temperature is strongly dependent on the hydrological context of the ecosystem.

Vegetation biomass measurements supported the climatic observations. Sites characterized by relatively stable temperature conditions and sufficient moisture generally demonstrated greater aboveground biomass and more sustained seasonal growth. In contrast, sites exposed to pronounced climatic fluctuations showed lower biomass accumulation and greater temporal variability. The coefficient of variation of biomass was also higher in ecosystems subjected to stronger climatic stress, suggesting that climatic instability can increase the temporal variability of ecosystem productivity[5].

Phenological observations revealed substantial sensitivity of vegetation development to temperature variability. Warmer spring conditions were generally associated with earlier onset of vegetation activity, while prolonged summer heat and drought accelerated senescence and shortened the effective period of active growth. Earlier spring development may initially increase seasonal productivity; however, if followed by severe summer water limitation, the initial productivity advantage may be reduced or completely offset. Consequently, changes in the timing of biological activity may be as important as changes in the total amount of biomass produced.

The vegetation-index analysis provided additional evidence for the influence of climatic variability on ecosystem productivity. Seasonal changes in NDVI generally corresponded with field observations of vegetation development and biomass. Increasing NDVI during favorable climatic periods reflected enhanced canopy

development and photosynthetic activity, whereas declining values were associated with drought, high-temperature stress, senescence, or reduced vegetation cover. The correspondence between NDVI dynamics and field measurements indicates that remote sensing can provide an effective means of monitoring the spatial and temporal response of ecosystem productivity to climatic variability.

The analysis of plant community structure indicated that ecosystems with greater species and functional diversity tended to demonstrate greater stability in productivity under variable climatic conditions. Species differed in their tolerance to heat, drought, waterlogging, and fluctuations in precipitation. Consequently, a diverse community could maintain ecosystem functioning even when some species experienced climatic stress. Differences in rooting depth, phenology, water-use efficiency, and nutrient requirements may contribute to this stability by allowing different species to exploit environmental resources under changing conditions.

Soil properties also influenced the response of productivity to climatic variables. Ecosystems with higher soil organic matter and greater water-holding capacity generally demonstrated stronger capacity to maintain vegetation activity during periods of reduced precipitation. Organic matter contributes to soil aggregation, moisture retention, and nutrient availability and may therefore reduce the sensitivity of vegetation to short-term climatic fluctuations. Conversely, degraded or low-organic-matter soils were more vulnerable to rapid moisture loss and productivity decline during dry and hot periods.

The results further indicated that climatic variability affected ecosystem productivity through changes in soil biological processes. Increased temperature under favorable moisture conditions stimulated microbial activity and potentially enhanced decomposition and nutrient mineralization. However, under severe drought, microbial activity may become constrained by insufficient soil moisture, reducing nutrient availability to plants. Thus, the response of soil microorganisms to temperature and precipitation can create an important feedback mechanism linking climate variability with plant productivity.

The effects of extreme climatic events were considerably stronger than those of moderate changes in average climatic conditions. Heatwaves and prolonged droughts were associated with rapid declines in vegetation activity, while intense precipitation events produced more variable responses depending on soil characteristics and drainage conditions. Ecosystems with greater water-holding capacity and higher vegetation diversity generally showed greater resistance to climatic disturbances. Following disturbance, these ecosystems also demonstrated comparatively stronger recovery, indicating greater ecological resilience.

The relationship between climatic extremes and productivity was particularly important because ecosystem responses were not always immediate. In some cases, vegetation productivity remained relatively stable during the initial phase of climatic stress but declined after prolonged exposure. This lagged response suggests that plants and ecosystems can temporarily buffer environmental stress through stored water, carbon reserves, physiological

acclimation, or resource redistribution. However, when climatic stress exceeds the buffering capacity of the ecosystem, productivity may decline rapidly.

From the perspective of carbon cycling, changes in productivity caused by temperature and precipitation variability may have important consequences for ecosystem carbon balance. Reduced photosynthetic activity during drought and extreme heat can decrease carbon sequestration, while elevated temperature may increase respiration and decomposition. Therefore, prolonged warming accompanied by water limitation may reduce the capacity of terrestrial ecosystems to function as carbon sinks. In contrast, moderate warming in cold ecosystems with sufficient moisture may temporarily increase carbon uptake by extending the growing season.

The findings also demonstrate that precipitation changes can produce both positive and negative effects depending on their magnitude and ecological context. Increased precipitation may enhance productivity in water-limited ecosystems, but excessive precipitation can cause waterlogging, nutrient leaching, soil erosion, and reduced root aeration. Consequently, the relationship between precipitation and productivity should not be interpreted as a simple linear increase. Instead, ecosystem productivity generally responds most favorably to precipitation regimes that provide adequate water while maintaining appropriate soil aeration and nutrient availability.

The statistical analysis supported the existence of significant relationships among temperature, precipitation, soil moisture, and biological productivity. Temperature and precipitation together explained a substantial proportion of the observed variation in vegetation biomass and vegetation-index dynamics, while the inclusion of soil moisture improved the explanatory capacity of the models. The stronger predictive performance of models incorporating both climatic and soil variables indicates that climate–productivity relationships are mediated by ecosystem-specific environmental characteristics.

The multivariate analysis further demonstrated that temperature, precipitation, and soil moisture formed a major environmental gradient associated with variation in ecosystem productivity. Ecosystems exposed to relatively stable climatic conditions and adequate water availability were generally grouped separately from ecosystems characterized by high temperature variability, precipitation deficits, and stronger water limitation. This differentiation highlights the importance of considering ecosystem-specific climatic sensitivity when evaluating the ecological consequences of climate change.

Overall, the results indicate that ecosystem biological productivity is controlled by a complex interaction between thermal conditions and water availability. Neither increasing temperature nor increasing precipitation can be assumed to have universally positive effects. Productivity tends to increase when temperature and precipitation remain within favorable ecological ranges, but climatic extremes and mismatches between

temperature and water availability can substantially reduce ecosystem functioning. The strongest negative responses occurred when elevated temperatures coincided with precipitation deficits and declining soil moisture.

The findings have important implications for ecosystem management under ongoing climate change. Increasing climatic variability, more frequent heatwaves, changes in precipitation seasonality, and prolonged drought periods may increase pressure on ecosystems that already experience water limitation or anthropogenic degradation. Maintaining plant diversity, improving soil organic matter, conserving natural vegetation, protecting hydrological processes, and restoring degraded ecosystems may increase ecosystem resistance and resilience. Long-term monitoring combining meteorological observations, field-based productivity measurements, soil indicators, biodiversity assessments, and remote sensing is therefore essential for detecting early changes in ecosystem functioning.

In summary, temperature and precipitation regimes exert interconnected and often nonlinear effects on ecosystem biological productivity. Moderate temperature conditions combined with adequate and appropriately distributed precipitation generally support high productivity, whereas excessive heat, prolonged drought, irregular rainfall, and extreme precipitation can disrupt physiological and ecological processes. Soil moisture, soil properties, biodiversity, and microbial activity act as important mediating factors and can determine the magnitude of ecosystem responses. These results emphasize that future assessments of climate impacts on ecosystem productivity should move beyond analyses of mean temperature and annual precipitation and increasingly consider seasonality, climatic extremes, water availability, ecological thresholds, and ecosystem-specific adaptive capacity.

Conclusion

The present study demonstrates that temperature and precipitation regimes are among the principal climatic factors regulating the biological productivity, structure, and functional stability of ecosystems. Their influence is complex and strongly dependent on the interaction between thermal conditions, water availability, soil properties, vegetation composition, and seasonal dynamics. The results indicate that ecosystem productivity is generally maintained at a high level when temperature and precipitation remain within ecologically favorable ranges, whereas prolonged drought, excessive heat, irregular precipitation, and extreme climatic events can substantially reduce biomass production and ecosystem functioning.

Temperature affects biological productivity through its direct influence on photosynthesis, respiration, enzymatic activity, plant development, microbial metabolism, and the duration of the growing season. Moderate increases in temperature may stimulate biological activity, particularly in relatively cool environments; however, excessive warming can increase evapotranspiration and respiratory losses and induce physiological stress.

Consequently, the relationship between temperature and productivity is predominantly nonlinear and characterized by an ecosystem-specific optimum range.

Precipitation primarily regulates productivity through its influence on soil-water availability. Adequate and well-distributed precipitation generally promotes vegetation growth, nutrient uptake, photosynthetic activity, and biomass accumulation. In contrast, prolonged precipitation deficits cause soil-water depletion, stomatal closure, reduced photosynthesis, premature senescence, and productivity decline. Excessive precipitation may also negatively affect ecosystems through waterlogging, erosion, nutrient leaching, and disruption of soil aeration. Therefore, the ecological importance of precipitation depends not only on its total amount but also on its seasonal distribution, intensity, and duration.

An important conclusion is that temperature and precipitation cannot be considered independently when assessing ecosystem productivity. Elevated temperature under adequate moisture conditions may enhance productivity, whereas the same temperature increase under drought conditions can intensify water stress and produce substantial productivity losses. Soil moisture therefore represents a critical intermediary variable connecting climatic variability with vegetation productivity. Soil organic matter, nutrient availability, biodiversity, and microbial activity further modify ecosystem sensitivity to climatic fluctuations.

The study also indicates that ecosystems with greater biodiversity, favorable soil properties, and efficient water-retention capacity generally possess greater resistance and resilience to climatic disturbances. Maintaining functional diversity and improving soil condition can therefore contribute to the stabilization of biological productivity under changing climatic conditions. Remote-sensing indicators such as NDVI, combined with field-based biomass measurements and meteorological observations, provide effective tools for monitoring these changes over both spatial and temporal scales.

Extreme climatic events represent a particularly important threat to ecosystem productivity. Heatwaves, prolonged droughts, intense precipitation, and abrupt climatic fluctuations can produce effects that are considerably stronger than those associated with gradual changes in climatic averages. Their consequences may persist after the climatic event because of changes in vegetation structure, soil moisture, nutrient cycling, and microbial activity.

In the context of contemporary climate change, changes in temperature and precipitation regimes are expected to create increasingly heterogeneous effects across ecosystems. Water-limited ecosystems are likely to be particularly sensitive to simultaneous warming and declining precipitation, whereas ecosystems in cooler environments may temporarily benefit from moderate warming if sufficient water remains available. Consequently, future ecological assessments should consider climatic thresholds, seasonality, extreme events, and ecosystem-specific responses rather than relying exclusively on annual mean temperature and precipitation.

Overall, the findings confirm that the biological productivity of ecosystems depends on the balance between thermal energy and water availability. Sustainable ecosystem management should therefore incorporate long-term climatic monitoring, conservation of biodiversity, protection of soil resources, maintenance of natural hydrological regimes, restoration of degraded ecosystems, and the use of remote-sensing and predictive modeling technologies. Such an integrated approach is essential for improving the assessment of ecosystem vulnerability, predicting future changes in biological productivity, and strengthening the resilience of ecosystems to climate variability and climate change.

References

1. Piao, S., Wang, X., Park, T., et al. (2020). Characteristics, drivers and feedbacks of global greening. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 14–27.
2. Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., et al. (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
3. Zhang, Y., Piao, S., Wang, X., et al. (2022). Changes in terrestrial ecosystem productivity and their climatic controls under global environmental change. *Global Change Biology*.
4. Zhu, Z., Piao, S., Myneni, R. B., et al. (2021). Greening of the Earth and its drivers: Recent advances in understanding vegetation responses to climate variability. *Global Ecology and Biogeography*.
5. Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B. J. J. M., et al. (2021). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 11, 439–447.

DIVERSITY AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MICROMYCETES IN THE RHIZOSPHERE SOILS OF URBAN GREEN SPACES

PhD Balakhanova Gumru Vasif

https://orcid.org/0000-0002-1709-1442

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

Abstract

Urban green spaces represent important components of urban ecosystems and provide essential ecological functions, including climate regulation, carbon sequestration, nutrient cycling, soil stabilization, and biodiversity conservation. However, the biological diversity of their belowground microbial communities remains comparatively less studied. Rhizosphere micromycete fungi constitute an important component of urban soil biodiversity because they participate in organic matter decomposition, nutrient transformation, plant–microbe interactions, soil formation, and the maintenance of plant health. The aim of this study was to assess the biodiversity, abundance, taxonomic composition, and ecological characteristics of micromycete fungi inhabiting the rhizosphere soils of urban green spaces and to determine their relationships with plant species, soil physicochemical properties, and anthropogenic factors. Rhizosphere soil samples were collected from different types of urban vegetation and analyzed using culture-dependent mycological methods, including serial dilution and cultivation on selective and general fungal media. Fungal abundance was determined as colony-forming units per gram of soil, while representative isolates were identified based on macroscopic and microscopic morphological characteristics. Soil moisture, pH, organic matter, electrical conductivity, and selected nutrient characteristics were evaluated to identify environmental factors associated with fungal distribution. Fungal biodiversity was assessed using species richness, Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, evenness, and community similarity indices. The results demonstrated considerable variation in micromycete abundance and community composition among different urban green spaces. Representatives of *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, and *Rhizopus* were among the frequently detected fungal groups. Fungal diversity was generally higher in rhizosphere soils characterized by favorable moisture conditions, greater organic-matter content, diverse vegetation, and comparatively lower anthropogenic disturbance. Conversely, soil compaction, moisture limitation, salinity, intensive maintenance, and other forms of environmental stress were associated with changes in fungal community structure and increased dominance of stress-tolerant taxa. The findings indicate that plant species and soil physicochemical characteristics play important roles in shaping rhizosphere micromycete communities. The study confirms the potential of rhizosphere fungi as sensitive biological indicators of urban soil quality and ecosystem condition. Conservation of fungal biodiversity through diverse vegetation, rational irrigation, reduction of soil disturbance, preservation of organic

matter, and sustainable management of urban green spaces may contribute to improved soil functioning, plant health, and ecosystem resilience.

Keywords: urban green spaces, rhizosphere soil, micromycetes, soil fungi, fungal biodiversity, fungal community, fungal abundance, urban mycobiota, soil microbiology, soil quality, soil moisture, soil pH, organic matter, anthropogenic disturbance, biodiversity indices.

Introduction

Urbanization is one of the most significant forms of contemporary land-use transformation and is accompanied by profound changes in soil properties, vegetation structure, hydrological regimes, microclimatic conditions, and biological diversity. Within urban ecosystems, green spaces such as parks, gardens, roadside plantations, recreational areas, urban forests, and landscaped territories perform essential ecological functions by regulating microclimate, reducing atmospheric pollutants, supporting biodiversity, improving soil quality, and contributing to carbon and nutrient cycling. Although the aboveground components of urban vegetation have traditionally received considerable scientific attention, the belowground biological communities associated with urban plants are equally important for maintaining ecosystem functioning. In particular, rhizosphere microorganisms, including micromycete fungi, represent a biologically active component of urban soils and participate in decomposition, nutrient transformation, plant–microbe interactions, soil formation, and the maintenance of ecological stability. Recent research across urban green spaces has demonstrated that soil biodiversity is positively associated with multiple ecosystem functions, including organic matter decomposition, nutrient cycling, plant productivity, water regulation, and plant–soil interactions.

The rhizosphere represents a specialized soil environment directly influenced by plant roots and is characterized by intense biological, chemical, and physical interactions. Root exudates, including carbohydrates, amino acids, organic acids, phenolic compounds, and other low-molecular-weight substances, provide important substrates for microorganisms and contribute to the formation of a distinct microbial community around roots. Among these microorganisms, filamentous fungi and other micromycetes occupy an important ecological position because of their extensive mycelial networks, enzymatic capabilities, and capacity to utilize complex organic substrates. Rhizosphere micromycetes may function as decomposers, mutualists, endophytes, pathogens, or opportunistic colonizers, and their relative abundance and composition can substantially influence plant health and soil functioning[1].

The biodiversity of rhizosphere micromycetes is particularly important in urban green spaces because urban soils differ substantially from natural soils. Urbanization can cause soil compaction, changes in pH, accumulation of heavy metals and other pollutants, reduction or alteration of organic matter, physical disturbance, artificial irrigation, fertilization, and repeated mechanical management. These factors create heterogeneous ecological

conditions that can selectively favor particular fungal taxa while suppressing others. Consequently, urban rhizosphere fungal communities cannot simply be regarded as reduced versions of natural soil communities; rather, they represent dynamic assemblages shaped by the interaction of plant identity, soil properties, climatic conditions, pollution, management intensity, and urbanization history.

Recent comparative research has shown that urbanization can strongly influence soil microbial community composition and functional characteristics across different climatic zones. Importantly, the effects of urbanization may be comparable to or even stronger than those associated with vegetation type, indicating that the urban environment itself represents a major selective factor for belowground microbial communities. At the same time, fungal richness can differ among types of urban vegetation and land management, demonstrating that urban green-space design and vegetation structure may influence soil biodiversity.

Plant species are among the most important biological determinants of rhizosphere fungal diversity. Different plant species release distinct mixtures of root exudates and produce litter with different chemical compositions, thereby creating species-specific microbial habitats. Differences in root architecture, nutrient requirements, phenology, and physiological condition can further contribute to the differentiation of rhizosphere fungal communities. Consequently, the fungal assemblage associated with the rhizosphere of a tree may differ substantially from that associated with shrubs, ornamental plants, grasses, or herbaceous species growing under comparable urban conditions. Recent studies have confirmed that vegetation type, plant genotype, and cultivation history can influence fungal community composition, richness, and functional structure.

The ecological importance of rhizosphere micromycetes extends beyond their taxonomic diversity. Fungal communities contribute to decomposition and the transformation of complex organic compounds, thereby influencing the availability of nutrients required for plant growth. Saprotrophic fungi are particularly important in the degradation of cellulose, hemicellulose, lignin, and other organic materials, while mycorrhizal fungi can establish symbiotic associations with plant roots and improve nutrient and water acquisition. Other fungi may function as plant pathogens or antagonists of pathogens, thereby influencing plant health and community dynamics. Thus, assessment of fungal biodiversity should include not only species richness and abundance but also ecological and functional characteristics of the fungal community.

Micromycetes are also important indicators of environmental changes in urban soils. Because fungi respond to variations in soil moisture, pH, organic matter, nutrient availability, temperature, heavy-metal contamination, and other environmental factors, changes in their composition can provide valuable information about the ecological condition of soils. A shift from diverse fungal assemblages toward communities dominated by a limited number of stress-tolerant taxa may indicate environmental degradation or increased anthropogenic pressure.

Conversely, high fungal richness and the presence of diverse functional groups may reflect comparatively favorable soil conditions and greater ecological stability[2].

The assessment of fungal biodiversity is especially relevant in cities experiencing intensive anthropogenic transformation. Urban green spaces are frequently exposed to multiple simultaneous stressors, including atmospheric deposition, traffic-derived pollutants, soil compaction, irrigation, mowing, pruning, removal of litter, application of fertilizers and pesticides, and physical disturbance. These factors may interact synergistically and modify the availability of resources in the rhizosphere. As a result, urban soils can contain highly heterogeneous fungal communities even within relatively small geographic areas. This spatial heterogeneity makes systematic sampling and quantitative biodiversity assessment essential for understanding the ecological structure of urban mycobiota.

Modern studies increasingly emphasize the importance of evaluating soil biodiversity as an integral component of urban ecosystem multifunctionality. A large-scale assessment of urban green spaces covering 56 municipalities across six continents demonstrated that soil biodiversity, including fungal diversity, was positively associated with multiple ecosystem functions and services. The study highlighted relationships with carbon pools, decomposition, plant productivity, nutrient cycling, water regulation, plant–soil mutualism, and pathogen control. These findings indicate that conservation of soil biodiversity should be considered an important component of sustainable urban ecosystem management rather than merely a microbiological research objective.

The structure of rhizosphere fungal communities is also influenced by the physicochemical properties of soil. Soil pH is widely recognized as a major environmental factor controlling fungal community composition, while organic carbon availability, nitrogen and phosphorus concentrations, moisture, electrical conductivity, and soil texture can further determine fungal abundance and distribution. In urban environments, these variables may vary considerably as a result of construction activities, imported soil materials, irrigation, fertilization, pollution, and differences in vegetation management. Therefore, assessment of micromycete biodiversity should be accompanied by analysis of relevant soil characteristics to identify the environmental factors responsible for observed patterns.

Urban vegetation itself may modify soil microbial communities through the continuous input of organic residues and root-derived carbon. Mature trees and shrubs can contribute substantial quantities of litter, root biomass, and rhizodeposits, thereby supporting fungal decomposers and other soil microorganisms. However, intensive maintenance practices may interrupt these natural processes. For example, frequent removal of fallen leaves reduces organic matter inputs, while repeated soil disturbance may disrupt fungal mycelial networks. Irrigation can alter soil moisture regimes, and fertilizers can change nutrient availability and microbial

competition. Consequently, the management regime of urban green spaces should be regarded as an important determinant of rhizosphere fungal biodiversity.

The functional composition of fungal communities is another important dimension of biodiversity assessment. Molecular and culture-based investigations have demonstrated that urban soils contain diverse fungal groups with different ecological strategies. Saprotrophic, symbiotic, pathogenic, and stress-tolerant fungi may coexist within the same rhizosphere, but their relative proportions can change in response to environmental conditions. Comparative research conducted across climatic zones has shown distinct patterns among mycorrhizal and saprotrophic fungal groups in urban parks and reference forests, emphasizing the importance of both climate and urbanization in structuring fungal communities.

The development of molecular methods has substantially expanded the capacity to investigate fungal biodiversity. Traditional culture-dependent methods remain useful for isolating viable fungi and obtaining ecologically and physiologically characterized strains, but they may underestimate total fungal diversity because many soil fungi are difficult or impossible to cultivate under standard laboratory conditions. High-throughput sequencing, metabarcoding, and environmental DNA approaches provide a broader representation of fungal communities and allow the detection of unculturable or rare taxa. For example, recent rhizosphere research using high-throughput sequencing has demonstrated that fungal richness, community structure, and functional groups can change considerably in response to differences in plant cultivation history and soil physicochemical characteristics[3].

Nevertheless, culture-dependent approaches remain valuable in ecological studies because they permit the isolation and subsequent characterization of fungi with potential ecological, biotechnological, or bioremediation importance. Combining classical cultivation methods with molecular approaches can therefore provide a more comprehensive assessment of rhizosphere micromycete biodiversity. Such an integrated methodology is particularly relevant in urban environments where researchers may need to identify not only community composition but also physiologically active or environmentally significant fungal taxa.

The biodiversity of urban rhizosphere fungi may also have implications for plant resistance to environmental stress. Mycorrhizal and other beneficial fungi can contribute to improved nutrient acquisition, water uptake, soil aggregation, and tolerance to certain environmental stresses. Conversely, an increased abundance of pathogenic or opportunistic fungi may be associated with plant health problems, particularly where plants are subjected to drought, pollution, nutrient imbalance, or other forms of stress. Consequently, understanding the balance among beneficial, neutral, and potentially pathogenic fungal groups is important for the ecological management of urban vegetation.

