



# **III. Uluslararası Kıbrıs Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi KONGRE KİTABI**

**11-12 NİSAN 2026**

**KKTC**



<https://www.wosconkongreleri.com>

**3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC  
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS BOOK  
11-12 APRIL 2026, KKTC**

**EDITOR  
Assoc. Prof. Dr. Canan DEMİR**

**22.04.2026  
by BILSEL PUBLISHING**

**ISBN: 978-625-8531-33-6**

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

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

**<https://www.wosconkongreleri.com/>**

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

**CONGRESS ID**

**CONGRESS TITLE**

**3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC  
RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS**

**DATE and PLACE**

**11-12 APRIL 2026, KKTC**

**ORGANIZATION**

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

**ORGANIZING COMMITTEE**

**Chairman of the Organizing Committee**

**Assoc. Prof. Dr. Canan DEMİR**

**University Academician Representative**

**Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ**

**Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi**

**PARTICIPANTS COUNTRY**

**Türkiye/ Azerbiajan/Romania/Morocco/Albania/Nigeria/India  
N. Macedonia/Pakistan/Jordan/Uzbekistan/Ukraine**

## CONGRESS ORGANIZING COMMITTEE MEMBERS

Prof. Dr. Mamoonah Mushtaq/Shahid

Prof. Dr Kiril Postolov

Prof. Dr. Hendri Hermawan-ADINUGRAHA

Prof. Dr. Chaya Bagrecha

Prof. Dr. MEZIANI Ibrahim

Prof. Dr. Nana Jincharadze

Prof. Dr. Gürcan YILDIRIM

Prof. Dr. Asaf Tolga ÜLGEN

Prof. Dr. Vatan KAVAK

Prof. Dr. Hikmet Yeter ÇOĞUN

Prof. Dr. Özgür ALPARSLAN

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ

Prof. Dr. Mehmet ILKIM

Doc. Dr. Sci. Džana Rahimić Ramić,

Assoc. Prof. PhD. Irina Teodora MANOLESCU

Assoc. Prof. Dr. Naseem Akhter,

Assoc. Prof. Dr. Henry Akpojubaro Efegbere

Assoc. Prof. Dr. Girija Shankar Panigrahi

Assoc. Prof. Dr. Seyed Mehdi Talebi

Assoc. Prof. Dr. Rozina Khattak

Doç. Dr. Hakan Tahiri MUTLU

Doç. Dr. Adem Yolcu

Doç. Dr. Adile TÜMER

Doç. Dr. Aysun ekinci

Doç.Dr. Ebülfez EZİMLİ

Doç. Dr. Zila Özlem KIRBAŞ

Doç. Dr. Canan Demir

Doç. Dr. Bahar ÇİFTÇİ

Dr. Solomon Uchechukwu Eze

Dr. Anitha Rajasekaran

Ph.D Devi Raman

Lec. Diaconu Luminitsa,

Lec. Ezekiel Pius NYATIRIMOH

Dr. Ananda Majumdar

Dr. Beloufa NABIL

Dr. Mahmut ÇAMLICA

Dr. Özgür ERDAĞ

Dr. Doruk AYBERKİN



## **SCIENTIFIC COMMITTEE**

Prof. Dr. Mamoon Mushtaq/Shahid

Govt. Graduate College Township, Pakistan

Prof. Dr Kiril Postolov

University Ss. Kiril and Metodij, North Macedonia

Prof. Dr. Hendri Hermawan-ADINUGRAHA

UIN K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Indonesia

Prof. Dr. Chaya Bagrecha

Jain Deemed to be University, India

Prof. Dr. MEZIANI Brahim

Djilali Bounaama University of Khemis Miliana, Algeria

Prof. Dr. Nana Jincharadze

European University, Georgia

Prof. Dr. Marinescu Valentina

University of Bucharest, Romania

Prof. Dr. Khiari Reguia,

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

BERNAOUI, Algeria

Prof. Assoc. Dr. Valbona Habili Sauku

Tirana University, Albania

Prof. Dr. Abdelkarim BOUA

Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Prof. Habil. Dr. Laura Diaconu Maxim,

Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania

Prof. Dr. Froilan D. Mobo

Philippine Merchant Marine Academy

Prof. Dr. Gürçan YILDIRIM

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof. Dr. Özgür ALPARSLAN

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet ILKIM

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Perihan ÜNÜVAR

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Doc. Dr. Sci. Džana Rahimić Ramić,