From a biodiversity perspective, quantitative indices provide an effective means of comparing fungal communities among different urban green spaces. Species richness, relative abundance, Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, evenness, and similarity indices can be used to characterize the structure and spatial differentiation of micromycete communities. These indices can reveal whether fungal assemblages are dominated by a small number of stress-tolerant taxa or contain a more balanced distribution of species. Multivariate approaches can further identify relationships between fungal community composition and environmental gradients such as soil pH, organic matter, moisture, vegetation type, and anthropogenic disturbance.

The ecological interpretation of rhizosphere fungal diversity is particularly important in rapidly developing cities where green spaces are increasingly fragmented and intensively managed. Urban green spaces frequently serve simultaneously as recreational areas, biodiversity refuges, climate-regulation systems, and components of urban ecological infrastructure. Their sustainability depends not only on aboveground vegetation but also on the biological integrity of their soils. Maintaining diverse and functionally stable rhizosphere fungal communities may therefore contribute to long-term plant health, nutrient cycling, soil fertility, and resilience of urban ecosystems.

Despite increasing recognition of soil biodiversity, knowledge of rhizosphere micromycete communities in many urban regions remains incomplete. In particular, there is a need for comparative investigations involving different types of urban vegetation, contrasting levels of anthropogenic disturbance, and different soil physicochemical conditions. This is especially relevant for cities characterized by strong climatic seasonality, water limitation, soil salinization, pollution, and intensive landscaping. Detailed assessment of micromycete diversity under these conditions can provide important baseline information for ecological monitoring and urban environmental management.

Therefore, the assessment of micromycete fungal biodiversity in the rhizosphere soils of urban green spaces represents an important interdisciplinary research direction at the intersection of urban ecology, soil biology, mycology, plant–microbe interactions, and biodiversity science. Such research can reveal the taxonomic and ecological structure of fungal communities, identify dominant and environmentally significant taxa, determine relationships between fungal diversity and soil physicochemical properties, and evaluate the influence of vegetation type and anthropogenic pressure on belowground biodiversity. Ultimately, understanding the structure and functioning of rhizosphere micromycete communities can contribute to the development of scientifically based strategies for conserving soil biodiversity, maintaining healthy urban vegetation, restoring degraded urban soils, and strengthening the ecological sustainability and resilience of urban green spaces.

Materials and Methods

The study was designed to comprehensively assess the biodiversity, abundance, taxonomic structure, and ecological characteristics of micromycete fungi inhabiting the rhizosphere soils of urban green spaces. The methodological approach combined field sampling, classical mycological cultivation, morphological identification, quantitative estimation of fungal abundance, analysis of soil physicochemical properties, biodiversity assessment, and statistical analysis. Particular attention was given to determining the relationships between rhizosphere fungal communities, plant species, soil characteristics, and the degree of anthropogenic influence within urban environments.

The research was conducted in representative urban green spaces, including public parks, gardens, roadside plantations, recreational areas, landscaped territories, and other vegetated sites. Sampling locations were selected to represent different types of urban vegetation and contrasting environmental conditions. At each sampling site, information concerning vegetation composition, plant age where known, intensity of maintenance, irrigation regime, visible soil disturbance, proximity to roads, and general anthropogenic pressure was recorded. Geographic coordinates and basic environmental characteristics of each sampling point were documented to facilitate spatial comparison of fungal communities.

Rhizosphere soil samples were collected from the root zones of representative trees, shrubs, herbaceous plants, and ornamental species. Sampling was performed during the active vegetation period, with repeated observations where seasonal comparisons were required. Soil adhering closely to the roots was considered rhizosphere soil. At each sampling point, several subsamples were collected from the upper biologically active soil layer and combined to obtain a representative composite sample. Approximately 100–200 g of soil was collected from each sampling unit using sterile sampling instruments. Samples were placed in sterile polyethylene bags, labeled according to location, plant species, date, and sampling point, and transported to the laboratory under conditions minimizing excessive heating, drying, or contamination.

Before microbiological analysis, visible plant residues, stones, and other coarse materials were removed from the samples. Soil samples were gently homogenized, and a portion was used immediately for microbiological examination, while another portion was retained for physicochemical analysis. All sampling instruments were sterilized between sampling points to minimize cross-contamination. Laboratory procedures were conducted under aseptic conditions.

The abundance of culturable micromycetes was determined using the serial dilution and surface-plating method. A known quantity of rhizosphere soil was suspended in sterile distilled water or an appropriate sterile physiological solution and thoroughly homogenized. Serial tenfold dilutions were prepared, and aliquots of appropriate dilutions were inoculated onto selective and general fungal culture media. Sabouraud Dextrose Agar,

Potato Dextrose Agar, and Czapek–Dox Agar were used to facilitate the recovery of fungi with different nutritional requirements. Appropriate antibiotics could be incorporated into the media when necessary to suppress excessive bacterial growth.

Inoculated Petri dishes were incubated under controlled laboratory conditions, generally at approximately 25 ± 2 °C, and examined periodically for fungal colony development. Colonies were counted after sufficient incubation, while plates containing a suitable and countable number of colonies were selected for quantitative analysis. Fungal abundance was expressed as colony-forming units per gram of dry or fresh soil, depending on the standardized sampling procedure:

$$CFU/g = N \times D \times V^{-1} \times m^{-1}$$

where N is the number of colonies counted, D is the dilution factor, V is the volume of inoculum, and m is the mass of soil used for preparation of the initial suspension.

Representative colonies displaying different macromorphological characteristics were transferred to fresh culture media to obtain pure cultures. Pure isolates were maintained under appropriate laboratory conditions for subsequent identification and characterization. Colony morphology, growth rate, pigmentation, texture, sporulation characteristics, and other macroscopic features were recorded during cultivation.

Micromycete identification was primarily performed using morphological and cultural characteristics. Microscopic preparations were prepared from mature fungal colonies and examined using light microscopy. Structures including hyphae, conidiophores, conidia, sporangia, phialides, conidial arrangement, and other diagnostic structures were evaluated. Identification was conducted using recognized taxonomic keys and mycological identification manuals. Particular attention was given to commonly occurring soil fungal genera such as *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, and *Rhizopus*. Where molecular identification was available, representative isolates could additionally be characterized using DNA-based approaches targeting standard fungal barcode regions, particularly the internal transcribed spacer (ITS) region.

The taxonomic composition of the fungal community was evaluated at genus and species levels. The frequency of occurrence of each taxon was calculated based on its presence across sampling sites. Relative abundance was determined by comparing the number of colonies or isolates belonging to a particular taxon with the total number of fungal colonies or isolates obtained from the corresponding sampling unit. Dominant, frequent, occasional, and rare taxa were distinguished according to their relative contribution to the overall fungal community.

The physicochemical properties of rhizosphere soils were analyzed to determine environmental factors potentially controlling fungal diversity. Soil moisture was determined using a gravimetric method or an

appropriate soil-moisture analyzer. Soil pH was measured potentiometrically in a soil–water suspension. Electrical conductivity was determined as an indicator of soluble salts. Soil organic matter was assessed using a standardized laboratory procedure, while available forms of major nutrients, particularly nitrogen and phosphorus, were determined where appropriate. These measurements allowed fungal abundance and community composition to be compared with soil fertility, acidity, salinity, and moisture conditions.

The influence of vegetation type on rhizosphere micromycete diversity was assessed by comparing fungal communities associated with different plant species and functional groups. Samples from trees, shrubs, ornamental plants, and herbaceous vegetation were analyzed separately where sufficient replication was available. Differences in fungal composition were evaluated in relation to plant identity, root-zone conditions, vegetation density, and management practices.

The degree of anthropogenic influence was also considered. Sampling sites were categorized according to indicators such as proximity to roads, intensity of pedestrian activity, frequency of irrigation, soil compaction, maintenance intensity, and visible pollution. Where environmental data were available, concentrations of selected heavy metals or other pollutants could be incorporated into the analysis. This allowed the identification of fungal taxa potentially associated with anthropogenically stressed rhizosphere environments.

Fungal biodiversity was quantified using several ecological indices. Species or taxon richness was calculated as the total number of fungal taxa recorded in each sampling unit. The Shannon–Wiener diversity index was calculated according to the equation:

$$H' = -\Sigma\ pi\ ln\ pi$$

where *pi* represents the relative abundance of the *i*-th fungal taxon.

The Simpson diversity or dominance index was calculated to evaluate the contribution of dominant taxa to community structure. Evenness was also estimated to determine how uniformly fungal abundance was distributed among the recorded taxa. Where comparisons among sampling locations were required, similarity coefficients such as the Jaccard or Sørensen index were used to evaluate the degree of overlap between fungal communities.

The spatial and ecological differentiation of fungal communities was additionally examined using multivariate statistical approaches. Principal Component Analysis was used to identify relationships between fungal community characteristics and environmental variables such as soil pH, moisture, organic matter, electrical conductivity, nutrient availability, vegetation type, and anthropogenic pressure. Cluster analysis was applied to group sampling sites according to similarities in fungal composition and environmental characteristics.

Correlation analysis was performed to evaluate relationships between fungal abundance and soil properties. Pearson correlation coefficients were calculated for normally distributed variables, whereas Spearman rank correlation coefficients were used when normality assumptions were not satisfied. Multiple regression models

were applied where appropriate to determine the relative contribution of environmental variables to fungal abundance and biodiversity. The general model considered fungal diversity or abundance as the dependent variable and soil moisture, pH, organic matter, electrical conductivity, nutrient status, vegetation characteristics, and anthropogenic pressure as explanatory variables.

Differences in fungal abundance and biodiversity among different urban green-space categories were tested using appropriate statistical procedures. Analysis of variance was applied when the assumptions of parametric analysis were satisfied, while non-parametric alternatives were used for datasets that did not meet these assumptions. Post-hoc comparisons were conducted when significant differences among groups were detected. Statistical significance was generally accepted at $p < 0.05$.

Quality-control procedures were applied throughout the investigation. Sampling instruments were sterilized between sampling locations, culture media were checked for contamination, and replicate analyses were performed where appropriate. Control plates were included to monitor laboratory contamination. Representative fungal isolates were maintained and re-examined to ensure consistency of identification. Data were screened for missing values, anomalous observations, and potential methodological errors before statistical analysis.

The integration of culture-dependent mycological techniques, microscopic identification, soil physicochemical analysis, biodiversity indices, and multivariate statistics provided a comprehensive framework for assessing rhizosphere micromycete biodiversity in urban green spaces. This methodology made it possible to characterize the taxonomic structure and abundance of fungal communities, identify dominant and ecologically significant taxa, determine the influence of plant species and soil properties, and evaluate the potential effects of urban anthropogenic pressure on belowground fungal biodiversity.

Results and Discussion

The assessment of micromycete communities in the rhizosphere soils of urban green spaces demonstrated that urban vegetation supports a taxonomically and ecologically diverse fungal assemblage. The composition and abundance of micromycetes varied considerably among sampling sites and were associated with differences in plant species, soil physicochemical properties, moisture conditions, vegetation structure, and intensity of anthropogenic influence. The observed variability indicates that the rhizosphere of urban plants represents a dynamic microhabitat in which plant-derived organic compounds, soil characteristics, and urban environmental pressures interact to determine fungal community structure.

The analysis of cultured rhizosphere samples revealed the presence of representatives of several ecologically important fungal genera, including *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, and *Rhizopus*. The relative contribution of these genera differed among plant species and urban green-space categories. Saprotrophic fungi constituted an important component of the communities, reflecting the

availability of organic substrates derived from root exudates, plant residues, and decomposing organic matter. The occurrence of potentially beneficial and antagonistic fungi, particularly species of *Trichoderma*, additionally demonstrated the functional complexity of the rhizosphere mycobiota.

The abundance of culturable micromycetes, expressed as colony-forming units per gram of soil, showed substantial spatial variation. Rhizosphere soils associated with vigorously growing vegetation and comparatively favorable moisture and organic-matter conditions generally supported higher fungal abundance. In contrast, heavily compacted, dry, saline, or highly disturbed soils frequently exhibited reduced fungal abundance and lower community evenness. These differences demonstrate that the presence of vegetation alone does not guarantee high fungal diversity; the quality and ecological condition of the rhizosphere environment are equally important.

A pronounced relationship was observed between fungal abundance and soil moisture. Moderately moist soils generally supported more active and diverse fungal communities than severely dry soils. Adequate moisture facilitates hyphal growth, spore germination, decomposition, and the diffusion of soluble substrates and nutrients. However, excessive soil moisture may also modify fungal community structure by reducing soil aeration and favoring taxa adapted to saturated conditions. Therefore, the relationship between soil moisture and fungal diversity was not necessarily linear, and the highest diversity was generally associated with intermediate moisture conditions rather than maximum water availability.

Soil pH was another important factor associated with the structure of rhizosphere fungal communities. Differences in pH among sampling locations corresponded with changes in the relative abundance of individual fungal taxa. Many soil fungi possess relatively broad pH tolerance, allowing them to persist under different urban soil conditions; however, individual taxa differ considerably in their optimum ranges. Changes in pH can also indirectly influence fungi by altering nutrient availability, organic matter decomposition, and competition with bacteria. Consequently, pH should be considered an important environmental filter shaping urban rhizosphere mycobiota.

Soil organic matter was positively associated with fungal abundance and diversity in many of the investigated sampling sites. Organic matter provides carbon and energy sources for saprotrophic fungi and contributes to the formation of soil aggregates and favorable microhabitats. Urban green spaces in which fallen leaves and other organic residues were retained generally provided greater quantities of organic substrates than intensively maintained areas where litter was systematically removed. This suggests that vegetation-management practices can indirectly affect rhizosphere fungal biodiversity by modifying the quantity and quality of organic resources entering the soil.

The relationship between vegetation type and fungal community structure was particularly evident. Different plant species supported distinct rhizosphere fungal assemblages, reflecting differences in root

architecture, exudate composition, nutrient requirements, and litter characteristics. Trees with extensive root systems and substantial organic inputs created different rhizosphere conditions from those associated with ornamental shrubs or herbaceous plants. Consequently, plant identity contributed to the differentiation of fungal communities even when sampling sites were located within the same urban green space[4].

The occurrence of *Aspergillus* and *Penicillium* was particularly notable in disturbed urban soils. Representatives of these genera possess broad ecological tolerance and are capable of colonizing diverse organic substrates under variable environmental conditions. Their frequent occurrence may reflect their ability to tolerate fluctuations in moisture, temperature, nutrient availability, and other forms of environmental stress. Their presence in urban rhizosphere soils therefore highlights the potential importance of stress-tolerant fungi in maintaining decomposition processes under anthropogenically modified conditions.

Species of *Cladosporium* and *Alternaria* were also frequently detected. These genera include widespread saprotrophic and plant-associated fungi and are capable of utilizing plant residues and other organic substrates. Their occurrence in rhizosphere soils may be associated with the continuous deposition of plant material and the presence of living plant tissues. However, some members of these genera may also function as plant pathogens under favorable conditions, indicating that changes in their abundance should be interpreted in relation to plant health and environmental stress.

The detection of *Fusarium* species was ecologically significant because the genus includes both soil-inhabiting saprotrophs and important plant-associated pathogens. Their abundance may increase in rhizosphere environments where susceptible host plants, favorable moisture conditions, and suitable organic substrates are present. The occurrence of *Fusarium* therefore emphasizes the importance of monitoring rhizosphere fungal communities not only from a biodiversity perspective but also in relation to urban plant health.

In contrast, the presence of *Trichoderma* was potentially indicative of important functional interactions within the rhizosphere. Species of *Trichoderma* are widely recognized for their capacity to colonize soil and plant-root environments, compete with other microorganisms, produce extracellular enzymes, and antagonize certain phytopathogenic fungi. Their occurrence may therefore contribute to natural biological regulation within urban soils. A relatively diverse fungal community containing both decomposers and antagonistic taxa may provide greater functional stability than a community dominated by a limited number of stress-tolerant species.

Biodiversity indices indicated that fungal communities differed in richness, evenness, and dominance among urban green spaces. Sites characterized by diverse vegetation and comparatively favorable soil conditions generally exhibited greater fungal richness and higher Shannon–Wiener diversity. In contrast, heavily disturbed sites frequently demonstrated stronger dominance by a limited number of tolerant taxa, resulting in lower evenness and, in some cases, reduced overall diversity. This pattern suggests that anthropogenic disturbance can

simplify the structure of rhizosphere fungal communities even when total fungal abundance remains relatively high.

An important observation was that fungal abundance and fungal diversity did not always show identical patterns. Some highly disturbed sites supported relatively high colony counts but were characterized by low community evenness because a small number of tolerant taxa accounted for a large proportion of the total isolates. This finding demonstrates why biodiversity assessment should not rely exclusively on CFU measurements. Quantitative abundance should be interpreted together with richness, evenness, dominance, and community composition.

Anthropogenic pressure was associated with noticeable changes in the rhizosphere mycobiota. Sites located near heavily trafficked roads or exposed to intensive management tended to demonstrate stronger dominance by environmentally tolerant fungal taxa. Soil compaction, reduced organic-matter input, altered moisture regimes, and possible accumulation of atmospheric and traffic-related contaminants may collectively create selective conditions favoring stress-tolerant microorganisms. At the same time, urban green spaces with lower disturbance and more heterogeneous vegetation generally provided a broader range of ecological niches and supported more complex fungal communities.

The influence of urban management was particularly evident in areas subjected to intensive irrigation and fertilizer application. Artificial irrigation can temporarily increase fungal activity by improving soil moisture, but repeated irrigation may also modify natural moisture fluctuations and favor specific fungal groups. Similarly, excessive nutrient inputs may alter competitive interactions among microorganisms and change the balance between fungal and bacterial decomposers. These findings indicate that management practices should be considered an important ecological driver of urban rhizosphere biodiversity.

The relationship between fungal communities and soil electrical conductivity was also important, particularly in areas where urban soils exhibited elevated salt concentrations. Increased salinity can impose osmotic stress on fungi and reduce the abundance of sensitive taxa, while selecting for more tolerant species. Consequently, differences in fungal composition between urban green spaces may partly reflect variations in soil salinity. This is especially relevant for urban environments in regions characterized by water scarcity, intensive irrigation, or naturally saline soils.

The ecological role of rhizosphere fungi extends beyond biodiversity itself. By decomposing organic matter, mobilizing nutrients, interacting with plant roots, and influencing soil structure, fungi contribute directly to ecosystem functioning. A diverse fungal community can therefore enhance the capacity of urban soils to support vegetation and maintain nutrient cycling. Conversely, substantial reduction in fungal diversity may weaken certain ecosystem processes and increase the vulnerability of urban vegetation to environmental stress[5].

The observed patterns also support the concept that plant–fungus interactions are important determinants of urban ecosystem stability. Root-derived carbon provides an important resource for fungi, while fungi can influence nutrient acquisition and plant health. These interactions may become particularly important under urban environmental stress, including drought, soil compaction, pollution, and nutrient imbalance. Plants associated with diverse and functionally complementary fungal communities may have greater capacity to maintain growth under unfavorable conditions.

The multivariate analysis indicated that soil moisture, pH, organic matter, electrical conductivity, vegetation type, and anthropogenic disturbance were among the principal variables associated with differences in fungal community composition. Sampling sites with similar environmental conditions tended to exhibit more similar fungal assemblages, whereas sites differing strongly in soil properties and vegetation structure showed greater community dissimilarity. This confirms that urban rhizosphere fungal biodiversity is structured by multiple interacting environmental gradients rather than by a single controlling factor.

The results have important implications for the use of micromycetes as ecological indicators. Changes in fungal richness, dominance, community composition, and the abundance of stress-tolerant taxa may provide early indications of changes in urban soil quality. Because fungi respond relatively rapidly to alterations in moisture, organic matter, pH, nutrient availability, and pollution, their communities can provide sensitive biological information that complements conventional physicochemical soil assessments.

From an urban ecological management perspective, maintaining diverse vegetation and reducing excessive soil disturbance may help conserve rhizosphere fungal biodiversity. Retention of appropriate quantities of organic residues, improvement of soil organic matter, prevention of excessive compaction, rational irrigation, and balanced nutrient management can create more favorable conditions for diverse fungal communities. Such measures may simultaneously improve soil quality, plant health, nutrient cycling, and the ecological functioning of urban green spaces.

Overall, the results demonstrate that urban rhizosphere soils support diverse micromycete communities whose structure varies according to plant species, soil properties, moisture conditions, and anthropogenic pressure. The presence of both common stress-tolerant fungi and functionally important decomposers and antagonists indicates that urban mycobiota possesses considerable ecological complexity. However, intensive disturbance may shift community structure toward dominance by a limited number of tolerant taxa. Therefore, the assessment of micromycete biodiversity should be incorporated into broader programs of urban soil monitoring and green-space management.

The findings emphasize that urban green spaces should be viewed as integrated aboveground–belowground ecosystems. The conservation of vegetation alone is insufficient for maintaining their ecological functionality;

protection of rhizosphere biodiversity is equally important. Comprehensive monitoring of micromycete communities, combined with soil physicochemical analyses and vegetation assessments, can provide a valuable scientific basis for evaluating urban soil quality, identifying ecological degradation, supporting plant health, and developing sustainable strategies for the conservation and restoration of urban green spaces.

Conclusion

The present study demonstrates that rhizosphere soils of urban green spaces represent biologically active and ecologically complex habitats that support diverse communities of micromycete fungi. The taxonomic composition, abundance, and diversity of these microorganisms varied according to plant species, soil physicochemical characteristics, moisture availability, vegetation structure, and the intensity of anthropogenic disturbance. The results confirm that rhizosphere micromycetes constitute an important component of urban soil biodiversity and contribute substantially to the functioning and ecological stability of urban green spaces.

The investigated fungal communities included representatives of ecologically important genera such as *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, and *Rhizopus*. Their distribution patterns reflected differences in environmental conditions and ecological niches. The occurrence of saprotrophic, potentially antagonistic, and plant-associated fungi indicates that rhizosphere fungal communities perform diverse ecological functions, including decomposition of organic matter, nutrient transformation, interactions with plant roots, and biological regulation of other microorganisms.

Soil physicochemical characteristics were identified as important determinants of micromycete biodiversity. Soil moisture, pH, organic matter, electrical conductivity, and nutrient availability influenced fungal abundance and community structure. Moderately moist soils with adequate organic-matter content generally supported more diverse and functionally complex fungal assemblages, whereas severe dryness, salinity, compaction, and intensive disturbance were associated with reduced diversity or increased dominance of environmentally tolerant taxa.

Plant species also played a significant role in determining rhizosphere fungal composition. Differences in root architecture, root exudates, litter quality, and nutrient requirements created plant-specific microhabitats that supported distinct fungal assemblages. This finding highlights the importance of plant diversity in maintaining belowground microbial diversity within urban green spaces.

The results further indicate that anthropogenic pressure can modify rhizosphere fungal communities. Intensive soil management, compaction, altered irrigation regimes, organic-matter removal, and potential pollutant accumulation may favor stress-tolerant fungi while reducing sensitive or specialized taxa. A reduction in fungal evenness and an increase in the dominance of a limited number of tolerant species may therefore serve as an indicator of ecological disturbance in urban soils.

An important conclusion is that fungal abundance alone is insufficient for evaluating rhizosphere ecological condition. High colony-forming-unit values may coexist with low species diversity when a small number of stress-tolerant taxa dominate the community. Consequently, comprehensive assessment should incorporate species richness, Shannon–Wiener diversity, Simpson dominance, evenness, taxonomic composition, and environmental variables.

The findings support the potential use of rhizosphere micromycetes as biological indicators of urban soil quality. Changes in fungal community structure can provide early evidence of alterations in soil moisture, organic matter, salinity, nutrient availability, and anthropogenic stress. Integrating mycological indicators with conventional physicochemical soil analyses can therefore improve the ecological assessment of urban green spaces.

From a practical perspective, conservation of rhizosphere fungal biodiversity should become an integral component of sustainable urban-green-space management. Maintaining diverse vegetation, reducing unnecessary soil disturbance and compaction, preserving appropriate organic residues, optimizing irrigation, preventing excessive fertilizer use, and improving degraded soils can contribute to the preservation of diverse and functionally stable fungal communities.

Overall, the study confirms that the biodiversity of rhizosphere micromycetes is an important indicator of the ecological condition and functional capacity of urban green spaces. Protecting belowground fungal diversity can simultaneously support soil fertility, nutrient cycling, plant health, ecosystem resilience, and the long-term sustainability of urban vegetation. Future research should combine culture-dependent techniques with DNA metabarcoding, molecular identification, functional profiling, and long-term monitoring to obtain a more complete understanding of urban rhizosphere mycobiota and its role in maintaining urban ecosystem functioning.

References

1. Droz, A. P., et al. (2022). Drivers of fungal diversity and community biogeography differ between green roofs and adjacent ground-level green space. *Environmental Microbiology*

2. Fan, K., Chu, H., Eldridge, D. J., et al. (2023). Soil biodiversity supports the delivery of multiple ecosystem functions in urban greenspaces. *Nature Ecology & Evolution, 7*, 113–126.

3. Gao, Y., et al. (2023). Degree of urbanization and vegetation type shape soil biodiversity in city parks. *Science of the Total Environment*.

4. Luo, S., Lin, Y., Chen, R., Han, J., & Liu, Y. (2025). Road density shapes soil fungal community composition in urban road green space. *Diversity, 17*(8), 539.

5. Shao, Y., et al. (2021). Diversity patterns and drivers of soil microbial communities in urban and suburban park soils of Shanghai, China. *Scientific Reports, 11*.

DIGITAL ISLAMIC BANKING AND FINANCIAL IMCLUSION IN THE DIGITAL ERA

Sekar Astri SEPTIYANI

[5] Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: sekarastri12@gmail.com

Abstract

The development of digital technology has brought significant changes to various fields, including the Islamic banking industry. The presence of digital banking services provides convenience for people in conducting various financial transactions without having to visit a bank branch directly. This study aims to examine the role of digitalization in improving services and financial inclusion in Islamic banking. This study uses a qualitative approach by examining various information related to the use of digital technology in Islamic banking services. The discussion focuses on ease of access to services, service quality, transaction security, digital literacy, and the compliance of products and services with Islamic principles. The results show that the use of digital technology can provide convenience for customers in conducting transactions, such as transfers, payments, balance checks, and other financial services. In addition, digitalization can help Islamic banks reach people who previously had limited access to banking services. However, the implementation of digital services still faces several challenges, such as limited public understanding of technology, personal data security, the risk of digital fraud, and the importance of maintaining compliance with Islamic principles. Therefore, Islamic banks need to improve system security, provide education to the public, and continue developing digital services that are easy to use and comply with Islamic principles. With proper implementation, digitalization can support the development of Islamic banking and expand public access to financial services that are in accordance with Islamic principles.

Keywords: Islamic banking, digitalization, financial inclusion, digital services, Islamic principles.

THE ROLE OF ISLAMIC FINANCIAL LITERACY IN SHAPING FINANCIAL BEHAVIOR AMONG UNIVERSITY STUDETS

Fanni NURBAITI

'Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Centeral Java,Indonesia.'

Email: fanninurbaiti17@gmail.com

Abstract

This study examines the role of Islamic financial literacy in shaping financial behavior among university students, particularly in their daily financial decision-making. Islamic financial literacy is important because students are increasingly exposed to various financial products and digital financial services that require adequate knowledge and awareness. The study aims to explore students' understanding of Islamic financial principles and how such understanding influences their financial behavior. The research employs a qualitative descriptive approach based on a review of relevant literature concerning Islamic financial literacy, financial behavior, and Islamic financial principles. The findings indicate that Islamic financial literacy can contribute to greater awareness of responsible financial management. Knowledge of fundamental concepts such as riba, gharar, and maysir, as well as principles of fairness, transparency, and responsibility, may encourage students to consider Islamic values when managing their finances and selecting financial products. However, several challenges remain, including limited understanding of Islamic financial concepts, the rapid development of digital financial services, and consumer-oriented lifestyles. The study also highlights the importance of educational institutions in strengthening students' understanding of Islamic finance through practical and relevant learning. Rather than focusing only on theoretical knowledge, Islamic financial education should be connected with students' everyday financial experiences. The study concludes that strengthening Islamic financial literacy can support the development of more responsible financial behavior and encourage students to make financial decisions that are consistent with Islamic ethical principles.

Keywords: Islamic financial literacy; financial behavior; university students; Islamic finance; Sharia banking.

DEFECT-ENGINEERED INORGANIC SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURES FOR COUPLED PHOTOCATALYTIC–ENVIRONMENTAL REMEDIATION PROCESSES: MECHANISTIC INSIGHTS, INTERFACIAL CHARGE REGULATION AND FUTURE PERSPECTIVES

Aishatu Muhammad[1], Maryam Haruna Khalifa[1], and Aisha Yusuf bunkure[2]

[1]Department of Chemistry, Sa'adatu Rimi College of education

[2]Department of Intergrated science Sa'adatu Rimi College of education

Corresponding author; amuhammad.che@srcoe.edu.ng

Abstract

Defect-engineered inorganic semiconductor heterostructures have emerged as versatile platforms for addressing the limitations of conventional photocatalytic materials, particularly inefficient charge separation, restricted light utilization, and inadequate interfacial reaction control. This review critically examines how deliberately introduced structural defects including oxygen and cation vacancies, substitutional defects, lattice distortions, and defect clusters reshape the electronic structures and surface reactivities of inorganic semiconductor heterostructures and thereby regulate photocatalytic environmental remediation pathways. Particular emphasis is placed on the relationship between defect chemistry, heterointerface architecture, band alignment, charge-carrier migration, and the formation of reactive oxygen species. The review further differentiates the mechanistic contributions of type-II, Z-scheme, S-scheme, and related heterojunction configurations, highlighting how defect states can either promote interfacial charge transfer or act as recombination centres depending on their concentration, spatial distribution, and chemical environment. Recent advances in the degradation and transformation of pharmaceuticals, antibiotics, dyes, pesticides, persistent organic contaminants, and inorganic pollutants are critically assessed alongside emerging coupled processes involving pollutant oxidation, metal-ion reduction, and solar-driven resource recovery. Advanced spectroscopic, microscopic, electrochemical, and computational approaches for identifying defect structures and resolving charge-transfer mechanisms are also evaluated. Finally, the review identifies unresolved challenges concerning defect reproducibility, interfacial stability, mechanistic ambiguity, catalyst recovery, and performance under complex environmental matrices, and proposes design principles for developing stable, scalable, and mechanistically predictable defect-engineered heterostructures for next-generation environmental remediation.

Keywords: Defect engineering; Semiconductor heterostructures; Interfacial charge regulation; Photocatalytic remediation; Inorganic materials

1. Introduction

The increasing occurrence of persistent organic pollutants, toxic inorganic contaminants, and hazardous gaseous species in environmental systems has intensified the search for advanced remediation technologies capable of operating efficiently under solar irradiation. Semiconductor photocatalysis has emerged as an attractive approach because photogenerated charge carriers can initiate oxidation–reduction reactions capable of transforming recalcitrant contaminants into less harmful products. However, the practical efficiency of conventional inorganic semiconductors is frequently restricted by their narrow light-utilization range, rapid electron–hole recombination, and insufficient control over interfacial charge-transfer processes. Defect-engineered semiconductor heterostructures have therefore attracted considerable attention because the deliberate introduction of vacancies, interstitials, substitutional defects, and other structural imperfections provides additional opportunities to manipulate electronic structures and charge-carrier dynamics (Osman et al., 2023; Wang et al., 2023).

Coupling two or more inorganic semiconductors into a heterostructure can extend light absorption and establish interfacial pathways for charge separation, thereby improving the availability of photogenerated electrons and holes for surface reactions. In environmental applications, these characteristics are particularly important because remediation reactions commonly require simultaneous control of oxidation and reduction processes. Defect engineering can further modify band structures, create localized electronic states, alter surface adsorption properties, and influence the mobility of photogenerated carriers. Consequently, defect-engineered heterostructures can potentially combine enhanced solar-light harvesting with improved redox activity for pollutant degradation and hazardous-gas conversion (Balapure et al., 2023; Ding et al., 2022). Nevertheless, the introduction of defects does not automatically translate into superior photocatalytic performance. Excessive or poorly positioned defects may instead function as recombination centres, distort interfacial electronic structures, or introduce energetically unfavorable trapping states.

A central challenge is therefore the regulation of charge transfer across the semiconductor interface. Although heterojunction architectures are designed to promote spatial separation of photogenerated electrons and holes, their effectiveness depends strongly on band alignment, defect concentration, interface composition, and the kinetics of carrier migration. Variations in these parameters can generate unpredictable recombination pathways and reduce the fraction of carriers reaching catalytically active surface sites (Pastor et al., 2022; Zu et al., 2024). This issue is particularly significant for S-scheme heterostructures, in which selective interfacial charge transfer is expected to preserve highly reducing electrons and highly oxidizing holes. The stochastic distribution of defects may disturb this selective pathway, while uncontrolled defect states can facilitate carrier back-transfer and diminish the lifetime of reactive charge carriers (Xu et al., 2024; Zhu et al., 2023).

The interfacial electric field represents another critical factor governing heterostructure performance. Defect sites can modify local charge density and generate electric-field gradients that influence the direction and probability of carrier migration. However, localized internal electric fields may be insufficient when defect populations, interface bonding, or band offsets are poorly controlled, allowing undesirable carrier recombination to compete with productive surface reactions (Ortiz-Quiñonez & Pal, 2024; Zhang et al., 2021). Accordingly, the rational spatial positioning of defects and the controlled construction of semiconductor interfaces are becoming increasingly important for maximizing charge separation and photocatalytic quantum efficiency. Advanced synthetic approaches that regulate defect density, interface crystallinity, exposed facets, and atomic-scale bonding can provide greater control over these processes than empirical optimization alone (Qahtan et al., 2024).

Recent progress therefore points toward a design paradigm in which computational modelling and experimental surface engineering are integrated to establish relationships between defect structure, interfacial electronic configuration, charge dynamics, and environmental reactivity. Density functional theory can provide insight into defect formation, band-edge positions, charge redistribution, and adsorption energetics, while atomic-level engineering can experimentally translate these predictions into controlled heterointerfaces (Balu et al., 2024; Wang et al., 2024). Such integration is particularly valuable for identifying defect configurations that facilitate directional carrier migration without introducing excessive recombination centres. Through appropriate interface and defect regulation, photogenerated electrons and holes can be spatially separated for longer periods, increasing their probability of participating in contaminant oxidation, reduction, or gas-conversion reactions (Kumar et al., 2024; Yan et al., 2024).

Against this background, defect-engineered inorganic semiconductor heterostructures represent an important platform for developing next-generation photocatalytic–environmental remediation systems. Their significance extends beyond increasing light absorption to encompass deliberate control of defect-mediated electronic states, interfacial electric fields, band alignment, and charge-transfer pathways. A mechanistic understanding of these interconnected factors is therefore essential for moving from performance-oriented material synthesis toward predictive heterostructure design. This review consequently examines the relationship between defect engineering, interfacial charge regulation, heterojunction architecture, and photocatalytic environmental remediation, with particular emphasis on mechanistic insights, S-scheme charge-transfer processes, strategies for suppressing recombination, and emerging computational and atomic-scale approaches for designing more efficient and environmentally relevant semiconductor systems.

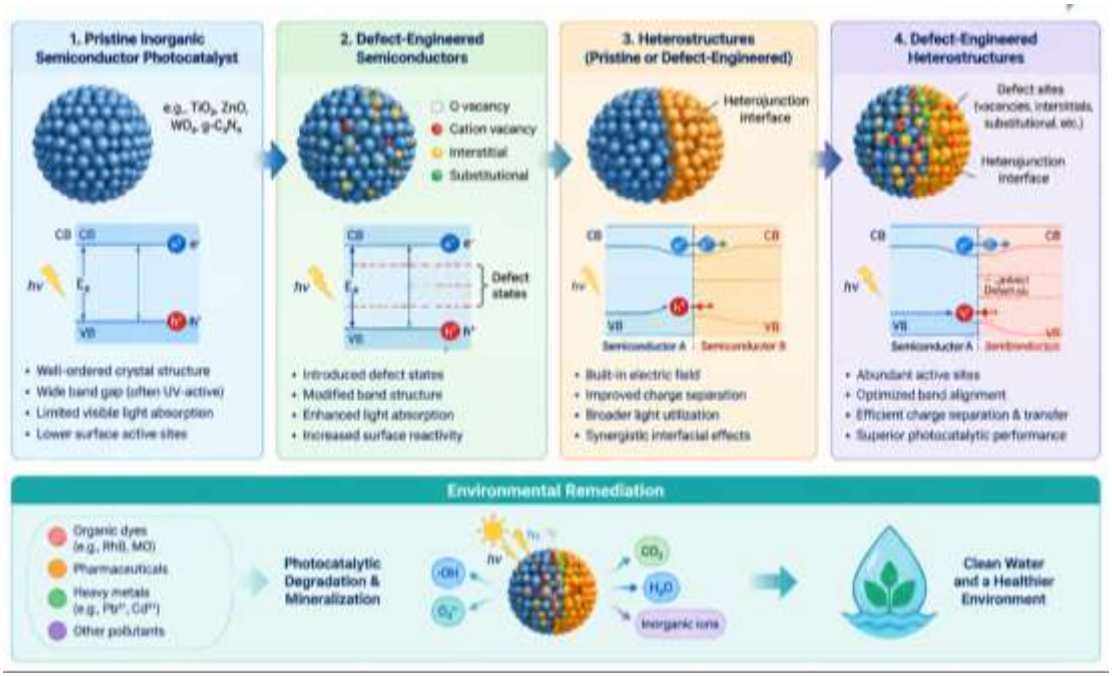


Figure 1. *Evolution of inorganic semiconductor photocatalysts from pristine materials to defect-engineered heterostructures for environmental remediation.*

The figure illustrates the progressive development of semiconductor photocatalysts from conventional pristine materials to advanced defect-engineered heterostructure systems. Pristine semiconductors such as TiO_2, ZnO, WO_3, and g-C_3N_4 possess well-defined crystal structures and suitable band structures but generally suffer from limited visible-light absorption, rapid electron–hole recombination, and insufficient surface-active sites, which restrict their photocatalytic efficiency. The introduction of structural defects, including oxygen vacancies, cation vacancies, interstitial atoms, and substitutional dopants, modifies the electronic structure by generating defect states within the band gap, improving light harvesting, charge trapping, and surface reaction activity. Further integration of semiconductor components into heterostructure architectures creates interfacial junctions that promote directional charge migration, internal electric-field formation, and enhanced separation of photogenerated carriers. The combination of defect engineering with heterojunction construction produces multifunctional photocatalysts with optimized band alignment, abundant reactive sites, and improved redox capabilities. Under solar irradiation, these systems facilitate the generation of reactive oxygen species (•OH, $O_2^{\bullet -}$, and related intermediates), enabling simultaneous oxidation of organic pollutants such as dyes, pharmaceuticals, and persistent contaminants, together with reduction or immobilization of inorganic pollutants including heavy metals. Ultimately, defect-engineered heterostructures provide an integrated pathway for pollutant adsorption, photocatalytic degradation, mineralization into harmless products (CO_2 and H_2O), and resource recovery, representing a transition from simple pollutant removal toward sustaina

2. Defect Chemistry and Engineering of Inorganic Semiconductor Heterostructures

Defect engineering has evolved from the deliberate modification of non-ideal crystal structures into a rational strategy for controlling the electronic, optical, surface, and catalytic behavior of inorganic semiconductor heterostructures. In an ideal semiconductor lattice, atomic periodicity establishes well-defined electronic bands; however, deviations from stoichiometry or crystallographic order introduce localized states, alter charge density, and modify carrier transport. These imperfections can consequently regulate the generation, migration, trapping, and recombination of photogenerated electrons and holes. Their effects are especially important in photocatalytic environmental remediation, where efficient utilization of incident photons must be coupled with sufficiently long-lived charge carriers and accessible surface reaction sites (Hou et al., 2024; Wu et al., 2024). Rather than being regarded exclusively as structural deficiencies, appropriately controlled defects can therefore serve as functional components of heterostructure design.

2.1 Fundamental chemistry of defects in inorganic semiconductors

Defects originate when the ideal arrangement of atoms within a semiconductor is disrupted through deviations in composition, atomic occupation, or lattice periodicity. Their formation is governed by factors including chemical potential, temperature, synthesis atmosphere, precursor stoichiometry, crystal phase, and local bonding environment. From an electronic perspective, defects can introduce donor or acceptor states within the band gap, shift the Fermi level, modify carrier concentration, and alter the density of electronic states. These changes can influence both the thermodynamics and kinetics of photocatalytic reactions (Ding et al., 2022; Song et al., 2021). The influence of a defect depends strongly on its energetic position. Shallow defect states can facilitate carrier transport or temporarily trap photogenerated carriers, whereas deep states may become efficient recombination centres. Thus, increasing defect density does not necessarily improve photocatalytic activity. Huang et al. (2023) emphasized the importance of controlling defect concentration and spatial distribution because beneficial trapping can transition into detrimental carrier recombination when defects become excessive. This defect-dependent behavior establishes an important design principle: defect quality, location, and electronic character are more important than defect abundance alone.

Density functional theory (DFT) has become particularly valuable for understanding these relationships because it can predict defect formation energies, charge states, electronic structures, and associated trap levels. Such calculations provide a theoretical basis for determining which defects are thermodynamically accessible and whether their electronic states are likely to promote charge separation or recombination (Chen et al., 2023). Consequently, computational predictions increasingly complement experimental approaches for developing defect-engineered semiconductor systems.

2.2 Point, surface, interface and extended defects

Semiconductor defects can be classified according to their dimensionality and spatial extent. Point defects include vacancies, interstitials, substitutional defects, and antisite defects, where the perturbation is localized around individual atomic sites. Surface defects occur at crystal surfaces and frequently possess unsaturated coordination environments, making them particularly important for adsorption and surface redox reactions. Interface defects develop at boundaries between dissimilar semiconductors and can substantially influence charge redistribution and interfacial carrier migration. Extended defects, including grain boundaries, dislocations, and stacking faults, can influence carrier mobility and recombination over larger spatial scales.

The distinction is particularly relevant to heterostructures because the same defect can exhibit different electronic behavior depending on its location. A vacancy within the bulk may primarily influence carrier trapping, whereas an equivalent vacancy positioned at a semiconductor interface can modify band bending, local electric fields, and interfacial charge transfer. Grain boundaries and interfaces are also important recombination pathways because structural disorder can generate energetically deep states. Recent studies therefore emphasize reducing trap densities at grain boundaries and interfaces to suppress non-radiative recombination and improve material stability (Metcalf et al., 2023; Srivastava et al., 2023).

2.3 Oxygen, cation and anion vacancies

Vacancies are among the most extensively investigated defects in photocatalytic semiconductors. An oxygen vacancy, for example, results from the removal of an oxygen atom from an oxide lattice and can modify the local oxidation state of neighboring metal ions. Materials such as TiO_{2-x}, WO_{3-x}, and CeO_{2-x} can consequently display altered electronic structures and enhanced surface reactivity. Oxygen vacancies may introduce electronic states within the band gap, influence carrier concentration, and provide adsorption sites for reactants.

Cation vacancies produce a complementary form of lattice deficiency. Removal of a metal cation changes local charge compensation and may generate acceptor-like states or induce oxidation-state redistribution among neighboring atoms. Similarly, anion vacancies in sulfides, selenides, and related materials can strongly modify the local electronic environment and adsorption characteristics. These defects can improve activation of reactants by changing surface charge density and adsorption energetics. Nevertheless, excessive vacancy formation may generate deep traps and accelerate recombination, emphasizing the need for controlled nonstoichiometric synthesis and defect passivation (Liang et al., 2021; Luo et al., 2021).

2.4 Substitutional, interstitial and antisite defects

Substitutional defects occur when an atom occupies a crystallographic position normally occupied by another element. Incorporation of heteroatoms such as N, S, or F into oxide semiconductor lattices can modify band

positions, electronic density of states, and optical absorption. These modifications can extend the photoresponse toward longer wavelengths while simultaneously influencing surface chemistry.

Interstitial defects arise when atoms occupy normally vacant positions within the lattice. Metal and oxygen interstitials can produce local lattice distortion and additional electronic states. Their effects depend on the identity and concentration of the interstitial species. Antisite defects represent another important class in multicomponent semiconductors, occurring when one atomic species occupies the crystallographic position normally assigned to another. Because antisite defects directly disrupt local chemical coordination, they can substantially modify charge distribution and carrier localization.

2.5 Defect clusters and lattice distortions

Defects rarely exist exclusively as isolated atomic imperfections. Under particular synthesis conditions, vacancies and interstitials can interact to form defect complexes or clusters. Such configurations may generate electronic states that differ substantially from those produced by isolated defects. Local lattice distortion can additionally modify bond lengths, bond angles, orbital overlap, and phonon interactions, thereby influencing charge transport. This is important because defect engineering involves a balance between electronic benefits and structural penalties. Carefully controlled lattice distortion can improve carrier localization and adsorption, whereas excessive distortion can impede carrier mobility and create additional recombination centres. The overall photocatalytic response therefore emerges from the combined effects of defect chemistry, lattice structure, carrier dynamics, and surface reaction kinetics.