University of Sarajevo, Bosnia-Herzegovina

Associate professor, PhD. Irina Teodora MANOLESCU,

Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania

Associate professor, Dr. Naseem Akhter,

Shaheed Benazir Bhutto Women University, Pakistan

Assoc. Prof. Dr. Henry Akpojubar Efebere

Edo State University Uzairue, Nigeria

Assoc. Prof. Dr. Girija Shankar Panigrahi,

KIIT Deemed to be University, India

Assoc. Prof. Dr. Seyed Mehdi Talebi

Arak university, Iran

Assoc. Prof. Dr. Rozina Khattak

Shaheed Benazir Bhutto Women University, Pakistan

Assoc. Prof. Dr. Mohammad Jafar Chamankar,

Urmia University/Iran

Assoc. Prof. Dr. Vakeel Ahmad Khan,

Aligarh Muslim University, India

Assoc. Prof. Dr. Aliaksandr Susha,

Belarusian State University, Belarus

Assoc. Prof. Dr. Nesrine El Houari,

University of Tlemce Algeria

Doç. Dr. Aysun EKİNCİ  
Dicle Üniversitesi  
Doç. Dr. Adem Yolcu  
Kafkas Üniversitesi  
Doç. Dr. Adile TÜMER  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi  
Doç. Dr. Ebülfez EZİMLİ  
Naxçıvan Dövlət Univesiteti  
Doç. Dr. Kadir GÖKOĞLAN  
Dicle Üniversitesi  
Doç. Dr. Canan Demir  
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Doç. Dr. Bahar ÇİFTÇİ  
Atatürk Üniversitesi  
Dr. Solomon Uchechukwu Eze,  
Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria  
Dr. Anitha Rajasekaran,  
Botany, Bharathi Womens College, India  
Ph.D Devi Raman,  
Annamalai University, India  
Dr. Ananda Majumdar,  
Brander Garden After School Parents  
Association, Canada  
Dr. Beloufa NABIL,  
Hydrometeorological Institute for Training  
and Research IHFR Oran Algeria  
Dr. Mansoor Ahmed,  
Government College University, Pakistan  
Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI,  
Univesity of Tizi Ouzou – Algeria

Dr. Drita AVDYLLI,  
Chairwoman of National Chamber of  
Mediation Albania  
Dr. Ramona Marinache,  
University of Bucharest, Romania  
Dr. Iosefina Blazsani-Batto  
Teacher's Training Center Sibiu under  
Romanian Ministry of Education Romania  
Dr. Mohammed BENTAHAR  
Tahar Moulay University, Algeria  
Dr. Mirjeta Cenaj,  
Sports University of Tirana, Albania  
Dr. Silva Ibrahimi  
University of Tirana, Boston USA  
Dr. Mahmut ÇAMLICA  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi  
Dr. Özgür ERDAĞ  
Kafkas Üniversitesi  
Dr. Doruk AYBERKİN  
Bayburt Üniversitesi  
Dr. Barış ERGÜL  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

# **3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCHES AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC**

## **CONGRESS PROGRAM**

**Join Zoom Meeting ID: 881 9310 3989**

**Passcode: 637035**

**Join Zoom Meeting**

<https://us06web.zoom.us/j/88193103989?pwd=sbuWF1uV5FjwvYzllUj1BquLNO4kDK.1>

### **PARTICIPATING COUNTRIES**

Azerbaijan/Romania/Morocco/Albania/Nigeria/India  
N. Macedonia/Pakistan/Jordan/Uzbekistan/Ukraine



### **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 kullanılabilir.
- ◆ Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir.