2.6 Strategies for defect generation and regulation

Defects can be generated through thermal treatment, reduction, controlled oxidation, plasma treatment, irradiation, chemical reduction, hydrothermal or solvothermal synthesis, and nonstoichiometric precursor control. The selected approach determines not only defect concentration but also defect type and spatial distribution. Consequently, synthesis must be designed to produce the desired electronic state rather than simply maximize defect abundance.

Defect passivation provides an additional means of regulation. Appropriate passivation can eliminate deep trap states while preserving beneficial shallow states or chemically active sites. This strategy is particularly important in semiconductor systems where excessive defect formation compromises long-term stability and carrier transport. Studies of defect-tolerant materials, including metal-halide perovskites, demonstrate that rational passivation can suppress detrimental recombination while retaining advantageous defect-mediated electronic properties (Liang et al., 2021; Luo et al., 2021; Min et al., 2023).

2.7 Defect concentration, distribution and location

The photocatalytic role of a defect is strongly dependent on its concentration and spatial distribution. At low concentrations, defects can act as temporary carrier traps that promote spatial separation of electrons and holes. At higher concentrations, however, overlapping defect states can create recombination pathways. Spatial positioning is equally important because surface-localized defects can directly participate in adsorption and redox reactions, whereas bulk defects may predominantly affect carrier transport.

This concentration-dependent transition explains why defect engineering cannot be reduced to a simple relationship between increasing defect density and increasing photocatalytic performance. Rational optimization requires identifying the concentration range in which defect-mediated charge separation outweighs defect-assisted recombination. DFT calculations and spectroscopic characterization are consequently important for distinguishing productive trapping states from detrimental deep-level states (Chen et al., 2023; Huang et al., 2023).

2.8 Construction of defect-engineered heterostructures

Combining defect engineering with heterostructure construction provides an additional level of control over charge dynamics. When two semiconductors with complementary electronic structures are brought into intimate contact, interfacial charge redistribution can occur because of differences in work function, Fermi level, and band-edge positions. Defects located near this interface can further modify the local electrostatic potential and influence the direction of carrier migration.

Interfacial and gradient band-alignment engineering are consequently important for suppressing non-radiative recombination and improving charge-transfer efficiency. The objective is not simply to establish physical contact between two materials but to create an electronically coupled interface in which photogenerated carriers migrate preferentially toward the appropriate reaction sites. Defect engineering can strengthen this coupling by regulating interfacial states and local electric fields.

2.9 Type-II, p–n, Schottky, Z-scheme and S-scheme architectures

Defect-engineered heterostructures can be constructed using several charge-transfer architectures. In a type-II heterojunction, photogenerated electrons and holes preferentially migrate toward different semiconductor components, improving spatial separation but potentially reducing the redox strength of the accumulated carriers. p–n heterojunctions exploit differences in semiconductor conductivity type to generate depletion regions and internal electric fields that influence carrier migration.

Schottky junctions are produced when a semiconductor contacts a metal, allowing the metal to function as an electron sink under appropriate energetic conditions. In Z-scheme systems, selective recombination of less useful carriers preserves electrons and holes with stronger reduction and oxidation potentials. The S-scheme architecture

similarly emphasizes interfacial band bending, an internal electric field, and selective carrier transfer to retain highly reactive charge carriers. Defects at these interfaces can either reinforce or disrupt the intended charge-transfer pathway, making defect location and electronic structure particularly important.

2.10 Synergistic and detrimental effects of defects

The functional role of defects is therefore intrinsically dual. Beneficial defects can increase light absorption, modify band structures, improve adsorption, provide catalytic sites, and facilitate spatial charge separation. However, excessive defects can produce deep trap states, increase non-radiative recombination, distort the lattice, and reduce carrier mobility. Pastor et al. (2022) and Wang et al. (2024) highlight the importance of controlling carrier dynamics and electronic structures rather than relying solely on increased defect density.

An effective defect-engineered heterostructure must consequently achieve a balance among defect formation, passivation, interfacial coupling, and carrier mobility. This balance is particularly important for environmental photocatalysis, where semiconductor materials must operate under aqueous or gaseous conditions while maintaining efficient charge separation and surface reactivity. The integration of defect engineering with rational heterojunction design therefore provides a pathway toward controlling photocatalytic performance at multiple length scales, from atomic defects to macroscopic reaction interfaces.

Table 1. Classification of defects and their influence on semiconductor properties

Defect category	Representative examples	Electronic effect	Surface effect	Photocatalytic implication
Oxygen vacancy	TiO_{2-x}, WO_{3-x}, CeO_{2-x}	Introduces defect states; modifies carrier density and local electronic structure	Generates coordinatively unsaturated sites and can enhance adsorption	Controlled carrier trapping, improved activation and interfacial reactions
Cation vacancy	Ti, Zn, Fe vacancies	Alters charge compensation, oxidation states and electronic structure	Changes surface charge and chemical reactivity	Charge redistribution and modification of redox activity
Anion vacancy	S, Se vacancies	Modifies band structure and localized electronic states	Enhances adsorption and reactant activation	Improved light utilization and activation of adsorbed species
Substitutional defect	N, S, F substitution	Modulates band structure and density of states	Changes surface composition and chemical functionality	Extended light response and modified reaction selectivity
Interstitial defect	Metal/O interstitials	Creates localized states and changes carrier distribution	Produces lattice distortion and altered surface coordination	Can promote carrier trapping or become a recombination centre depending on concentration

Antisite defect	A-site/B-site atomic interchange	Alters local orbital interactions and charge distribution	Changes local coordination environment	Modifies carrier localization and surface reaction pathways
Defect cluster	Vacancy–interstitial or vacancy–vacancy complexes	Produces coupled electronic states	Generates structurally heterogeneous active regions	Can enhance charge separation or accelerate recombination depending on configuration
Interface defect	Heterointerface vacancies, dangling bonds	Causes charge redistribution and modifies band bending	Creates interfacial active sites	Can improve directional charge transfer or act as interfacial recombination centres
Grain-boundary defect	Dislocations, dangling bonds, grain-boundary states	Introduces localized trap states	Provides chemically heterogeneous reaction sites	May enhance surface reactions but frequently increases non-radiative recombination

3. Defect–Interface Regulation of Electronic Structure and Photocatalytic Mechanisms

This section constitutes the central mechanistic framework of the review because the photocatalytic performance of defect-engineered semiconductor heterostructures is ultimately determined by how atomic-scale imperfections interact with heterointerfaces to regulate electronic structure, charge-carrier migration, recombination, and surface redox chemistry. Rather than treating defects and interfaces as independent structural features, their interaction should be considered a coupled electronic system in which defect states, Fermi-level equilibration, band bending, and interfacial electric fields collectively determine the fate of photogenerated carriers (Ali et al., 2025; Zu et al., 2024). Appropriate defect engineering can extend carrier lifetimes, establish preferential migration pathways, and preserve the strong reduction and oxidation potentials required for environmental remediation. Conversely, uncontrolled defect populations can introduce deep trapping states and accelerate non-radiative recombination. Understanding this balance is therefore essential for rational photocatalyst design.

3.1 Band-structure modification by defects

Defects modify semiconductor band structures by disturbing the periodic potential experienced by electrons. Vacancies, interstitials, substitutional atoms, and antisite defects can introduce localized energy levels within the forbidden band gap or alter the relative positions of the valence-band maximum and conduction-band minimum. Such modifications influence both photon absorption and the thermodynamic driving force for surface redox reactions. Defect-induced band-gap narrowing can increase visible-light absorption, whereas appropriately

positioned shallow states can facilitate carrier transport without severely compromising redox potentials (Hou et al., 2024; Chen et al., 2021).

In heterostructures, these effects become more complex because the electronic structures of the individual components interact at their interface. Defects located close to the interface can modify band offsets and local electrostatic potentials, thereby changing the preferred direction of charge migration. Consequently, defect engineering should be considered alongside band-alignment engineering rather than as an isolated strategy.

3.2 Defect-induced electronic states

Localized defect states provide intermediate energy levels through which photogenerated carriers can be captured, transported, or recombined. Their function depends strongly on their energetic depth and spatial distribution. Shallow states can temporarily capture electrons or holes and facilitate spatial separation, whereas deep states may immobilize carriers and provide highly efficient recombination centres. Pastor et al. (2022) and Xu et al. (2024) emphasize that controlled defect states can serve as transient carrier reservoirs, enabling the sequential capture and release of photoexcited carriers.

The distinction between beneficial and detrimental trapping is therefore fundamental. A defect should not be regarded as beneficial merely because it generates a measurable electronic state. Its energetic position, occupation probability, carrier lifetime, and coupling with neighbouring lattice sites must be considered to determine whether it contributes to productive photocatalysis.

3.3 Fermi-level redistribution

When two semiconductors or a semiconductor and another conductive phase come into contact, their initial Fermi levels generally differ. Charge redistribution occurs until electronic equilibrium is established. This process produces interfacial charge accumulation and modifies the local electrostatic potential. Defects can strongly influence this redistribution because they alter carrier concentration and local charge density.

For example, donor-like vacancies may increase electron density and shift the Fermi level toward the conduction band, whereas acceptor-type defects can produce the opposite effect. When such defect-containing materials form a heterostructure, Fermi-level equilibration can consequently alter the magnitude and direction of interfacial charge redistribution. This provides an important foundation for the subsequent development of band bending and internal electric fields.

3.4 Band bending at heterointerfaces

Fermi-level equilibration is frequently accompanied by band bending near the interface. The direction and magnitude of this bending depend on the relative electronic properties of the contacting phases. Band bending creates an energetically non-uniform region that can selectively favour the movement of photogenerated carriers.

Defects can intensify or weaken this phenomenon by modifying local charge density. Near-surface and interfacial defects are therefore particularly important because they directly participate in establishing the electrostatic environment experienced by migrating carriers. Such regulation is especially relevant to S-scheme heterostructures, where band bending and interfacial charge redistribution contribute to selective carrier transfer while retaining highly reactive electrons and holes.

3.5 Internal electric-field formation

The redistribution of charge at a heterointerface can generate an internal electric field (IEF). This field provides a directional driving force for photogenerated carrier migration and can reduce the probability of random carrier diffusion and recombination. The incorporation of defects near the interface provides an additional means of controlling IEF strength and direction.

Han et al. (2025) and Wang (2026) highlight the importance of engineered interfaces in establishing directional charge-transfer pathways. Oxygen vacancies located strategically at heterointerfaces may further alter local charge density and provide additional electronic pathways for interfacial transport (Zu et al., 2024). Thus, the most effective defect-engineered interfaces are not simply highly defective; they are spatially organized to generate favourable electrostatic gradients.

3.6 Defect-assisted charge separation

Controlled defect sites can act as temporary reservoirs for photogenerated carriers. Following photon absorption, electrons and holes may migrate toward defect-associated states, where selective trapping reduces the probability of immediate bulk recombination. Xu et al. (2024) described defect-induced states as potential carrier reservoirs capable of extending the effective lifetime of photoexcited carriers.

However, the beneficial effect depends on the trapping–release kinetics. If a trapped carrier remains immobilized for too long, it may become unavailable for surface reactions. Conversely, appropriately shallow and kinetically accessible states can promote carrier separation while allowing subsequent transfer to reactive surface sites. Defect engineering must therefore optimize both carrier capture and carrier release.

3.7 Electron and hole migration pathways

The ultimate objective of interfacial charge regulation is to establish preferential electron and hole migration pathways. In an appropriately designed heterostructure, electrons and holes are driven toward spatially separated regions where they can participate in reduction and oxidation reactions, respectively. This spatial organization reduces the probability of direct electron–hole recombination.

Defect sites can modify these pathways by changing local conductivity, energy barriers, and electronic coupling between adjacent phases. Interfacial oxygen vacancies, for instance, may function as additional charge-transfer pathways while modifying local potential distributions (Gao et al., 2023; Zu et al., 2024). When combined with

suitable band alignment, these pathways can reduce transport resistance and improve the probability that carriers reach surface-active sites before recombination.

3.8 Defect-mediated charge trapping and recombination

The relationship between defects and recombination is inherently concentration dependent. At optimized concentrations, defect states can capture carriers and spatially separate them. At excessive concentrations, however, defect states can overlap and form recombination networks. Deep traps can capture both electrons and holes sequentially, facilitating non-radiative recombination.

This explains why photocatalytic activity frequently exhibits a non-linear relationship with defect concentration. Increasing defect density may initially improve activity before reaching an optimum, after which additional defects become detrimental. Experimental interpretation must therefore distinguish between carrier trapping that promotes separation and carrier trapping that terminates productive charge transport.

3.9 Surface charge accumulation

Following interfacial migration, electrons and holes accumulate preferentially at different surface regions. This charge accumulation determines the local electrochemical potential and consequently controls which redox reactions are thermodynamically feasible. Surface electron enrichment favours reduction reactions, whereas hole accumulation promotes oxidation.

Defects can increase this effect by providing chemically active sites and modifying local adsorption energies. Surface oxygen vacancies, for example, may increase affinity toward selected reactants while simultaneously modifying the electronic density available for interfacial reactions. Consequently, surface defect engineering connects charge-transfer processes occurring within the heterostructure to chemical reactions occurring at the catalyst–environment interface.

3.10 Reactive oxygen species generation

The separated carriers ultimately participate in surface redox reactions that generate reactive oxygen species (ROS). Photogenerated electrons can reduce adsorbed oxygen or other electron acceptors, while photogenerated holes can oxidize water, hydroxide, or adsorbed organic species. Depending on the band-edge potentials and surface environment, species such as superoxide- and hydroxyl-related radicals can participate in pollutant transformation.

The generation of ROS should not, however, be inferred solely from enhanced photocatalytic degradation. Mechanistic confirmation requires complementary evidence, particularly electron paramagnetic resonance (EPR) measurements, radical-scavenger experiments, and appropriate spectroscopic characterization. This is essential because apparent degradation can arise through direct hole oxidation, surface-bound intermediates, or other pathways in addition to free-radical chemistry.

3.11 Direct and indirect pollutant oxidation

Photocatalytic pollutant transformation may proceed through direct oxidation, in which photogenerated holes or surface-trapped charge carriers react directly with adsorbed contaminants, or through indirect oxidation, in which ROS generated at the semiconductor surface subsequently attack the pollutant. Defects influence both pathways by modifying adsorption, carrier availability, and surface reaction kinetics.

A defect-rich surface may increase pollutant adsorption and therefore enhance the probability of direct electron-transfer reactions. Alternatively, defect-induced charge separation may increase the lifetime of carriers responsible for ROS production. The relative importance of these mechanisms depends on pollutant structure, surface chemistry, defect type, solvent composition, pH, oxygen availability, and the redox potentials of the heterostructure.

3.12 Relationship between defect density and photocatalytic activity

A key mechanistic principle is that photocatalytic activity generally does not increase indefinitely with defect density. At low-to-moderate concentrations, defects may improve light absorption, carrier separation, adsorption, and interfacial charge transfer. Beyond an optimum concentration, however, defect aggregation and deep-level trapping may increase recombination and reduce carrier mobility.

This relationship can be conceptualized as a defect-activity window, in which an intermediate defect concentration provides the most favourable balance between carrier trapping and carrier mobility. The location of this optimum is material-specific and depends on defect identity, formation energy, interface structure, crystal phase, and reaction conditions. Consequently, reporting defect concentration alone is insufficient; studies should also establish defect location, chemical state, and electronic character.

Table 2. Defect location and functional role

Defect location	Dominant function	Potential benefit	Major risk
Bulk defects	Carrier trapping and electronic-state modification	Can prolong carrier lifetime	Deep trapping and bulk recombination
Surface defects	Adsorption and surface charge regulation	Increased active sites and reactant activation	Surface recombination or instability
Interface defects	Charge redistribution and interfacial transport	Directional charge transfer and IEF enhancement	Interfacial recombination
Grain-boundary defects	Carrier scattering/trapping	Can modify surface reactivity	Non-radiative recombination
Defect clusters	Coupled electronic states	Multiple charge-transfer pathways	Excessive localization and recombination

This comparison demonstrates why defect location can be as important as defect concentration. For photocatalytic heterostructures, strategically positioned interfacial defects may provide greater mechanistic value than a high overall defect density distributed randomly throughout the material.

3.14 Experimental and computational approaches for mechanism verification

Mechanistic claims concerning defect-mediated charge transfer require convergent evidence rather than reliance on a single characterization technique. X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) can identify oxidation states and changes in surface chemical environments, while EPR provides evidence for paramagnetic defect centres and reactive species. Photoluminescence (PL) and time-resolved photoluminescence (TRPL) provide information on recombination and carrier lifetimes. High-resolution transmission electron microscopy (HRTEM) can establish heterointerface formation and lattice relationships.

Kelvin-probe measurements can provide work-function information relevant to Fermi-level equilibration, while electrochemical impedance spectroscopy (EIS) can assess interfacial charge-transfer resistance. X-ray absorption spectroscopy (XAS) provides information about local coordination and oxidation-state environments. DFT calculations complement these measurements by predicting defect formation energies, electronic states, charge-density redistribution, band alignment, and adsorption energetics. Importantly, no single technique should independently be treated as definitive proof of a proposed charge-transfer mechanism. Mechanistic assignments are strongest when multiple independent measurements converge on the same model.

The key mechanistic insight is that defects and interfaces should not be optimized independently. Their interaction establishes an interconnected electronic pathway extending from photon absorption to pollutant transformation. Defects determine the availability and energetic characteristics of localized states, whereas heterointerfaces regulate the directionality of carrier movement through Fermi-level equilibration, band bending, and internal electric fields. Properly coordinated, these effects can suppress recombination and preserve the strong redox potentials required for environmental remediation (Ali et al., 2025; Yan et al., 2025; Sayed et al., 2026). Conversely, poorly controlled defect populations can create deep traps and recombination centres, demonstrating that defect engineering is fundamentally a precision charge-regulation strategy rather than a simple defect-maximization approach.

Recent developments further indicate that heteroatom doping, defect engineering, and dual-interface construction can be combined to establish multilevel charge-transfer pathways. Such architectures can simultaneously modify light absorption, carrier lifetime, interfacial transport, and surface reaction kinetics (Li et al., 2023; Wang et al., 2021). Dynamic structural reconstruction under illumination may additionally modify the active interface during operation, potentially influencing the formation and stabilization of catalytic intermediates (Wang et al., 2024; Zhang et al., 2024). Therefore, future mechanistic studies should move beyond correlating photocatalytic activity

with isolated defect indicators and instead establish quantitative relationships among defect identity, spatial distribution, band alignment, interfacial electric fields, carrier lifetime, ROS formation, and pollutant transformation pathways. This integrated framework is essential for converting defect-engineered heterostructures from empirically optimized photocatalysts into rationally designed environmental remediation systems.

4. Defect–Interface Synergy in Photocatalytic Charge Regulation

Defect engineering and heterojunction construction represent complementary approaches for controlling the electronic structure and charge-transfer behaviour of semiconductor photocatalysts. Whereas heterojunction formation establishes an interfacial electronic environment between two dissimilar semiconductors, defects modify the local coordination, charge density, and electronic states within the individual components. Their deliberate integration can therefore produce a coupled structure in which defect states interact with interfacial charge redistribution, band bending, and internal electric fields. Rather than treating defects solely as additional catalytic sites, this perspective considers them as electronic regulators capable of modifying how photogenerated carriers are generated, localized, separated, transported, and ultimately delivered to surface reaction sites. Recent analyses of defect-engineered photocatalysts demonstrate that defects can regulate electron distribution, light absorption, carrier migration, and surface reaction kinetics, while heterojunctions provide additional pathways for spatial charge separation (Pastor et al., 2022; Wang et al., 2024).

4.1 Defect-mediated interfacial charge redistribution

When two semiconductors with different electronic properties are brought into intimate contact, their Fermi-level difference drives interfacial charge redistribution until an equilibrium state is established. This process can produce interfacial band bending and an internal electric field, both of which influence the subsequent movement of photogenerated electrons and holes. Introducing vacancies or substitutional defects near such an interface provides an additional means of controlling the local charge distribution and electronic potential. Consequently, the effect of a defect depends not only on its chemical identity but also on its position relative to the heterointerface. Defects located within or close to the junction can modify the interfacial potential landscape and thereby alter the preferred direction of carrier migration (Li et al., 2024; Xiang et al., 2024).

4.2 Defect states and charge-carrier localization

Defects can introduce electronic states within the band structure of semiconductors. These states may temporarily localize photogenerated carriers and influence their subsequent transfer to neighbouring sites or interfaces. Such localization can be beneficial when it promotes charge separation or facilitates a kinetically favourable surface reaction. However, defect states can also act as recombination centres when their energetic position and concentration favour rapid electron–hole annihilation. Therefore, defect engineering does not inherently improve

photocatalytic performance; its effectiveness depends on the nature, density, energetic distribution, and spatial arrangement of the defects. This explains why increasing the defect concentration beyond an optimum level may reduce rather than enhance photocatalytic activity (Pastor et al., 2022; Wang et al., 2024).

4.3 Band bending and internal electric-field regulation

Band bending provides an important connection between defect chemistry and interfacial charge dynamics. Redistribution of electrons at a semiconductor junction changes the local electrostatic potential, producing upward or downward bending of the conduction and valence bands. The resulting internal electric field can act as a driving force for charge separation and directional carrier migration. Defect engineering can further modify this field by changing the carrier concentration and local electronic potential. Recent studies have consequently identified vacancy engineering, doping, phase regulation, and interface construction as complementary approaches for strengthening built-in electric fields in photocatalytic systems (Li et al., 2024; Luo et al., 2024; Xiang et al., 2024).

4.4 Defect-controlled heterojunction charge-transfer pathways

The presence of defects can also influence the charge-transfer mechanism operating across a heterojunction. Conventional type-II transfer, Z-scheme behaviour, and S-scheme charge-transfer pathways differ in the manner by which photogenerated carriers are redistributed and in the degree to which their redox potentials are retained. In S-scheme systems, for example, interfacial charge redistribution and the resulting built-in electric field can selectively favour the recombination of less-active carriers while retaining electrons and holes with stronger reduction and oxidation potentials. Defects can modify this process by changing the electronic structure and Fermi-level positions of the constituent materials. Therefore, assigning a charge-transfer mechanism solely from conduction- and valence-band positions is insufficient; complementary evidence from surface-potential measurements, spectroscopy, and carrier-dynamics studies is necessary to establish the operative pathway (Zhang et al., 2025).

4.5 Interfacial defects as reaction-regulating sites

The electronic influence of defects is closely connected to their chemical function. Vacancies and other under-coordinated sites can modify adsorption interactions and alter the activation of reactant molecules at semiconductor surfaces. When such sites occur at or near a heterointerface, their chemical function may operate simultaneously with interfacial charge transfer. This creates a coupled reaction environment in which the electronic structure determines carrier availability while the defect-modified surface determines how reactants interact with those carriers. The resulting structure–function relationship is more complex than a simple increase in surface area or active-site density. Defect concentration, defect location, interface quality, and surface chemistry must therefore be considered together when interpreting photocatalytic enhancement (Pastor et al., 2022; Wang et al., 2024).

4.6 Structure–electronic property–activity relationship

At the structural level, defect type, concentration, and spatial distribution determine the local coordination environment. These structural characteristics subsequently influence electronic states, Fermi-level position, band bending, and internal electric fields. The resulting electronic configuration determines the probability of charge separation, migration, trapping, recombination, and surface transfer. Finally, these carrier dynamics influence the availability of reactive electrons and holes for photocatalytic reactions. This framework shifts the interpretation of photocatalytic enhancement from a simple structure–performance correlation toward a mechanistic structure–electronic property–activity relationship (Pastor et al., 2022; Li et al., 2024).

4.7 Mechanistic limitations and design considerations

Despite substantial progress, establishing a definitive relationship between defects, interfaces, and photocatalytic activity remains challenging. Defects can occur in different charge states and local environments, while their concentration and distribution are not always accurately determined by conventional structural characterization. Similarly, the existence of a heterointerface does not automatically establish a particular charge-transfer pathway. Recent studies have emphasized the importance of combining complementary techniques capable of probing band positions, surface potentials, interfacial charge redistribution, carrier lifetimes, and photoinduced charge migration. In particular, advanced approaches such as transient absorption spectroscopy, illuminated X-ray photoelectron spectroscopy, and Kelvin probe force microscopy can provide evidence for dynamic interfacial charge-transfer processes that cannot be established reliably from band diagrams alone (Zhang et al., 2025).

Accordingly, future defect–heterojunction design should move from empirical optimization toward quantitative control of defect populations and interfacial electronic properties. The objective is not simply to maximize the number of vacancies or interfaces, but to establish an appropriate combination of defect energetics, interface contact, band alignment, internal electric-field strength, and carrier lifetime. Such an approach can help distinguish genuine electronic synergy from apparent improvements arising from changes in morphology, surface area, light absorption, or other secondary properties. Recent reviews similarly identify atomic-level modulation of defects, heterojunctions, morphology, and internal fields as an important direction for advancing photocatalytic materials (Wang et al., 2024; Xiang et al., 2024).

5. Environmental Factors, Stability, Safety, and Practical Performance

The practical behaviour of defect-engineered heterostructures cannot be established solely from their performance in simplified laboratory solutions. Photocatalytic activity is strongly influenced by the surrounding aqueous matrix because pH, dissolved ions, natural organic matter, suspended particles, dissolved oxygen, and pollutant loading can alter adsorption, light penetration, reactive-species formation, and interfacial charge-transfer processes. Recent evidence shows that the composition of natural and wastewater matrices can substantially

change both photocatalytic kinetics and reaction pathways compared with ultrapure or model water systems (Idrissov et al., 2026; Ribeiro et al., 2019).

5.1 Influence of pH

pH is a fundamental variable because it simultaneously controls semiconductor surface charge, pollutant speciation, adsorption behaviour, and the stability of defect sites and interfaces. Changes in proton concentration can modify the electrostatic interaction between the catalyst and pollutant and can consequently determine whether adsorption precedes or limits the photocatalytic reaction. pH can also influence the formation and availability of reactive oxygen species and alter the energetic conditions at the semiconductor–water interface. Therefore, an optimum pH reported for one defect-engineered heterostructure should not automatically be generalized to other systems or water matrices. Instead, pH-dependent activity should be interpreted alongside surface charge, pollutant speciation, and interfacial charge-transfer characteristics (Idrissov et al., 2026; Ribeiro et al., 2019).

5.2 Ionic strength and electrolyte composition

Dissolved electrolytes can influence photocatalysis through electrostatic screening, competitive adsorption, aggregation, and interactions with reactive intermediates. Increasing ionic strength may compress the electrical double layer surrounding catalyst particles and thereby modify interactions between the photocatalyst and dissolved contaminants. Specific ions can additionally participate in secondary radical reactions. Consequently, the effect of ionic strength cannot be represented simply as either beneficial or detrimental; it depends on ion identity, concentration, catalyst surface chemistry, and the dominant reaction pathway (Ribeiro et al., 2019).

5.3 Natural organic matter

Natural organic matter (NOM) represents one of the most important differences between model water and natural or wastewater matrices. Humic and fulvic substances can compete with target pollutants for adsorption sites, absorb incident radiation, and consume reactive species. These processes can reduce the fraction of photogenerated oxidizing species available for pollutant transformation. However, NOM may also participate in photosensitized reactions and generate secondary reactive species under particular conditions. Its effect should therefore be evaluated according to its concentration, composition, molecular characteristics, and interaction with the catalyst rather than treated as a universal inhibitor (Klavarioti et al., 2017; Ribeiro et al., 2019).

5.4 Dissolved oxygen and inorganic ions

Dissolved oxygen provides an important electron acceptor in many photocatalytic systems and can participate in the formation of oxygen-centred reactive species. At the same time, inorganic ions such as bicarbonate, carbonate, chloride, sulfate, nitrate, and phosphate may interact with reactive species or catalyst surfaces. Depending on their identity and concentration, these ions can either inhibit or modify pollutant transformation by scavenging radicals,

competing for surface sites, or generating secondary reactive species. Thus, dissolved oxygen and inorganic-ion concentrations should be reported when evaluating photocatalytic performance under realistic water conditions (Idrissov et al., 2026; Ribeiro et al., 2019).

5.5 Turbidity and light penetration

Suspended particles and colloidal material can substantially influence light-driven reactions by scattering and absorbing incident radiation. Increasing turbidity can therefore reduce the photon flux reaching catalyst particles, particularly in slurry reactors. Suspended matter may also compete for reactive species or promote catalyst aggregation. Consequently, removal efficiencies obtained in optically clear laboratory solutions may not accurately predict performance in turbid surface water or wastewater (Idrissov et al., 2026).

5.6 Pollutant concentration and competing contaminants

Increasing pollutant concentration can alter apparent degradation kinetics because the available reactive species and catalytic surface sites become distributed among a larger number of substrate molecules. In real wastewater, the target contaminant is also rarely present alone. Coexisting organic and inorganic compounds may compete for adsorption sites and reactive species, producing inhibition or, in some cases, synergistic effects. Therefore, photocatalytic performance should be assessed using both single-contaminant solutions and representative multi-component matrices (Ribeiro et al., 2019; Taghavi et al., 2026).

5.7 Catalyst aggregation and surface deactivation

Aggregation represents an important practical limitation for nanoscale photocatalysts because particle clustering can decrease the accessible surface area and alter light utilization. Surface fouling by background organic matter or reaction intermediates can further block active sites. These effects are particularly relevant to defect-engineered materials because the same highly reactive surface sites responsible for improved catalytic performance may also provide adsorption locations for matrix constituents. Maintaining an accessible and chemically stable interface is therefore essential for long-term operation.

5.8 Photocorrosion and structural reconstruction

Photocorrosion occurs when photogenerated carriers participate in reactions that progressively alter the semiconductor itself. Defect-rich materials may be particularly sensitive to structural reconstruction because defects can represent chemically less-coordinated regions. Under prolonged illumination, changes in oxidation state, dissolution, surface reconstruction, or interfacial bonding can modify the original electronic structure. Consequently, an initially high-performing photocatalyst may progressively develop a different active phase during operation. Long-term characterization is therefore necessary to distinguish genuine operational stability from short-term activity (Wang et al., 2024; Zhang et al., 2025).

5.9 Defect migration and loss of defect stability

Defects should be regarded as dynamic structural features rather than permanently fixed characteristics. Thermal effects, illumination, surface reactions, and changes in the chemical environment may alter their concentration or local configuration. Migration, annihilation, reconstruction, or chemical passivation of defects can consequently change carrier trapping and interfacial charge-transfer behaviour during repeated photocatalytic cycles. This possibility is particularly important when activity is attributed to a specific vacancy or dopant configuration without monitoring its persistence after operation.

5.10 Metal-ion leaching and secondary contamination

For heterostructures containing transition metals or other potentially mobile elements, catalyst stability must include an assessment of elemental leaching. Dissolution can reduce the structural integrity of the catalyst while simultaneously introducing secondary contaminants into the treated water. This issue is particularly relevant to defect-engineered and doped materials because structural modification can increase the chemical accessibility of certain metal sites. Practical evaluation should therefore consider both pollutant removal and the chemical quality of the treated water. Metal leaching and material instability remain recognized barriers to the real-world application of advanced photocatalytic systems (Zhang et al., 2025).

5.11 Transformation products and toxicity

High disappearance of the parent pollutant does not necessarily demonstrate complete detoxification. Photocatalytic reactions can generate intermediate transformation products whose persistence and biological effects may differ substantially from those of the original contaminant. Accordingly, assessment based solely on concentration removal can overestimate treatment effectiveness. More rigorous evaluation should combine parent-compound disappearance with intermediate identification, mineralization measurements such as total organic carbon, and appropriate toxicity assessment. This distinction is particularly important when photocatalytic systems are proposed for real wastewater treatment.

5.12 Catalyst recovery and regeneration

Recovery is a central consideration for particulate photocatalysts because the catalyst must be separated from the treated water before discharge or reuse. Immobilization, magnetic separation, membrane-assisted recovery, and structured reactor configurations can reduce separation difficulties. However, recovery strategies can also alter mass transfer and available surface area. Regeneration should therefore be evaluated not simply according to the number of reuse cycles but according to retained activity, structural integrity, defect concentration, interfacial properties, and any accumulated surface fouling.

5.13 Performance in real wastewater and natural waters

A major limitation in the photocatalysis literature is the frequent reliance on simplified aqueous solutions. Natural waters and wastewaters contain mixtures of dissolved ions, NOM, suspended particles, competing contaminants, and variable pH. These components can interact simultaneously, making their combined effect different from the effect of each constituent tested individually. A recent comprehensive analysis emphasizes that photocatalytic behaviour in model water does not necessarily predict behaviour in natural or wastewater matrices and recommends validation under realistic matrix conditions (Idrissov et al., 2026).

5.14 Scale-up and reactor considerations

Transition from laboratory experiments to practical treatment requires more than increasing catalyst quantity. Reactor geometry, photon distribution, optical path length, mass transfer, catalyst recovery, hydraulic retention time, and energy consumption can all influence process performance. Consequently, the apparent activity of a catalyst measured in a small batch reactor cannot be directly translated into full-scale treatment efficiency. Recent assessments of photocatalytic water treatment identify reactor engineering, process integration, scalability, and realistic operating conditions as major unresolved barriers to implementation (Djellabi et al., 2026).

5.15 Life-cycle and techno-economic considerations

The sustainability of defect-engineered heterostructures must ultimately be assessed across their entire life cycle. Material synthesis, precursor consumption, energy requirements, reactor operation, catalyst recovery, regeneration, and end-of-life disposal all contribute to the overall environmental and economic burden. A catalyst that exhibits excellent laboratory activity but requires complex synthesis, rare precursors, intensive processing, or frequent replacement may have limited practical sustainability. Consequently, future studies should combine photocatalytic efficiency with catalyst lifetime, energy demand, recovery efficiency, material toxicity, and life-cycle considerations.

Table 3. Environmental conditions affecting defect-engineered heterostructure performance

Environmental factor	Effect on photocatalysis	Primary mechanism	Research implication
pH	Variable	Surface charge, pollutant speciation, adsorption, interfacial charge transfer	Evaluate across environmentally relevant pH ranges
Ionic strength	Variable	Electrostatic screening, aggregation, competitive adsorption	Test realistic electrolyte concentrations
Natural organic matter	Often inhibitory, but condition-dependent	ROS scavenging, light absorption, competitive adsorption, photosensitization	Include representative NOM concentrations
Carbonate/bicarbonate	Frequently inhibitory	Radical scavenging and carbonate-radical formation	Evaluate realistic alkalinity conditions
Chloride	Variable	Radical scavenging and secondary chlorine chemistry	Examine concentration-dependent pathways
Dissolved oxygen	Often promotes oxidative pathways	Electron trapping and oxygen-centred reactive species formation	Report oxygenation conditions
Turbidity	Generally inhibitory	Light scattering and photon attenuation	Evaluate optical properties of real matrices
Competing pollutants	Often inhibitory	Competition for active sites and reactive species	Use multi-contaminant systems
Catalyst aggregation	Generally inhibitory	Reduced accessible surface and altered light utilization	Assess dispersion and particle stability
Photocorrosion	Detrimental	Self-oxidation/reduction of semiconductor components	Characterize material before and after cycling
Defect instability	Variable	Defect migration, passivation, reconstruction	Track defect states during operation
Metal-ion leaching	Detrimental	Dissolution of dopant or semiconductor components	Quantify released elements
Transformation products	Variable	Partial oxidation/reduction pathways	Identify intermediates and assess toxicity
Catalyst recovery	Determines practical feasibility	Separation, regeneration, and mass-transfer effects	Report recovery efficiency and retained activity

Real wastewater	Frequently lowers apparent activity	Combined matrix interference	Validate using representative real matrices
Scale-up	Can change apparent performance	Photon distribution, hydrodynamics, mass transfer	Include reactor-level evaluation
Life-cycle burden	Determines sustainability	Synthesis, energy, recovery, disposal	Integrate LCA and techno-economic assessment

The central implication is that environmental robustness must become part of photocatalyst design rather than an evaluation performed only after material development. Defect engineering can improve electronic and catalytic properties, but the same defect sites may undergo chemical modification, become blocked by matrix constituents, or participate in structural degradation during operation. Recent work on complex water matrices similarly identifies active-site poisoning, reactive-species scavenging, electron-transfer interference, and long-term structural stability as interconnected challenges for defect-engineered catalytic systems (Idrissov et al., 2026).

6. Critical Challenges, Research Gaps and Future Perspectives

The development of defect-engineered heterostructures has substantially expanded the possibilities for manipulating semiconductor electronic structures, interfacial charge transfer, and photocatalytic activity. Nevertheless, translating these advances into reliable and practically deployable materials remains constrained by unresolved questions concerning defect identification, interfacial mechanisms, reproducibility, environmental stability, and process scalability. A central problem is that photocatalytic enhancement is frequently attributed to a particular vacancy, dopant, or heterojunction without quantitatively establishing its concentration, spatial distribution, electronic state, or contribution relative to other structural variables. Defects may simultaneously modify light absorption, charge trapping, adsorption, band bending, and recombination, making it difficult to isolate individual effects. Moreover, photocatalytic performance measured in simplified laboratory solutions does not necessarily represent behaviour in complex water matrices containing competing ions, natural organic matter, suspended solids, and multiple contaminants (Pastor et al., 2022; Ribeiro et al., 2019; Idrissov et al., 2026).

6.1 Lack of precise control over defect concentration

The concentration and distribution of defects remain difficult to control reproducibly during synthesis. Small variations in precursor composition, temperature, atmosphere, irradiation, reduction conditions, and post-treatment can substantially alter vacancy populations and electronic states. Importantly, the relationship between defect concentration and photocatalytic activity is generally non-linear because a beneficial defect population can become detrimental when excessive defects introduce efficient recombination pathways. Consequently, future synthesis strategies should establish quantitative relationships between defect density, defect charge state, and photocatalytic performance rather than simply reporting the presence or absence of defects (Pastor et al., 2022).

6.2 Difficulty distinguishing defect effects from heterojunction effects

When vacancies are introduced into a heterojunction, the resulting photocatalytic enhancement may originate from defect states, interfacial charge redistribution, improved light absorption, increased surface area, or a combination of these effects. This creates a significant attribution problem. Appropriate control experiments should therefore compare the pristine components, defect-engineered individual components, defect-free heterojunction, and defect-engineered heterojunction under identical conditions. Such systematic comparisons would allow the independent and synergistic contributions of defects and interfaces to be resolved.

6.3 Incomplete identification of active defect sites

The identification of the actual catalytic defect remains another major challenge. Techniques such as X-ray photoelectron spectroscopy, electron paramagnetic resonance, Raman spectroscopy, photoluminescence, and microscopy provide complementary information, but they do not necessarily establish whether a detected defect is the site responsible for the observed reaction. The chemical state, coordination environment, depth, and local electronic structure of defects must therefore be considered together. Future investigations should combine multiple characterization methods with theoretical calculations and activity measurements to establish structure–function relationships at the atomic level (Pastor et al., 2022).

6.4 Mechanistic ambiguity in Z-scheme and S-scheme systems

The assignment of Z-scheme and S-scheme charge-transfer mechanisms remains an important area requiring stronger experimental verification. Band diagrams constructed from estimated band positions alone cannot establish the actual direction of photogenerated carrier migration. In particular, similar photocatalytic outcomes may be interpreted using different mechanistic models. More rigorous identification requires complementary evidence involving work-function measurements, surface photovoltage, Kelvin probe measurements, in situ or operando photoelectron spectroscopy, transient absorption spectroscopy, and theoretical modelling. Recent mechanistic analyses emphasize that charge-transfer dynamics should be demonstrated experimentally rather than inferred solely from conventional band alignment (Zhang et al., 2025).

6.5 Limited operando characterization

Most characterization is conducted before or after photocatalytic operation, although defect states and interfaces can evolve during illumination. Adsorption, charge accumulation, surface reconstruction, oxidation-state changes, and defect migration can alter the active structure during the reaction itself. This creates a distinction between the initially synthesized catalyst and the operating catalyst. Operando spectroscopy and microscopy should therefore become increasingly important for determining how defect populations and interfaces evolve under realistic reaction conditions (Wang et al., 2024; Zhang et al., 2025).

6.6 Poor reproducibility of defect-engineered materials

Reproducibility is affected by the sensitivity of defect formation to synthesis conditions and by differences in precursor purity, thermal history, atmosphere, particle size, and post-treatment. Two materials described using the same nominal chemical composition may consequently possess substantially different defect populations. Reporting only nominal dopant or vacancy concentrations is insufficient. Detailed synthesis parameters and quantitative structural descriptors should accompany future publications to improve cross-study comparability.

6.7 Inconsistent photocatalytic-performance reporting

Photocatalytic performance is frequently reported using percentage removal, apparent rate constants, or pollutant concentration reduction without consistent reporting of catalyst loading, irradiation intensity, reactor geometry, optical path length, pollutant concentration, solution volume, pH, oxygenation, and mass-transfer conditions. Such differences can make direct comparison between materials misleading. Standardized reporting should therefore accompany the development of new photocatalysts, particularly where claims of superior activity are made.

6.8 Limited real-wastewater validation

A substantial proportion of photocatalytic investigations continue to rely on single-contaminant solutions prepared in ultrapure water. Such systems are useful for mechanistic studies but do not reproduce the competing ions, natural organic matter, suspended particles, and multiple contaminants present in real waters. Matrix components can consume reactive species, compete for adsorption sites, alter catalyst surface chemistry, and attenuate light penetration. Consequently, performance should progressively be validated using synthetic matrices of increasing complexity followed by authentic wastewater or natural-water samples (Ribeiro et al., 2019; Idrissov et al., 2026).

6.9 Transformation-product and ecotoxicological uncertainties

Pollutant disappearance should not be interpreted automatically as complete remediation. Partial oxidation or reduction can generate intermediate products with different persistence and biological effects. Future research should therefore incorporate chromatographic and mass-spectrometric identification of transformation products together with mineralization measurements and toxicity assessment. This approach would distinguish chemical removal from environmental detoxification and provide a more meaningful assessment of photocatalytic treatment.

6.10 Catalyst recovery and long-term stability

High initial activity is insufficient for practical application if the material rapidly loses activity or cannot be efficiently recovered. Long-term operation may involve surface fouling, defect reconstruction, photocorrosion, aggregation, leaching, and changes in interfacial bonding. Consequently, stability should be assessed over

substantially longer periods than conventional short-cycle experiments, with characterization conducted before and after repeated operation. Catalyst recovery and regeneration should also be evaluated alongside retained activity rather than reported simply as the number of reuse cycles.

6.11 AI/DFT-assisted defect and interface design

Density functional theory (DFT) and artificial intelligence (AI) provide opportunities to move defect engineering from empirical synthesis toward predictive materials design. DFT can be used to evaluate defect formation energies, electronic states, adsorption configurations, charge-density redistribution, and reaction energetics. Machine-learning approaches can subsequently identify relationships between structural descriptors and photocatalytic properties across larger materials spaces. Such approaches could help prioritize promising defect concentrations, dopant combinations, interface configurations, and reaction pathways before experimental synthesis. Their reliability, however, depends on the quality and consistency of the experimental and computational datasets used for model development.

6.12 Atomic-level defect placement

Future defect engineering should progress from controlling the amount of defects toward controlling their location. A vacancy positioned at an interface may have a substantially different function from an equivalent vacancy located within the bulk or on an isolated surface. Atomic-scale synthesis and characterization could therefore enable the deliberate placement of defects at regions where they maximize charge separation and surface reaction efficiency. This direction is consistent with the broader need to establish explicit relationships between defect structure and electronic function in photocatalytic materials (Pastor et al., 2022).

6.13 Multi-defect and multi-interface architectures

Combining multiple defect types or interfaces could provide greater control over carrier transport and surface chemistry. For example, vacancies, substitutional dopants, phase boundaries, and semiconductor junctions may collectively modify charge density and reaction energetics. However, increasing structural complexity also increases the difficulty of identifying the contribution of each component. Future studies should therefore move toward rationally designed multi-defect systems supported by quantitative characterization rather than simply increasing the number of structural modifications.

6.14 Continuous-flow photocatalytic reactors

Continuous-flow systems represent an important pathway for translating photocatalytic materials from laboratory studies to practical treatment. Unlike batch systems, flow reactors require simultaneous consideration of hydraulic residence time, catalyst retention, photon distribution, mass transfer, pressure drop, and catalyst regeneration. Immobilized catalysts, membrane-assisted systems, structured supports, and photoreactor configurations may help address catalyst-separation problems. Nevertheless, reactor-scale performance must be evaluated

independently because high intrinsic photocatalytic activity does not automatically translate into high process productivity (Djellabi et al., 2026).

6.15 Standardized testing protocols

Standardized photocatalytic testing would substantially improve comparison between materials. Future protocols should specify catalyst loading, pollutant concentration, solution volume, pH, dissolved oxygen, light wavelength, irradiance, reactor geometry, reaction temperature, dark-equilibrium period, sampling frequency, analytical method, and kinetic model. Reporting mineralization, transformation products, catalyst stability, and leaching alongside parent-pollutant removal would further strengthen environmental relevance. Such standardization would reduce the current difficulty of distinguishing intrinsic material improvements from differences in experimental conditions.