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



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**  
**TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00**

**HEAD OF SESSION: Doç. Dr., Meryem EROL**

**SESSION-1 HALL-1**

| AUTHORS                                                                                                  | AFFILIATION                                   | TOPIC TITLE                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yüksek Lisans Öğrencisi, Nursel DEMİROĞLU<br>Prof. Dr., Cem VURAL<br>Doç. Dr., Handan ŞAPCI<br>SELAMOĞLU | Erciyes Üniversitesi,<br>Kayseri Üniversitesi | CYPERUS LONGUS EKSTRAKTININ<br>SENESENT MEZENKİMAL KÖK<br>HÜCRELERE ETKİSİ VE ANTIENZİM<br>AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ                                                         |
| Yüksek Lisans Öğrencisi, Murat ÇOKKEÇECİ<br>Dr. Mustafa Burak ACAR<br>Prof. Dr. Servet ÖZCAN             | Erciyes Üniversitesi                          | SENESENS İLE İLİŞKİLİ SALGI<br>FENOTİPİNDEKİ PROTEİNLERİN İLAÇLAR<br>İLE İNHİBİSYONU VE SENOTERAPÖTİK<br>ETKİLERİNİN İNCELENMESİ                                                |
| Adem Ataberk BİÇER<br>Doç. Dr. Tülay AŞKIN ÇELİK                                                         | Aydın Adnan Menderes Üniversitesi             | ENDEMİK ALLIUM PROPONTICUM STEARN<br>& N. ÖZHATAY SUBSP. PROPONTICUM<br>ÇİÇEK METANOL: SU EKSTRESİNİN<br>FİTOKİMYASAL İÇERİĞİNİN VE<br>SİTOTOKSİK AKTİVİTESİNİN<br>BELİRLENMESİ |
| Eczacı, Şeyda Nur KOÇAK<br>Doç. Dr., Meryem EROL                                                         | Erciyes Üniversitesi                          | BAZI YENİ BENZOKSAZOL TÜREVİ<br>BİLEŞİKLERİN SENTEZİ VE YAPI<br>KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI                                                                                     |
| İrem KESTEK<br>Prof. Dr. Ayşen ALAMAN AĞAR                                                               | Ondokuz Mayıs Üniversitesi,                   | FLUFENAMİK ASİTİN PH 6,8 FOSFAT<br>TAMPON ÇÖZELTİDEKİ SALIM KİNETİĞİ                                                                                                            |
| Hatice ÖZTÜRKEL KABAKAŞ<br>Merve SEZER KÜRKÇÜ<br>Kadriye Aslıhan ONAT<br>TAŞDELEN<br>Bekir ÇÖL           | Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi               | Escherichia coli'DE galE GENİNİN BENZOİK<br>ASİTE KARŞI İNTİRİNSİK DİRENÇ İLE<br>İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ                                                                        |



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

11.04.2026

TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00

HEAD OF SESSION: Doç. Dr. Canan DEMİR

**SESSION-1 HALL-2**

| AUTHORS                                                                                  | AFFILIATION                                                                                             | TOPIC TITLE                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dr. Öğr. Üyesi, Mehtap GENÇ<br>Hemşire, Serap BOZBUĞA<br>Doç. Dr., Emre ÇİYDEM           | Karamanoğlu Mehmetbey<br>Üniversitesi,<br>Bandırma Onyedİ Eylöl<br>Üniversitesi                         | ULUSAL VE ULUSLARARASI DÜZEYDE MADDE<br>BAĞIMLILIĞININ ÖNLENMESİNDE PSİKİYATRİ<br>HEMŞİRESİNİN ROLÜ                                                               |
| Ferhat SUNGUR<br>Erinç Başar CANBAZ<br>Ayşenur EREN<br>Beste KUNT                        | Eskisehir Borsa Istanbul<br>Science High School,<br>Türkiye,<br>Eskisehir Fatih Science<br>High School, | THE ROLE OF GLASS FIBER REINFORCEMENT<br>ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF<br>WASTE GLASS AND TILE POWDER BASED<br>GEOPOLYMERS                                     |
| Ferhat SUNGUR<br>Erinç Başar CANBAZ<br>Beste KUNT<br>Ayşenur EREN                        | Eskisehir Borsa Istanbul<br>Science High School,<br>Türkiye,<br>Eskisehir Fatih Science<br>High School, | DESIGN AND PROTOTYPE PRODUCTION OF<br>MORTARLESS INTERLOCKING GEOPOLYMER<br>BRICKS FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION                                                   |
| Öğr. Gör. Sabriye ÇEÇEN SULAR<br>Doç. Dr. Canan DEMİR                                    | Van YYÜ Sağlık Hizmetleri<br>Meslek Yüksekokulu                                                         | DÜNYADA LYME HASTALIĞI VE BÖLGELER<br>ARASI KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARININ<br>RETROSPEKTİF DEĞERLENDİRİLMESİ                                                          |
| Öğr. Gör. Sabriye ÇEÇEN SULAR<br>Doç. Dr. Canan DEMİR                                    | Van YYÜ Sağlık Hizmetleri<br>Meslek Yüksekokulu                                                         | SARKOPTİK UYUZUN İNSAN VE HAYVAN<br>SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ                                                                                                   |
| Dr. Öğr. Üyesi, Özge ÖZKUTLU<br>Araş. Gör., Buse BİRBİR<br>Prof. Dr. Necmiye ÜN YILDIRIM | Sağlık Bilimleri Üniversitesi                                                                           | FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON BÖLÜMÜ<br>ÖĞRENCİLERİNİN ELEŞTİREL DÜŞÜNME<br>EĞİLİMLERİ VE KLİNİK UYGULAMA SINAV<br>BAŞARILARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN<br>İNCELENMESİ |
| Öğr. Gör. Serkan BENTLİ<br>Öğrenci, Tuba BAĞIRCI                                         | Malatya Turgut Özal<br>Üniversitesi                                                                     | EPİLEPSİ HASTALARINDA UYGULANAN<br>KETOJENİK DİYETİN ETKİLERİ                                                                                                     |