6.16 Future design principles for practical environmental remediation

The next generation of defect-engineered heterostructures should therefore be designed according to a structure–interface–environment–performance framework. At the material level, defect concentration and location should be controlled quantitatively. At the interface level, band alignment, Fermi-level redistribution, and internal electric fields should be experimentally established. At the environmental level, catalyst behaviour should be evaluated in realistic water matrices containing relevant ions, natural organic matter, and competing pollutants. Finally, at the process level, catalyst recovery, long-term stability, reactor configuration, energy consumption, transformation products, and life-cycle impacts should be integrated into performance assessment. This broader framework would move the field beyond maximizing laboratory degradation rates toward developing photocatalysts that retain their mechanistic advantages under realistic operating conditions (Ribeiro et al., 2019; Pastor et al., 2022; Idrissov et al., 2026; Djellabi et al., 2026).

Table 4. Major research gaps and proposed solutions

Research gap	Current limitation	Proposed direction
Defect quantification	Defect concentration and charge state are inconsistently determined	Establish standardized quantitative defect-density protocols
Defect/interface attribution	Contributions of defects and heterojunctions are difficult to separate	Use systematic pristine/defective/heterojunction control systems
Active-site identification	Detected defects are not always proven to be catalytic sites	Combine operando spectroscopy, microscopy, DFT, and kinetic analysis
Mechanism verification	Z-scheme and S-scheme pathways are sometimes inferred from band diagrams	Integrate work-function, surface-potential, spectroscopic, and theoretical evidence
Operando characterization	Most measurements describe catalyst before or after reaction	Monitor defect and interface evolution during illumination
Reproducibility	Small synthesis variations can alter defect populations	Report detailed synthesis parameters and quantitative structural descriptors
Performance reporting	Different irradiation, loading, and reactor conditions complicate comparison	Develop standardized photocatalytic testing protocols
Real-water performance	Many studies use simplified synthetic solutions	Validate catalysts in realistic water matrices
Transformation products	Parent-pollutant removal is often emphasized	Combine degradation measurements with LC-MS/GC-MS and toxicity assessment
Defect stability	Long-term defect evolution is poorly understood	Apply dynamic defect monitoring
Catalyst recovery	Nanoparticle separation can limit practical use	Develop immobilized, magnetic, membrane-assisted, or structured catalysts
Long-term stability	Photocorrosion, fouling, aggregation, and leaching reduce activity	Conduct extended cycling with post-operation characterization
Material discovery	Defect optimization remains partly trial-and-error	Integrate DFT, machine learning, and experimental validation
Atomic defect placement	Defect location is rarely controlled precisely	Develop atomic-scale synthesis and characterization
Multi-defect architectures	Increasing complexity makes mechanism attribution difficult	Design defect combinations based on electronic functions
Scale-up	Most experiments use small batch reactors	Develop continuous-flow and structured photoreactors
Sustainability	Synthesis and energy requirements are often overlooked	Integrate life-cycle assessment and techno-economic analysis

Conclusion

Defect-engineered inorganic semiconductor heterostructures represent an important materials strategy for overcoming the intrinsic limitations of conventional photocatalysts in environmental remediation. This review demonstrates that the deliberate integration of vacancies, interstitials, substitutional defects, and other structural imperfections with semiconductor heterojunctions can simultaneously regulate electronic structure, surface chemistry, interfacial charge transport, and photocatalytic reactivity. Rather than functioning independently, defects and heterointerfaces can interact to modify band positions, create localized electronic states, induce band bending and internal electric fields, and promote spatial separation of photogenerated electrons and holes. These changes provide a mechanistic basis for improving light utilization, charge-carrier lifetime, reactive oxygen species generation, pollutant adsorption, and interfacial redox reactions.

The environmental significance of these materials extends beyond the degradation of individual organic contaminants. Defect-engineered heterostructures can facilitate coupled processes involving organic-pollutant oxidation, inorganic-pollutant reduction or immobilization, adsorption, mineralization, and potentially resource recovery. Their performance, however, cannot be evaluated solely from pollutant-removal percentages. Factors such as pH, ionic strength, natural organic matter, competing ions, turbidity, pollutant concentration, catalyst aggregation, photocorrosion, defect migration, metal-ion leaching, transformation products, and catalyst recyclability strongly influence their practical effectiveness. Consequently, mechanistic interpretation and environmental validation must accompany conventional photocatalytic performance measurements.

Despite substantial progress, important challenges remain in establishing precise relationships between defect concentration, defect identity, interfacial structure, charge-transfer pathway, and catalytic performance. In particular, distinguishing defect-mediated effects from heterojunction-mediated effects remains difficult, while proposed Z-scheme and S-scheme mechanisms are sometimes inferred from indirect evidence. Future research should therefore prioritize quantitative defect characterization, operando and in situ spectroscopic measurements, standardized photocatalytic testing, long-term stability assessment, transformation-product identification, and validation in realistic wastewater and natural-water matrices. Integration of density functional theory, machine learning, and advanced microscopy could further enable atomic-level control over defect placement and interface construction.

The future development of defect-engineered heterostructures should move from empirical materials optimization toward mechanism-guided design in which defect chemistry, band alignment, interfacial charge regulation, surface reactivity, environmental stability, and reactor configuration are considered simultaneously. Such an integrated approach can support the development of more reproducible, stable, scalable, and environmentally

responsible photocatalytic systems and advance defect-engineered semiconductor heterostructures from laboratory-scale demonstrations toward practical coupled environmental-remediation technologies.

REFERENCES

Balapure, A., Dutta, J. R., & Ganesan, R. (2023). Recent advances in semiconductor heterojunctions: a detailed review of the fundamentals of photocatalysis, charge transfer mechanism and materials. RSC Applied Interfaces, 1(1), 43–69. https://doi.org/10.1039/d3lf00126a

Djellabi, R., Galloni, M. G., Bianchi, C. L., & Rtimi, S. (2026). Heterogeneous photocatalytic water treatment: From scientific advances to real-world implementation. *Journal of Water Process Engineering, 91*, 110521. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2026.110521

Idrissov, N., Serik, A., Daulbayev, C., Heynderickx, P. M., & Kuspanov, Z. (2026). Impact of water matrix type on the efficiency of photocatalytic degradation of organic pollutants. *Catalysis Today, 477*, 115934. https://doi.org/10.1016/j.cattod.2026.115934

Klavarioti, M., Mantzavinos, D., & Kassinos, D. (2017). Elucidation of background organic matter matrix effect on photocatalytic treatment of contaminants using TiO_2: A review. *Catalysis Today, 284*, 202–214. https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.12.024

Ribeiro, A. R., Moreira, N. F. F., Li Puma, G., & Silva, A. M. T. (2019). Impact of water matrix on the removal of micropollutants by advanced oxidation technologies. *Chemical Engineering Journal, 363*, 155–173. https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.12.069

Taghavi, S. M., Rowley-Neale, S., Banks, C. E., Aminabhavi, T. M., & Ghaedi, M. (2026). Photocatalytic nanocomposites: Mechanisms and influencing parameters to practical challenges. *Chemical Engineering Journal*, 172926. https://doi.org/10.1016/j.cej.2026.172926

Zhang, L., Zhang, J., Yu, J., & García, H. (2025). Charge-transfer dynamics in S-scheme photocatalyst. *Nature Reviews Chemistry, 9*, 328–342. https://doi.org/10.1038/s41570-025-00698-3

Balu, S., Ganapathy, D., Arya, S., Atchudan, R., & Sundramoorthy, A. K. (2024). Advanced photocatalytic materials based degradation of micropollutants and their use in hydrogen production – a review. RSC Advances, 14(20), 14392–14424. https://doi.org/10.1039/d4ra01307g

Kumar, A., Sharma, P., Sharma, G., Dhiman, P., Mola, G. T., Farghali, M., Rashwan, A. K., Nasr, M., Osman, A. I., & Wang, T. (2024). Simultaneous hydrogen production and photocatalytic pollutant removal: a review. Environmental Chemistry Letters, 22(5), 2405–2424. https://doi.org/10.1007/s10311-024-01756-w

Ortiz-Quiñonez, J.-L., & Pal, U. (2024). Interface engineered metal oxide heterojunction nanostructures in photocatalytic CO2 reduction: Progress and prospects. Coordination Chemistry Reviews, 516, 215967. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215967

Osman, A. I., Elgarahy, A. M., Eltaweil, A. S., El-Monaem, E. M. A., El-Aqapa, H. G., Park, Y., Hwang, Y., Ayati, A., Farghali, M., Ihara, I., Al-Muhtaseb, A. H., Rooney, D. W., Yap, P., & Sillanpää, M. (2023). Biofuel production, hydrogen production and water remediation by photocatalysis, biocatalysis and electrocatalysis. Environmental Chemistry Letters, 21(3), 1315–1379. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01581-7

Pastor, E., Sachs, M., Selim, S., Durrant, J. R., Bakulin, A. A., & Walsh, A. (2022). Electronic defects in metal oxide photocatalysts. arXiv (Cornell University), 7(7), 503–521. https://doi.org/10.1038/s41578-022-00433-0

Qahtan, T. F., Owolabi, T. O., Olubi, O. E., & Hezam, A. (2024). Emerging tandem S-scheme heterojunction photocatalysts. Coordination Chemistry Reviews, 514, 215839. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215839

Wang, G., Lv, S., Shen, Y., Li, W., Lin, L., & Li, Z. (2023). Advancements in heterojunction, cocatalyst, defect and morphology engineering of semiconductor oxide photocatalysts. Journal of Materiomics, 10(2), 315–338. https://doi.org/10.1016/j.jmat.2023.05.014

Wang, Y., Yu, W., Wang, C., Chen, F., Ma, T., & Huang, H. (2024). Defects in photoreduction reactions: Fundamentals, classification, and catalytic energy conversion. eScience, 4(3), 100228. https://doi.org/10.1016/j.esci.2024.100228

Xu, F., He, Y., Zhang, J., Liang, G., Liu, C., & Yu, J. (2024). Prolonging Charge Carrier Lifetime via Intraband Defect Levels in S-Scheme Heterojunctions for Artificial Photosynthesis. Angewandte Chemie International Edition, 64(2). https://doi.org/10.1002/anie.202414672

Yan, X., Dong, J., Zheng, J., Wu, Y., & Xiao, F. (2024). Customizing precise, tunable, and universal cascade charge transfer chains towards versatile photoredox catalysis. Chemical Science, 15(8), 2898–2913. https://doi.org/10.1039/d3sc05761e

Zhang, L., Zhang, J., Yu, H., & Yu, J. (2021). Emerging S-Scheme Photocatalyst. Advanced Materials, 34(11). https://doi.org/10.1002/adma.202107668

Zhu, B., Sun, J., Zhao, Y., Zhang, L., & Yu, J. (2023). Construction of 2D S-Scheme Heterojunction Photocatalyst. Advanced Materials, 36(8). https://doi.org/10.1002/adma.202310600

Zu, D., Wei, H., Lin, Z., Bai, X., Ivan, Md. N. A. S., Tsang, Y. H., & Huang, H. (2024). The Role of Point Defects in Heterojunction Photocatalysts: Perspectives and Outlooks. Advanced Functional Materials, 34(48). https://doi.org/10.1002/adfm.202408213

Chen, T., Xie, J., Wen, B., Yin, Q., Lin, R., Zhu, S., & Gao, P. (2023). Inhibition of defect-induced α-to-δ phase transition for efficient and stable formamidinium perovskite solar cells. Nature Communications, 14(1), 6125. https://doi.org/10.1038/s41467-023-41853-y

Dai, Z., Li, Z., Chen, R., Wu, F., & Li, L. (2023). Defective oxygen inert phase stabilized high-voltage nickel-rich cathode for high-energy lithium-ion batteries. Nature Communications, 14(1), 8087. https://doi.org/10.1038/s41467-023-43792-0

Li, Y., Li, Y., Sun, H., Gao, L., Jin, X., Li, Y., Lv, Z., Xu, L., Liu, W., & Sun, X. (2024). Current Status and Perspectives of Dual-Atom Catalysts Towards Sustainable Energy Utilization. Nano-Micro Letters, 16(1), 139. https://doi.org/10.1007/s40820-024-01347-y

Liu, F., & Fan, Z. (2023). Defect engineering of two-dimensional materials for advanced energy conversion and storage. Chemical Society Reviews, 52(5), 1723–1772. https://doi.org/10.1039/d2cs00931e

Uddin, N., Zhang, H., Du, Y., Jia, G., Wang, S., & Yin, Z. (2020). Structural-Phase Catalytic Redox Reactions in Energy and Environmental Applications. Advanced Materials, 32(9). https://doi.org/10.1002/adma.201905739

Wang, M., Langer, M., Altieri, R., Crisci, M., Osella, S., & Gatti, T. (2024). Two-Dimensional Layered Heterojunctions for Photoelectrocatalysis. ArXiv.Org, 18(13), 9245–9284. https://doi.org/10.1021/acsnano.3c12274

Xiao, M., Wang, Z., Maeda, K., Liu, G., & Wang, L. (2023). Addressing the stability challenge of photo(electro)catalysts towards solar water splitting. Chemical Science, 14(13), 3415–3427. https://doi.org/10.1039/d2sc06981d

Zhang, H., Chen, L., Dong, F., Lu, Z., Lv, E., Dong, X., Li, H., Yuan, Z., Peng, X., Yang, S., Qiu, J., Guo, Z., & Wen, Z. (2024). Dynamic transformation of active sites in energy and environmental catalysis. Energy & Environmental Science, 17(18), 6435–6481. https://doi.org/10.1039/d4ee02365j

Zhao, Z., Chen, H., Zhang, W., Yi, S., Chen, H., Su, Z., Niu, B., Zhang, Y., & Long, D. (2023). Defect engineering in carbon materials for electrochemical energy storage and catalytic conversion. Materials Advances, 4(3), 835–867. https://doi.org/10.1039/d2ma01009g

Ding, Y., Maitra, S., Wang, C., Halder, S., Zheng, R., Barakat, T., Roy, S., Chen, L., & Su, B. (2022). Vacancy defect engineering in semiconductors for solar light-driven environmental remediation and sustainable energy production. Interdisciplinary Materials, 1(2), 213–255. https://doi.org/10.1002/idm2.12025

Ganose, A. M., Scanlon, D. O., Walsh, A., & Hoye, R. L. Z. (2022). The defect challenge of wide-bandgap semiconductors for photovoltaics and beyond. Nature Communications, 13(1), 4715. https://doi.org/10.1038/s41467-022-32131-4

Hou, S., Gao, X., Lv, X., Zhao, Y., Yin, X.-T., Liu, Y., Fang, J., Yu, X., Ma, X., Ma, T., & Su, D. (2024). Decade Milestone Advancement of Defect-Engineered g-C3N4 for Solar Catalytic Applications. Nano-Micro Letters, 16(1), 70. https://doi.org/10.1007/s40820-023-01297-x

Huang, Y., Meng, L., Xu, W., & Li, L. (2023). The Positive Versus Negative Effects of Defect Engineering for Solar Water Splitting: A Review. Advanced Functional Materials, 33(47). https://doi.org/10.1002/adfm.202305940

Liang, Q., Zhang, Q., Zhao, X., Liu, M., & Wee, A. T. S. (2021). Defect Engineering of Two-Dimensional Transition-Metal Dichalcogenides: Applications, Challenges, and Opportunities. ACS Nano, 15(2), 2165–2181. https://doi.org/10.1021/acsnano.0c09666

Luo, D., Li, X., Dumont, A., Yu, H., & Lu, Z. (2021). Recent Progress on Perovskite Surfaces and Interfaces in Optoelectronic Devices. Advanced Materials, 33(30). https://doi.org/10.1002/adma.202006004

Metcalf, I., Sidhik, S., Zhang, H., Agrawal, A., Persaud, J., Hou, J., Even, J., & Mohite, A. D. (2023). Synergy of 3D and 2D Perovskites for Durable, Efficient Solar Cells and Beyond. SPIRE - Sciences Po Institutional REpository, 123(15), 9565–9652. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00214

Min, J., Choi, Y., Kim, D., & Park, T. (2023). Beyond Imperfections: Exploring Defects for Breakthroughs in Perovskite Solar Cell Research. Advanced Energy Materials, 14(6). https://doi.org/10.1002/aenm.202302659

Pastor, E., Sachs, M., Selim, S., Durrant, J. R., Bakulin, A. A., & Walsh, A. (2022). Electronic defects in metal oxide photocatalysts. arXiv (Cornell University), 7(7), 503–521. https://doi.org/10.1038/s41578-022-00433-0

Song, G., Cong, S., & Zhao, Z. (2021). Defect engineering in semiconductor-based SERS. Chemical Science, 13(5), 1210–1224. https://doi.org/10.1039/d1sc05940h

Srivastava, S., Ranjan, S., Yadav, L. S., Sharma, T., Choudhary, S., Agarwal, D., Singh, A., Satapathi, S., Gupta, R. K., Garg, A., & Nalwa, K. S. (2023). Advanced spectroscopic techniques for characterizing defects in perovskite solar cells. Communications Materials, 4(1). https://doi.org/10.1038/s43246-023-00379-y

Wang, Y., Yu, W., Wang, C., Chen, F., Ma, T., & Huang, H. (2024). Defects in photoreduction reactions: Fundamentals, classification, and catalytic energy conversion. eScience, 4(3), 100228. https://doi.org/10.1016/j.esci.2024.100228

Wu, C., Shi, X., Wang, L., Lyu, W., Yuan, P., Cheng, L., Chen, Z., & Yao, X. (2024). Defect Engineering Advances Thermoelectric Materials. ACS Nano, 18(46), 31660–31712. https://doi.org/10.1021/acsnano.4c11732

Ali, H., Ajmal, Z., Alzahrani, A. Y. A., Mughram, M. H. A., Abu-Dief, A. M., Al-Faze, R., Hassan, H. M. A., Al-Mhyawi, S. R., Al-Hadeethi, Y. F., Orooji, Y., Guo, S., & Hayat, A. (2025). Defect-driven innovations in photocatalysts: Pathways to enhanced photocatalytic applications. InfoMat, 7(9). https://doi.org/10.1002/inf2.70040

Chen, F., Ma, T., Zhang, T., Zhang, Y., & Huang, H. (2021). Atomic-Level Charge Separation Strategies in Semiconductor-Based Photocatalysts. Advanced Materials, 33(10). https://doi.org/10.1002/adma.202005256

Gao, R., Zhang, J., Nakajima, T., He, J., Liu, X., Zhang, X., Wang, L., & Wu, L. (2023). Single-atomic-site platinum steers photogenerated charge carrier lifetime of hematite nanoflakes for photoelectrochemical water splitting. Nature Communications, 14(1), 2640. https://doi.org/10.1038/s41467-023-38343-6

Han, Y., Zhang, Y., Ye, L., Gong, T., Lu, X., Yan, N., & Fu, Y. (2025). Establishing Dual-Interface Built-In Electric Fields within Janus Heterostructures for Cooperative Photoredox Catalysis. Journal of the American Chemical Society, 147(22), 18637–18650. https://doi.org/10.1021/jacs.5c01171

Hou, S., Gao, X., Lv, X., Zhao, Y., Yin, X.-T., Liu, Y., Fang, J., Yu, X., Ma, X., Ma, T., & Su, D. (2024). Decade Milestone Advancement of Defect-Engineered g-C3N4 for Solar Catalytic Applications. Nano-Micro Letters, 16(1), 70. https://doi.org/10.1007/s40820-023-01297-x

Li, Y., Wang, Y., Li, J., Qi, M., Conte, M., Tang, Z., & Xu, Y. (2023). Selective Imines Synthesis by Designing an Atomic-Level Cu–Pt Electron Transfer Channel over CdS Nanosheets. ACS Catalysis, 14(2), 657–669. https://doi.org/10.1021/acscatal.3c05511

Pastor, E., Sachs, M., Selim, S., Durrant, J. R., Bakulin, A. A., & Walsh, A. (2022). Electronic defects in metal oxide photocatalysts. arXiv (Cornell University), 7(7), 503–521. https://doi.org/10.1038/s41578-022-00433-0

Sayed, M., Zhang, L., Garcia, H., Yu, H. Q., & Yu, J. S. (2026). S-Scheme Shapes Heterojunction Photocatalysis. Accounts of Chemical Research. https://doi.org/10.1021/acs.accounts.5c00899

Wang, H. (2026). Atomic-scale interface engineering in photocatalysis. Nano Research Energy, 5(3). https://doi.org/10.26599/nre.2026.9120236

Wang, X., Wang, X., Huang, J., Li, S., Meng, A., & Li, Z. (2021). Interfacial chemical bond and internal electric field modulated Z-scheme Sv-ZnIn2S4/MoSe2 photocatalyst for efficient hydrogen evolution. Nature Communications, 12(1), 4112. https://doi.org/10.1038/s41467-021-24511-z

Wang, Y., Yu, W., Wang, C., Chen, F., Ma, T., & Huang, H. (2024). Defects in photoreduction reactions: Fundamentals, classification, and catalytic energy conversion. eScience, 4(3), 100228. https://doi.org/10.1016/j.esci.2024.100228

Xu, F., He, Y., Zhang, J., Liang, G., Liu, C., & Yu, J. (2024). Prolonging Charge Carrier Lifetime via Intraband Defect Levels in S-Scheme Heterojunctions for Artificial Photosynthesis. Angewandte Chemie International Edition, 64(2). https://doi.org/10.1002/anie.202414672

Yan, J., Wei, Z., Takagi, K., Motodate, M., Jiang, Z., Terashima, C., & Shangguan, W. (2025). An Overview of Dynamic Descriptions for Nanoscale Materials in Particulate Photocatalytic Systems from Spatiotemporal Perspectives. Nano-Micro Letters, 17(1), 196. https://doi.org/10.1007/s40820-025-01687-3

Zhang, H., Chen, L., Dong, F., Lu, Z., Lv, E., Dong, X., Li, H., Yuan, Z., Peng, X., Yang, S., Qiu, J., Guo, Z., & Wen, Z. (2024). Dynamic transformation of active sites in energy and environmental catalysis. Energy & Environmental Science, 17(18), 6435–6481. https://doi.org/10.1039/d4ee02365j

Zu, D., Wei, H., Lin, Z., Bai, X., Ivan, Md. N. A. S., Tsang, Y. H., & Huang, H. (2024). The Role of Point Defects in Heterojunction Photocatalysts: Perspectives and Outlooks. Advanced Functional Materials, 34(48). https://doi.org/10.1002/adfm.202408213

Zu, D., Ying, Y., Wei, Q., Xiong, P., Ahmed, M. S., Lin, Z., Li, M. M., Li, M., Xu, Z., Chen, G., Bai, L., She, S., Tsang, Y. H., & Huang, H. (2024). Oxygen Vacancies Trigger Rapid Charge Transport Channels at the Engineered Interface of S-Scheme Heterojunction for Boosting Photocatalytic Performance. Angewandte Chemie International Edition, 63(31). https://doi.org/10.1002/anie.202405756

Hou, S., Gao, X., Lv, X., Zhao, Y., Yin, X.-T., Liu, Y., Fang, J., Yu, X., Ma, X., Ma, T., & Su, D. (2024). Decade Milestone Advancement of Defect-Engineered g-C3N4 for Solar Catalytic Applications. Nano-Micro Letters, 16(1), 70. https://doi.org/10.1007/s40820-023-01297-x

Kumar, A., & Krishnan, V. (2021). Vacancy Engineering in Semiconductor Photocatalysts: Implications in Hydrogen Evolution and Nitrogen Fixation Applications. Advanced Functional Materials, 31(28). https://doi.org/10.1002/adfm.202009807

Kumar, A., Sharma, P., Sharma, G., Dhiman, P., Mola, G. T., Farghali, M., Rashwan, A. K., Nasr, M., Osman, A. I., & Wang, T. (2024). Simultaneous hydrogen production and photocatalytic pollutant removal: a review. Environmental Chemistry Letters, 22(5), 2405–2424. https://doi.org/10.1007/s10311-024-01756-w

Osman, A. I., Elgarahy, A. M., Eltaweil, A. S., El-Monaem, E. M. A., El-Aqapa, H. G., Park, Y., Hwang, Y., Ayati, A., Farghali, M., Ihara, I., Al-Muhtaseb, A. H., Rooney, D. W., Yap, P., & Sillanpää, M. (2023). Biofuel production, hydrogen production and water remediation by photocatalysis, biocatalysis and electrocatalysis. Environmental Chemistry Letters, 21(3), 1315–1379. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01581-7

Pastor, E., Sachs, M., Selim, S., Durrant, J. R., Bakulin, A. A., & Walsh, A. (2022). Electronic defects in metal oxide photocatalysts. arXiv (Cornell University), 7(7), 503–521. https://doi.org/10.1038/s41578-022-00433-0

Wang, G., Lv, S., Shen, Y., Li, W., Lin, L., & Li, Z. (2023). Advancements in heterojunction, cocatalyst, defect and morphology engineering of semiconductor oxide photocatalysts. Journal of Materiomics, 10(2), 315–338. https://doi.org/10.1016/j.jmat.2023.05.014

Wang, Y., Yu, W., Wang, C., Chen, F., Ma, T., & Huang, H. (2024). Defects in photoreduction reactions: Fundamentals, classification, and catalytic energy conversion. eScience, 4(3), 100228. https://doi.org/10.1016/j.esci.2024.100228

Wang, Z., Xiao, M., You, J., Liu, G., & Wang, L. (2022). Defect Engineering in Photocatalysts and Photoelectrodes: From Small to Big. Accounts of Materials Research, 3(11), 1127–1136. https://doi.org/10.1021/accountsmr.1c00201

Xu, F., He, Y., Zhang, J., Liang, G., Liu, C., & Yu, J. (2024). Prolonging Charge Carrier Lifetime via Intraband Defect Levels in S-Scheme Heterojunctions for Artificial Photosynthesis. Angewandte Chemie International Edition, 64(2). https://doi.org/10.1002/anie.202414672

Yin, K., Yan, Z., Fang, N., Yu, W., Chu, Y., Shu, S., & Xu, M. (2023). The synergistic effect of surface vacancies and heterojunctions for efficient photocatalysis: A review. Separation and Purification Technology, 325, 124636. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124636

Zafar, Z., Yi, S., Li, J., Li, C., Zhu, Y., Zada, A., Yao, W., Liu, Z., & Yue, X. (2021). Recent Development in Defects Engineered Photocatalysts: An Overview of the Experimental and Theoretical Strategies. Energy & Environment Materials, 5(1), 68–114. https://doi.org/10.1002/eem2.12171

Zhang, H., Chen, L., Dong, F., Lu, Z., Lv, E., Dong, X., Li, H., Yuan, Z., Peng, X., Yang, S., Qiu, J., Guo, Z., & Wen, Z. (2024). Dynamic transformation of active sites in energy and environmental catalysis. Energy & Environmental Science, 17(18), 6435–6481. https://doi.org/10.1039/d4ee02365j

Zu, D., Wei, H., Lin, Z., Bai, X., Ivan, Md. N. A. S., Tsang, Y. H., & Huang, H. (2024). The Role of Point Defects in Heterojunction Photocatalysts: Perspectives and Outlooks. Advanced Functional Materials, 34(48). https://doi.org/10.1002/adfm.202408213

FOSTERİNG THE CREATİVE ECONOMY İN PEMALANG REGENCY THROUGH MSMES, INNOVATİON, AND THE UTİLİZATİON OF LOCAL POTENTİAL

Eva KHAERIYAH[1], Kamilah FIDINI[2], Fina HIMATUL KHUSNA[3], Novi MARISKA[4], Hernawati[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: evakhaeriyaah@gmail.com

Abstract

This study aims to describe the profile and development potential of the creative economy in Pemalang Regency, Central Java. The creative economy is an economic activity that relies on creativity, ideas, skills, innovation, and the utilization of local resources to create added value. In Pemalang Regency, the development of the creative economy is closely related to Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs), which play an important role in utilizing local potential, creating employment opportunities, and generating community income. This study uses a descriptive approach based on literature review and information from relevant research and local government sources. The results show that Pemalang Regency has diverse creative economy potential, particularly in the culinary, fashion, craft, and performing arts subsectors. Local products such as written batik, sarung goyor, traditional food, handicrafts, and traditional performing arts reflect the relationship between economic activities, local skills, cultural values, and regional identity. However, the development of the creative economy still faces challenges, including limited human resource capacity, access to financing, product innovation, marketing, distribution, and utilization of digital technology. Therefore, the development of the creative economy requires improvements in product quality, innovation, digital marketing, business management, financing access, and human resource skills. Collaboration among the government, academics, business actors, and the community is also needed to strengthen the creative economy ecosystem. The development of village-based creative potential can further support the growth of local products while maintaining local cultural characteristics. With sustainable support and effective management, the creative economy has the potential to contribute to increasing community income, strengthening local products, and improving the competitiveness of Pemalang Regency.

Keywords: Creative Economy, MSMEs, Local Potential, Innovation, Pemalang Regency

THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN PROMOTİNG FİNANCİAL INCLUSİON

Zelda Fadhila ZANETA[1]

[1] Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: zelda.fadhila.zaneta226051@uingusdur.ac.id

Abstract

Islamic banking has emerged as an important component of the global financial system, particularly in countries with a significant Muslim population. Unlike conventional banking, Islamic banking operates based on principles derived from Islamic law, including the prohibition of *riba* (interest), *gharar* (excessive uncertainty), and *maysir* (gambling), while emphasizing fairness, transparency, and risk-sharing. This study aims to examine the role of Islamic banking in promoting financial inclusion and supporting sustainable economic development. The study uses a qualitative descriptive approach by reviewing relevant literature concerning Islamic banking, financial inclusion, and its contribution to society. The discussion focuses on how Islamic banking products and services can provide accessible and ethical financial solutions for individuals and small businesses, particularly those who may be underserved by conventional financial institutions. Islamic banking can contribute to financial inclusion through various instruments, such as *mudharabah*, *musyarakah*, *murabahah*, and *qardh*, which are designed according to different financing needs and contractual principles. Furthermore, Islamic banking encourages responsible financial activities by connecting financing with real economic sectors and promoting social values. However, several challenges remain, including limited public understanding of Islamic financial concepts, differences in financial literacy, technological adaptation, and the need for greater innovation in Islamic banking products. Therefore, strengthening Islamic financial literacy, improving digital services, and developing innovative products that remain compliant with Sharia principles are essential to expand the role of Islamic banking. Through these efforts, Islamic banking can contribute to a more inclusive, ethical, and sustainable financial system.

Keywords: Islamic Banking, Financial Inclusion, Sharia Principles, Financial Literacy, Sustainable Development.

DIGITALIZATION OF ISLAMIC BANKING AND EASIER ACCESS TO FINANCIAL SERVICES

Vina Hidayatul HUSNA

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Islamic Banking, Central Java, Indonesia.

Email: vinahidayatulhusna555@gmail.com

Abstract

Digitalization has brought significant changes to the development of the banking industry, including Islamic banking. The use of digital technology enables Islamic banks to provide financial services that are more accessible, efficient, and flexible for the public. This study aims to analyze the role of digitalization in improving access to Islamic banking services and to identify the benefits and challenges arising from its implementation. This study employs a descriptive qualitative approach through a literature review by examining various sources related to Islamic banking digitalization and digital financial services. The results indicate that digitalization can facilitate various banking activities, such as account opening, fund transfers, payments, balance inquiries, and financing applications through digital platforms. These services can also expand the reach of Islamic banking, allowing people who previously faced limitations in accessing banking services to obtain greater convenience. However, digital transformation also presents several challenges, including data security, cybercrime risks, limited digital literacy, and the need to ensure that digital banking services remain consistent with Islamic principles. Therefore, the development of digitalization in Islamic banking needs to be accompanied by stronger security systems, improved financial and digital literacy, and effective supervision to ensure Sharia compliance. In conclusion, digitalization can serve as an important means of improving the quality, accessibility, and efficiency of Islamic banking services while maintaining the principles underlying Islamic finance.

Keywords: digitalization, Islamic banking, financial services, digital technology, financial literacy.

ISLAMIC BANKING: PRINCIPLES AND ITS ROLE IN THE ISLAMIC FINANCIAL SYSTEM

Stefani Novitasari

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: dahrulmuftadin@uingusdur.ac.id

Abstract

Islamic banking is an important part of the Islamic financial system that operates based on Sharia principles. Unlike conventional banking, Islamic banking applies a profit-sharing system and avoids practices such as riba (interest), gharar (uncertainty), and maysir (gambling) in its operations. The development of Islamic banking in Indonesia indicates an increasing demand for financial services that comply with Islamic values. This paper aims to explain the definition of Islamic banking, its principles, and its roles and benefits in society. The method used in this paper is a literature review by collecting information from various sources, such as books, academic journals, and relevant articles related to Islamic banking. The discussion shows that Islamic banking not only functions as a financial institution for collecting and distributing funds but also plays a role in supporting economic growth based on justice, transparency, and partnership. Islamic banking products, such as mudharabah, musyarakah, murabahah, and wadiah, represent the application of Sharia principles in financial activities. However, Islamic banking still faces several challenges, including limited public understanding, competition with conventional banking, and the need for digital service innovation. Therefore, improving Islamic financial literacy, service quality, and product innovation is necessary to support the sustainable development of Islamic banking. By consistently implementing Sharia principles, Islamic banking is expected to contribute to public welfare and more inclusive economic development**.**

Keywords: Islamic Banking, Sharia Principles, Islamic Financial System, Islamic Economics.

THE EFFECTIVENESS OF INTERACTIVE LEARNING SYSTEMS IN IMPROVING STUDENTS UNDERSTANDING OF ISLAMIC BANKING CONCEPTS

Annika Diva Kustiyani EVI

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email : annika.diva.kustiyani226011@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

This study aims to examine the effectiveness of interactive learning systems in improving students' understanding of Islamic banking concepts. The development of technology in education has encouraged the use of interactive learning systems as an alternative to conventional learning methods. In Islamic banking education, students are expected not only to understand theoretical concepts but also to recognize their application in banking practices based on Islamic principles. Therefore, an interactive learning system can provide a more engaging learning experience and help students understand complex materials more effectively. This study uses a quantitative approach to measure the effectiveness of interactive learning systems in the learning process. The research subjects are students who study Islamic banking. Data are collected through questionnaires and learning outcome tests to identify students perceptions and levels of understanding before and after using the interactive learning system. The data are analyzed using descriptive statistics and appropriate statistical tests to determine whether the use of the system contributes to students understanding of Islamic banking concepts. The expected results indicate that interactive learning systems can improve students understanding, learning engagement, and ability to apply Islamic banking concepts. This study is expected to provide useful information for lecturers and educational institutions in developing more effective and technology-based learning strategies for Islamic banking education. Furthermore, the findings may support the integration of interactive technology into Islamic banking courses to create a more effective, engaging, and relevant learning environment.

ISLAMİC BANKİNG: CONCEPTS, PRİNCİPLES, AND PRACTİCES

Tabasum lil FAROH

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia banking, Central Java, Indonesia

Email: tabasum.lil.faroh226032@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Islamic banking is a financial system that operates based on Islamic principles, emphasizing fairness, ethical investment, and the prohibition of interest (riba). This paper discusses the fundamental concepts, principles, and practices of Islamic banking, including the role of Sharia principles in financial transactions. Unlike conventional banking, Islamic banking applies profit-and-loss sharing mechanisms and avoids transactions involving excessive uncertainty (gharar), gambling (maysir), and prohibited activities. This paper also examines several Islamic banking products and contracts, such as murabahah, mudharabah, musyarakah, and ijarah, which are commonly used to provide financing and other financial services. Furthermore, the paper highlights the development and role of Islamic banking in supporting economic and social development. Understanding these concepts and practices is essential for recognizing how Islamic banking provides financial services while maintaining compliance with Sharia principles. Overall, Islamic banking represents an alternative financial system that combines economic objectives with ethical and religious values.

Keywords: Islamic Banking, Sharia Principles, Islamic Finance, Riba, Islamic Banking Practices

THE ROLE OF ISLAMİC BANKİNG İN IMPROVİNG THE COMMUNİTY'S ECONOMY

Naylla ZULFA[1]

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia banking, Central Java, Indonesia

Email: naylla.zulfa226014@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

Islamic banking plays an important role in supporting economic development and improving the welfare of society. Unlike conventional banking, Islamic banking operates based on Islamic principles, such as fairness, transparency, profit-sharing, and the prohibition of interest (riba). This study aims to examine the role of Islamic banking in improving the economic conditions of the community and supporting sustainable economic growth. The method used in this study is a literature review by collecting and analyzing information from books, journals, articles, and other relevant sources related to Islamic banking and economic development.

The results show that Islamic banking contributes to the community's economy through various financial products and services, particularly financing for micro, small, and medium enterprises (MSMEs). Islamic financing schemes, such as murabahah, mudharabah, and musyarakah, provide opportunities for individuals and business owners to obtain capital based on Islamic principles. In addition, Islamic banking can encourage people to manage their finances more responsibly and increase financial inclusion, especially among communities that prefer financial services based on Islamic values. The development of digital Islamic banking services also makes banking services more accessible and convenient for the community.

Therefore, Islamic banking has an important role in supporting economic activities, developing small businesses, creating business opportunities, and improving community welfare. However, increasing public literacy about Islamic finance and improving the quality of Islamic banking services are still needed so that its contribution to economic development can continue to grow.

Keywords: Islamic Banking, Economic Development, Community Welfare, Islamic Financing, MSMEs.

THE DEVELOPMENT OF ISLAMIC BANKING IN INDONESIA IN THE DIGITAL ERA

SITI NAYLA BILQIS

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: siti.nayla.bilqis226031@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The development of Islamic banking in Indonesia has experienced significant changes in the digital era. The advancement of digital technology has encouraged Islamic banks to improve their services through digital banking, mobile applications, and online financial services. These developments make banking transactions easier, faster, and more accessible to the public. This paper discusses the development of Islamic banking in Indonesia in the digital era, including the use of digital technology, the benefits of digital services, and the challenges faced by Islamic banks. The digitalization of Islamic banking provides opportunities to increase financial inclusion and attract more people to use sharia-compliant financial services. However, Islamic banks also need to pay attention to challenges such as cybersecurity, data protection, digital literacy, and competition in the financial industry. Therefore, the development of digital technology can play an important role in strengthening the growth and competitiveness of Islamic banking in Indonesia.

Keywords: Islamic banking, digital era, digital banking, Indonesia, technologyKeywords: Qur'anic legal rulings; *Tafsir Ahkam*; halal economic ethics; KHAS Zone; Qur'anic values.

ANALİSİS PERBANDİNGAN KİNERJA KEUANGAN BANK UMUM SYARİAH DAN BANK KONVENSİONAL Dİ INDONESİA MENGGUNAKAN METODE RGEC

Finalia Mei MILADIA

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: finalia.mei.miladia226020@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

This study aims to conduct a comprehensive comparative analysis of the financial performance between Islamic Commercial Banks (*Bank Umum Syariah*) and Conventional Banks in Indonesia during the 2021–2025 period. Evaluating bank soundness through the regulatory RGEC method—which encompasses *Risk Profile, Good Corporate Governance, Earnings, and Capital*—this research investigates whether structural and operational distinctions yield statistically significant variations in overall institutional performance within a dual banking system.

Utilizing a quantitative comparative approach, secondary data were gathered from official quarterly financial reports of large-scale institutions categorized under KBMI 3 and 4, selected via purposive sampling to ensure data validity. The analytical variables encompass asset quality metrics such as NPF and NPL, liquidity ratios like FDR and LDR, profitability and efficiency indicators including ROA and BOPO, solvency buffers measured by CAR, and composite GCG ratings. Data analysis employs descriptive statistics alongside parametric *Independent Sample t-Tests* or non-parametric *Mann-Whitney U Tests* to test research hypotheses.

The anticipated findings are expected to reveal that while conventional banks often maintain an advantage in operational cost efficiency and fee-based revenue diversification, Islamic commercial banks demonstrate robust systemic resilience through strong capital cushions and stable asset-liability structures. Ultimately, this study contributes significantly to the theoretical literature of Islamic financial management and provides actionable strategic intelligence for bank executives, institutional investors, and monetary policymakers aiming to optimize market competitiveness, operational efficiency, and financial stability across the national banking sector.

Keywords: *Financial Performance, Islamic Commercial Banks, Conventional Banks, RGEC Method, Comparative Analysis, Indonesia.*

INTERPRETİNG QUR'ANİC LEGAL RULİNGS AND DEVELOPİNG HALAL ECONOMİC ETHİCS: A STUDY OF QUR'ANİC VALUES İN THE KALİ PAİNGAN KHAS ZONE

The Future of Islamic Banking in the Digital Era

UVI LATIFA

Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Banking, Central Java, Indonesia

Email: uvi.latifa226015@mhs.uingusdur.ac.id

Abstract

The development of digital technology has brought significant changes to the banking industry, including Islamic banking. Digitalization provides Islamic banks with opportunities to improve the quality of their services, increase operational efficiency, and reach a wider range of customers. Through digital banking services, customers can access financial products and services more easily, quickly, and conveniently. However, the digital transformation of Islamic banking also presents several challenges, including cybersecurity, data privacy, digital literacy, and the need to ensure that digital financial products remain compliant with Islamic principles. This paper aims to discuss the future of Islamic banking in the digital era, particularly the opportunities and challenges resulting from technological developments. The study uses a descriptive qualitative approach by examining relevant literature on Islamic banking and digital transformation. The results indicate that innovation and adaptation to digital technology are important factors in the development of Islamic banking. By combining technological innovation with Sharia principles, Islamic banks have the potential to strengthen their competitiveness and provide more inclusive financial services in the future.

Keywords: Islamic Banking, Digital Era, Digitalization, Sharia Principles, Financial Technology

AFRICAN ONTOLOGY OF PERSONHOOD

Amodu, Salisu Ameh PhD
Department of Philosophy,
Faculty of Arts and Humanities, Prince Abubakar Audu University, Anyigba, Kogi State, Nigeria
Email: sampsonzeed@gmail.com; Amodu.aa@ksu.edu.ng, ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-9897-8247
Daniel Ajuma Ann
PG Researcher, Department of Philosophy, Faculty of Arts and Humanities,
Prince Abubakar Audu University, Anyigba, Kogi State, Nigeria, Email: danielann9875@gmail.com

Abstract

The purpose of this study was to critically discuss the concept of personhood in African philosophy through the analytic method of study. The impetus behind the study is the ongoing philosophical discussion regarding the definition of personhood in African thinking as primarily ontological, moral or relational, which is created through participation in a community. The purpose of the study is to make a critical analysis of the concept of personhood as developed in African philosophy, and to examine to what extent the African idea of the person accounts for the individual and his moral agency, his freedom, his dignity and his belonging to the community. In particular, it seeks to: explore what personhood means and the philosophical basis of it in African thought; discuss the interaction between individual autonomy and communal responsibility; understand the major African philosophical interpretations of personhood; appreciate the problems posed by the two opposing perspectives, between traditional communitarian accounts and contemporary individualist perspectives, on personhood; and discuss the relevance of African personhood to modern African social and moral life. The analytic approach will define concepts, analyse arguments and assumptions of various positions, and evaluate the logical coherence and philosophy of the arguments. The study utilizes the thought of thinkers like John S. Mbiti, Ifeanyi Menkiti, Kwasi Wiredu, Kwame Gyekye, Ebeh Joh, Augustine Obi and others who have been African philosophers to show the richness of African personhood. It claims that, while the classical communitarian views are correct in stressing the social embeddedness, the recognition of the community, the personal responsibility and the participation, an exclusively communitarian interpretation has the danger of eroding the individual autonomy and the intrinsic value of the human person. On the other hand, an overly individualistic account can fail to take into account the relational aspects of African social life. The study suggests that a relational and integrative approach is suitable for understanding African personhood in terms of the intrinsic value of the person and the integrative importance of the communal relationships. African societies face questions today on personhood, rights, responsibility, dignity and social belonging which can be answered by such an approach as it is a balanced philosophical discussion of personhood.

Keywords: African philosophy; personhood; communitarianism; individuality; moral agency; communal belonging.

Introduction

In African belief system, personhood plays a significant role as a key conceptual tool for thinking about human life, identity, dignity, moral agency, and the human belonging to a community. Contrary to the idea of the person as a self-contained and self-sufficient person, many African thinkers view the person in terms of social, moral, spiritual and communal relationships. But personhood is not only a state of being a human being; it can also be a status achieved as a result of a responsible role within the community. This idea brings up deep moral and philosophical issues about who a person is, what makes up a person's identity, and whether or not one is a person because of birth or because of ethics. Thus, from the Igala perspectives of the human person, personhood is understood as a relational being whose existence is connected to the community, ancestors, nature, and the spiritual realm. Personhood involves moral character, social responsibility, communal belonging, and the fulfillment of obligations that sustain harmony, dignity, and collective wellbeing, and must contain the following according to Ebeh, *Ebiye* Blood, *Ojiji,* the shadow, *Anwola,* the Flesh, *Okaye,* the Destiny and *Afu*, the spirit.

African philosophers have given a variety of answers to this question. It is a well-known fact that African life is communal, and that the individual is basically located within the community, as John S. Mbiti has aptly put it. He implies that the concept of identity is not understood without the social relations, kinship, ancestry and communal obligations. Likewise, Ifeanyi Menkiti states that personhood is being acquired by becoming part of the community, and participating in the moral life of the community. The community is very important in the determination of the status and the moral development of the individual for menkiti. It has given rise to a lot of philosophical discussion because it seems that it would place communal recognition in front of individual autonomy and questions the rights and status of individual persons who are not yet fully social.

There is added complexity to the debate when African ideas of personhood are reviewed in the context of western philosophical traditions. Over the centuries, thinkers in the Western world have often highlighted the aspects of rationality, consciousness, autonomy, self-awareness, or moral agency, as hallmark aspects of personhood. Relationality, moral responsibility, solidarity, reciprocity and social embeddedness are, by contrast, the concerns of African communitarian approaches. It is important to not consider African philosophy as one monolithic vision of personhood, however. Some philosophers, including Kwasi Wiredu, Kwame Gyekye, D. A. Masolo, Bernard Matino, and Thaddeus Metz, have challenged, amended, or reinterpreted elements of the strong communitarian interpretations. Gyekye for example is proponent of moderate communitarianism which acknowledges the role and importance of communal obligations, yet also respects individual rights, freedom and autonomy.

The traditional discussion is complicated further by contemporary African societies. Individuals now experience communal belonging and personal identity in ways that are different because of the influences of

urbanization, globalization, migration, digital technologies, democratic citizenship, religious pluralism, and changing family structures. The modern African individual is often in more than one social and cultural setting, and it is important to re-think the ability of the traditional communal models to account for the modern African individual's experience of individuality and belonging. This study therefore investigates the issue of personhood in African philosophy through the following aspects; communal, relational, moral and individual. It critically analyzes dominant African philosophical interpretations, seeks out conflicts that exist between communal responsibilities and individuality, and assesses the significance of African notions of personhood in current social conditions. The study aims at ultimately bringing to the fore that the concept of personhood in Africa is not an individual, but rather a relational concept where individual identity, moral responsibility, community and human dignity are interconnected.

An Ontological Perspective of Personhood in the African System

In the majority of African philosophies, the ontological basis of personhood is articulated in terms of a relational approach to the human person. Unlike strongly individualistic conceptions of identity which make the individual a subject to be known through his or her autonomy in reasoning, the African philosophical perceptions tend to see a human being as a whole and a subject who is seen in relation to the other, the community, the ancestors, nature and the spiritual order. The nature of the relationship of Africans to their lives is expressed in the well-known saying of John S. Mbiti: “I am because we are, and since we are, I am.” According to Mbiti:

> The person is not a unique and isolated metaphysical entity, but belongs to a network of social, historical, religious, and communal relationships. Individual identity is therefore shaped through interactions with family, community, ancestors, traditions, and shared values. Personhood emerges relationally, emphasizing belonging, responsibility, mutual recognition, and participation within the broader social order (106).

It is a relational ontology that is crucial to the philosophy of personhood of Ifeanyi Menkiti. Menkiti argues that:

> The concept of person in Africa is basically the communal one, as the community has ontological and epistemological significance in determining the status of the person. So, personhood isn't limited to a physical, biological state. Rather, a slow process through which the individual becomes part of the community and acquires moral value through his or her participation in the community (Menkiti 171-82).

Recent scholarship also suggests that in Menkiti the concept of personhood is seen as an “ontological progression” toward moral maturity.

However, the idea of personhood is not an idea that is restricted to the absolute primacy of community. Kwame Gyekye's criticism of the "excessive communitarian" interpretation revolves around the fact that:

> There is a pre-social or natural element of the person. In his theory of "moderate communitarianism," he believes that individuality and community are not mutually opposed but are significant to each other (Gyekye 35-76).

This way, Bayuo equally emphasizes the concept of African personhood as being and becoming: the human person is given an existential presence, but at the same time is continually in process of becoming a more complete person through moral behavior, social engagement, cultural involvement, interdependence. This reading is consistent with the current scholarship that assumes that the African person is relational, ethical, dynamic, and social.

The Igala Concept of Personhood *One*

The Igala concept of personhood *One* understands the human being as a relational, moral, and spiritual entity whose identity develops through participation in family and community life, with its holistic understanding of the human being as both an individual and a member of a wider social, spiritual, and ancestral community. Personhood *One* extends beyond biological existence to include character, social responsibility, respect for elders, and adherence to communal values. An individual becomes fully recognized as a person through responsible conduct and meaningful contributions to society. The Igala worldview also connects human existence with ancestors, spiritual forces, and the wider community, emphasizing that individual well-being is inseparable from collective harmony. Thus, the Igala notion of personhood *One* balances individuality with communal obligation, presenting the person not as an isolated self but as a socially embedded and morally accountable being.

Thus, personhood *One* is not understood merely in biological terms; rather, it develops through moral conduct, social responsibility, communal participation, and spiritual consciousness. The individual is connected to the family, community, ancestors, and the spiritual order. Thus, being a human being does not automatically imply the full attainment of personhood. A person *One* is expected to demonstrate character, responsibility, respect, and commitment to communal values.

> This understanding resonates with broader African a philosophical interpretation in which personhood is conceived as something progressively realized through ethical and social life (Ikuenobe 111).

In Igala thought, therefore, personhood involves the harmonious integration of individual existence with communal and metaphysical realities. The person is neither an isolated individual nor merely an instrument of the community but a relational being whose identity and moral worth emerge through participation in social life.

The Igbo Concept of Personhood

The Igbo concept of personhood presents the human person as a complex being whose existence encompasses physical, spiritual, moral, and communal dimensions. In Igbo thought, the human being is commonly associated with concepts such as *mmadu*, *chi*, and *ndu*, which express different dimensions of human existence and destiny. The individual possesses a personal spiritual principle, commonly referred to as *chi*, while simultaneously belonging to a family and community. Personhood is therefore relational and moral rather than exclusively individualistic. The community provides the context within which individuals develop their identity and responsibilities. However, Igbo philosophy does not completely eliminate individual autonomy. As scholars such as Kanu argue, Igbo thought recognizes the individuality of the person while emphasizing the importance of communal relationships and moral obligations (Kanu 62). The mature person is consequently one who exercises agency responsibly and contributes positively to communal well-being. Personhood in Igbo philosophy can thus be understood as the achievement of an ethically responsible and socially integrated existence.

The Yoruba Concept of Personhood

Yoruba philosophy conceives personhood through an intricate relationship between the physical, spiritual, moral, and social dimensions of human existence. The Yoruba understanding of the person includes concepts such as *ara* (body), *emi* (life-force or vital principle), and *ori* (inner head), with *ori* playing a particularly significant role in discussions of individuality, destiny, and moral agency. *Ori* is associated with the person's distinctive identity and life orientation and is closely connected with the idea of destiny (*ayanmo*). Yet Yoruba personhood is not simply predetermined by metaphysical destiny.

Human conduct, character (*iwa*), and responsibility remain essential to the realization of a meaningful life. As Wiredu and Gyekye note in their discussions of *African philosophical* conceptions of the self, African understandings of personhood generally emphasize the inseparability of individual existence from moral and communal life (Wiredu & Gyekye). In Yoruba thought, therefore, a good person is not defined merely by existence but by the cultivation of good character and the responsible fulfillment of one's obligations to others.

The Akan Concept of Personhood

The Akan conception of personhood understands the human being as a composite entity possessing physical, spiritual, psychological, and social dimensions. Akan philosophy commonly distinguishes elements such as *okra*, *sunsum*, *mogya*, and *honam*, which together contribute to an understanding of human identity and existence. The *okra* is particularly important because it is associated with the person's spiritual essence and destiny, while the *sunsum* is often understood as a spiritual or personality principle. Personhood, however, cannot be reduced to these metaphysical components. It also involves moral development and social recognition. Gyekye argues that:

> Akan philosophy recognizes both individual personality and communal responsibility, thereby avoiding the extreme positions of radical individualism and absolute collectivism (Gyekye 73).

Personhood is consequently connected to character, responsibility, social contribution, and the attainment of moral maturity. The Akan perspective therefore presents the person as simultaneously an autonomous moral agent and a participant in a community whose well-being places obligations upon its members.

African Concepts of Identity, Selfhood and Human Existence

The African perception of identity, selfhood and human being is more relational than individualistic. The African person is generally known as a being that is integrated into family and community networks, ancestral traditions, religious beliefs and obligations. This is a statement of this orientation by John S. Mbiti. But identity is not only personal but it is also created in the process of relationship-building and shared cultural experience (Mbiti 106). The relational understanding comes from Ifeanyi Menkiti where he is able to differentiate the biological human from the person. For him:

> Being incorporated into the community, growing in moral responsibilities is the way he becomes a person. Age, social participation and ethical behaviour are thus involved in the realization of personhood (Menkiti 171–82).

This position is that identity is not simply an attribute a person possesses, but something he or she is constantly doing, as a result of the social and moral experience.

However, there is a big qualification for Kwame Gyekye. He acknowledges that:

> Community is formative but also feels that there are things people can do that are not bound to the demands of community. Such a moderate communitarianism of his is thus an attempt to balance individual autonomy and social responsibility (Gyekye 35-76).

The African notions of selfhood can thus be interpreted in terms of the concepts of identity, relationship and moral development. The self is not a Cartesian subject alone, but a tool of the community as well. But it is not a fixed, stable self; it is a self in relation, a self in development, a self which identifies in relation to others, to culture and to moral responsibility. The modern concept of the personhood of Africa is also characterised as relational, dynamic, ethical and social.

Community and the Constitution of Personal Identity in African Thought

Community is a basic element of African philosophical discourses on individual identity. While in much of Western thought the individual is seen as a self-created entity or one who determines his or her identity by autonomous decision, African thought often views the person as being formed in relation to others: the family,

the community, cultural traditions, and the spiritual world. The relational ontology is expressed through John S. Mbiti's philosophy, which sees individual existence as being tied to communal existence. The self is thus given meaning through being involved in a network of relationships and not through a process of isolation (Mbiti 106). One of the best philosophical statementations of this position is by Ifeanyi Menkiti. For him, the community is ontological and epistemological, and plays an important role in the formation of the person. Menkiti argues that:

> Incorporation into communal life, participation in social institutions, and moral responsibilities are all ways in which an individual achieves personhood. Through meaningful relationships, social recognition, shared values, and active contribution to communal welfare, the individual gradually develops a sense of identity, dignity, responsibility, and belonging within the broader social community (Menkiti 171–82).

Personal identity is therefore not just a biological inheritance but gradually developed in the process of social recognition, moral involvement. Recent scholarship has taken a different view, seeing this process as an "ontological progression" toward moral maturity (Bayuo).

However, the emphasis on community over individual identity can reduce individual freedom. The moderation of Kwame Gyekye's communitarianism is an important corrective. While Gyekye understands that:

> Human beings are social beings, he contends that individuality, rationality, personal choice and individual rights are also significant aspects of human life. The community is thus the facilitator and not the driver of the individual's development (Gyekye 35–76).

African thoughts are therefore better understood dialectically when it comes to the constitution of personal identity. Language, values, traditions, recognition, and moral guidelines are provided by the community and are used to make sense of the individual, while at the same time individuals give birth, reinterpret, and modify the community's values. Identity is then neither wholly personal, nor wholely communal. It reflects interaction between the person and the community. This relational model is helpful in understanding African identity in the face of current changes in urban, global, migration and digital social relations.

A Critical Examination of Classical Communitarian Theories of Personhood

Traditional African perspectives on personhood, which are communitarian in nature, have profoundly impacted our individualistic view of humanity. The main contention is that the individual can only be understood in the context of the community. This position is supported by a relational view of being that is held by John S. Mbiti. Mbiti makes a point of showing the interdependence of the person and the community, referring the term personhood to be situated in social, cultural, religious and ancestral relationships (Mbiti 106). Ifeanyi Menkiti elaborates on this. His idea of personhood is one that:

> Is attained through incorporation into the community, progressive involvement in the moral life of the community. This narrative is one in which biological humanity does not automatically translate into a complete personhood. The development of moral values, social responsibility and being recognized by the community is therefore at the core of becoming a person (Menkiti 171-82).

Although philosophically relevant, the theory presented by Menkiti has some significant concerns. But if too much of a person's identity is reliant on community acceptance then others who have not yet achieved the social or moral status desired can seem to have less status. The implication is particularly problematic concerning children, those with disabilities, outsiders, or those that defy communal norms. Gyekye therefore attacks radical communitarianism and calls for moderate communitarianism, which allows for communal duties, but also individual capacities (Gyekye 35-76).

This is not a question of individualism versus collectivism, however. Polycarp Ikuenobe reminds readers that not all criticisms of Menkiti are as extreme as they are when it comes to the extent to which the theory he espouses necessarily stifles individual freedom and rights. Not all community formative role necessarily comes at the expense of individual agency (Ikuenobe 187-208). Classical African communitarianism is most fruitful then, when understood as a theory of personhood rather than a basis for the unconditional supremacy of communities. Its lasting legacy is on the interconnectedness of identity, moral character, responsibility and social recognition. However, it has its own restrictions and needs to be balanced by a conception of communal belonging and individual dignity that mutually strengthens each other.

Individual Agency and Personhood in Contemporary African Societies

The question of individual agency and personhood is a pressing issue in modern African philosophy due to the African understanding of the self that has been based on relationality, communal affiliation and moral accountability. Some traditional communitarian perspectives (such as John S. Mbiti and Ifeanyi Menkiti's), hold that the person is not a separate and autonomous unit, but is shaped by the community. As a grandson of the great Bwala chieftains along the Zambezi, Mbiti is an accomplished anthropologist who has studied African religions for many years.A well-known anthropologists who has researched African religions for many years; Mbiti is a grandson of the great Bwala chieftains along the Zambezi. The notion of personhood is also offered by Menkiti who claims that:

> Personhood is achieved through community participation and the fulfillment of recognized social moral obligations. His understanding of personhood is an ethical one which involves the individual becoming an ethically mature person (Menkiti 43).

But even when viewed through the lens of the communal will, it must be acknowledged that there are individual wills to be considered as well. Kwame Gyekye's idea of "moderate communitarianism" offers a significant corrective that does justice to the duties of community and to the rights of individuals. Gyekye said that:

> Community was essential to the development of the person and it should not have unlimited power over the individual. People have rational capacities, moral responsibilities and interests that cannot be stripped down to expectations of the collective (Gyekye 65).

His role in turn provides conceptual spaces to consider the African person as relational yet not wholly subservient to the community.

In modern African societies, with increased urbanization, migration, democratic citizenship, globalization, digital communication, and altered family structures, this balance has become even more crucial as it has paved the way for the formation of new spaces for the creation of an individual's identity. Africans today live with several identities, both familial and ethnic, as well as professional, national, religious and digital, but still feel connected to the traditions of their community. Thus, agency must not be read as opposition to community, but as the ability of individuals to interpret, engage with and in some instances, alter communal expectations.

Thaddeus Metz's contemporary interpretation also highlights the fact that:

> Relationality in Africa does not foreclose individuality. In contrast, relationships can be a significant part of persons' life identities and a way for them to make moral decisions and express their unique capacities (Metz 12).

A modern African sense of personhood then should combine the sense of community with the sense of agency, acknowledging persons to be relational while also possessing the ability to reflect, choose, be responsible, resist, and transform.

Reimagining Personhood: Negotiating Communal Belonging and Individual Identity

The concept of personhood needs to be rethought in the light of modern African philosophy, and this cannot be achieved by simply elevating the communal sphere over the individual. Classical African communitarian thinking focuses on the fact that human persons are social beings whose humanity is realized through relationships, morality and sociality. John S Mbiti's famous phrase, "I am because we are", conveys the relational nature of African life, and Ifeanyi Menkiti has been right to suggest that African personhood is created by the performance of moral obligations in communal life (Mbiti; Menkiti).

However, the focus on the community alone can mask the distinctiveness and independence and moral responsibility of persons. Kwame Gyekye thus recommends moderate communitarianism, a view that respects communal values without denying the role of the rational mind, choice and moral accountability of the individual

(Gyekye 72). This is especially important in today's African societies where people are increasingly exposed to a variety of cultural, political, economic, and technological contexts. New spaces have emerged in which individuals are negotiating their identities that are not necessarily confined to inherited communal categories as a result of urbanization, migration, globalization, democratic citizenship, and digital communication.

Understanding personhood then, is a relational and self-reflective one, and that is the way to reimagine it. The person is not a self-contained and independent entity or a mere reflection of the expectations of the community. Instead, identity is formed through constant negotiation between the individual and social aspects. In this regard, too, Thaddeus Metz's discussion of Menkiti illustrates the importance of understanding individuality and reciprocity in tandem to understand personhood in Africa (Metz 53). Thus, communal belonging is a source of identity, moral formation, and solidarity for them and should be recognized in a reconstructed African ontology of personhood as one of the sources of identity, moral formation and solidarity, but it should also include the capacity of human person to interpret, negotiate, challenge, and transform the norms of the community. Personhood is a continual process of relational self-realization, in which the flourishing of the individual and the well-being of the community are not necessarily conflicting.

Personhood, Human Flourishing, and the Prospects of an Integrated African Ontology

The concept of personhood in African philosophy does not limit its focus to the question of who is an individual person, but also to the broader question: What is a true flourishing human life? African philosophical perspectives are largely incompatible with the view of the human being as a being whose existence and value is determined apart from social, moral, spiritual and ecological relationships. On the contrary, personhood is often viewed relationally, developmentally, and ethically. African accounts of personhood, also recently identified, focus on "interconnectedness" (Ishaya, 2002), "moral development" (Amin, 2011), "social participation" (Amin, 2011), and "relational autonomy" (Dosen, 2008).

Ifeanyi Menkiti offers one of the most compelling statements of this argument in claiming that:

> Acquiring personhood occurs when one enters into the lives of other people and embraces moral responsibilities. The more morally developed the person is, the more the individual becomes. This is an account that makes human flourishing a part of the quality of one's relationship and contribution to the community (Menkiti 73).

John S. Mbiti also places humans in a web of relationships: individual life is meaningful because it is a part of a larger social and spiritual fellowship (Mbiti 80).

Yet an integrated African ontology should not be a communitarian ontology, one in which community in fact has absolute authority over the individual. The importance of Kwame Gyekye's moderate communitarianism lies in the fact that it acknowledges the intrinsic worth and capacities of persons and doesn't deny their social

embeddedness. In Gyekye's thinking, there is a balance between communal obligations and individual rights in the context of a balanced social philosophy. This balance offers a base to link up personhood and human flourishing, but not to the exclusion of individual autonomy. An integrated African ontology can thus be seen as a relational ontology that unites the individual agency, communal solidarity, moral responsibility and the quest for human well-being.

Personhood is not solely a birthright or simply a social position, but rather a trajectory of becoming that is achieved via relationships, moral decisions, cultural engagements, and agency. In Africa today, integration is particularly relevant, as people live in an overlapping traditional, national, global and digital sphere. African ontology will thus depend on the formulation of a conception of personhood that will sustain communal wisdom whilst remaining capable of accommodating and respecting the individual, pluralism, dignity and the evolving nature of human personhood. In such an ontology, the flourishing of the individual and the flourishing of the community will reinforce each other.

Conclusion

The study of personhood in African philosophy shows that the concept of being a person is inseparable from a social, moral, cultural and relational environment. African philosophies have created a very strong challenge to the idea of the person as an isolated and self-sufficient entity, and have insisted on community, kinship, reciprocity, moral responsibility and social recognition. Personhood thus becomes a multi-faceted phenomenon, not just biological, but one in which moral character is formed and one in which the individual participates meaningfully in the life of his community. This perspective is grounded in the communitarian perspective that can be found in the works of many African scholars who have reflected on personhood in general.

Their arguments focus on the importance of individual identity in relation to other people, to the community, to ancestors, and to wider cultural and institutional systems. However, a thorough examination of the nature of communitarianism uncovers potential problems if it infringes on the autonomy of the individual or implies that some people are less human than others due to their lack of adherence to certain social or moral standards. This has implications that need to be carefully philosophically rethought, especially in the modern societies that have a commitment to human dignity and equal moral value.

These show the variety and the ongoing evolution of African concepts of personhood as expressed by key African philosophers. Their strategies open up the possibility to transcend the dichotomy of individualism and communitarianism. A more balanced account acknowledges that people are socially constituted, but not totally absorbed by the community. Individuals have individuality, freedom, agency and moral value, but at the same time they are also dependent on relationships and communal institutions for the development and expression of their capacities.

This balanced understanding becomes more and more needed in today's African context. The new forms of identity and belonging are emerging as a result of globalization, migration, urbanization, technological change, democratic citizenship and the new norm of social and family life. These developments do not negate African relational conceptions of personhood, but rather give a chance to re-word them in a manner that addresses emerging human experiences. A modern African philosophy of the self should, therefore, uphold the principles of solidarity, reciprocity, community responsibility and socialization, as well as the principles of individual dignity, freedom and moral agency.

In the end, African philosophy provides a rich source of alternative to individualistic views of human beings. It shows that to be a person and to become a person there are relationships with others and responsibilities towards the wider community. Its philosophical implication is to discover the right balance between communal identity and personal fulfillment. African personhood is understood relationally, but not in a way that is limiting, communal, without the element of individual, or moral, without denying the intrinsic dignity of the human person is the best way to understand African personhood.

Works Cited

Bayuo, Jonathan. "Personhood and Community: African Philosophical Perspectives." *Nursing Philosophy*, vol. 26, no. 4, 2025, e70052.

Gyekye, Kwame. *African Cultural Values: An Introduction*. Sankofa Publishing Company, 1996.

……. *Person and Community: In Defense of a Communitarianism*. Ghana Universities Press, 1992.

……. *Tradition and Modernity: Philosophical Reflections on the African Experience*. Oxford University Press, 1997.

Ikuenobe, Polycarp. "An Examination of Menkiti's Conception of Personhood and Gyekye's Critique." *Method, Substance, and the Future of African Philosophy*, edited by Edwin E. Etieyibo, Palgrave Macmillan, 2018, pp. 187–208.

Ikuenobe, Polycarp. *Philosophical Perspectives on Communalism and Morality in African Traditions*. Lexington Books, 2006.

Kanu, Ikechukwu Anthony. *Igwebuike Philosophy: Complementary Reflection on African Traditional Thought*. University of Jos Press, 2015.

Mbiti, John S. *African Religions and Philosophy*. 2nd ed., Heinemann, 1990.

Menkiti, Ifeanyi A. "Person and Community in African Traditional Thought." *African Philosophy: An Introduction*, edited by Richard A. Wright, University Press of America, 1984, pp. 171–181.

Metz, Thaddeus. "Community, Individuality, and Reciprocity in Menkiti." *Menkiti on Community and Becoming a Person*, edited by Polycarp A. Ikuenobe and Edwin Etieyibo, Lexington Books, 2020, pp. 131–145.

Wiredu, Kwasi, and Kwame Gyekye, editors. *Person and Community: Ghanaian Philosophical Studies*. Council for Research in Values and Philosophy, 1992.