3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**

**TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00**

**HEAD OF SESSION: Dr., Özlem KARAPINAR GÖK**

**SESSION-1 HALL-3**

| AUTHORS                                                                 | AFFILIATION                                               | TOPIC TITLE                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dr., Özlem KARAPINAR GÖK<br>Öğr. Gör. Dr. Mustafa GÜLSÜN                | Türkiye Cumhuriyeti Tarihi,<br>Muş Alparslan Üniversitesi | OKULÖNCESİ DÖNEMDE YAPAY ZEKÂ<br>DESTEKLİ TARİH EĞİTİMİ: ÇOCUK GELİŞİMİ<br>BAĞLAMINDA KURAMSAL VE UYGULAMALI BİR<br>İNCELEME                            |
| Dr., Özlem KARAPINAR GÖK<br>Dr. Öğr. Üye. Semih UÇAR                    | Türkiye Cumhuriyeti Tarihi,<br>Muş Alparslan Üniversitesi | TÜRK EĞİTİM SİSTEMİNDE ÖZEL<br>GEREKSİNİMLİ ÇOCUKLARIN YERİ: ÖZEL<br>EĞİTİM POLİTİKALARININ TARİHSEL SÜREÇ<br>İÇİNDEKİ YASALLAŞMA EVRELERİ              |
| Dr. Öğr. Üyesi Hülya ÇAĞIRAN<br>KENDİRLİ                                | Hitit Üniversitesi,                                       | GEÇ DÖNEM Z KUŞAĞININ DİJİTAL HAZIRLIK<br>DÜZEYİNİN SATIN ALMA DAVRANIŞLARINA<br>ETKİSİ VE HİTİT ÜNİVERSİTESİ İİBF<br>ÖĞRENCİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA |
| Öğrenci, Nazrin MALİKOVA                                                | Selçuk Üniversitesi,                                      | POPÜLER KÜLTÜRÜN GÖLGESİNDE<br>TELEVİZYON HABERCİLİĞİ: MAGAZİNLEŞME<br>VE ETİK İHLALLER                                                                 |
| Abdurrahman APAYDIN<br>Doç. Dr. Aydan ERMİŞ<br>Prof. Dr. Osman İMAMOĞLU | Ondokuz Mayıs Üniversitesi                                | SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ SPORCU<br>ÖĞRENCİLERİNDE RAKİBİ AFFETME<br>DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI                                                          |
| Abdurrahman APAYDIN<br>Doç. Dr. Aydan ERMİŞ<br>Prof. Dr. Osman İMAMOĞLU | Ondokuz Mayıs Üniversitesi                                | SPOR EĞİTİMİNİN ÖĞRENCİLERİN SAĞLIKLI<br>YAŞAM DAVRANIŞLARINA ETKİSİ                                                                                    |
| Dr. Öğrt. Üyesi, Ali Rıza ERDEM                                         | Eskişehir Osmangazi<br>Üniversitesi                       | FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ KİMYA<br>LABORATUVARINDA DENEY TASARLAMA<br>BECERİLERİNİN İNCELENMESİ: TEPKİME HIZI<br>KONUSU ÖRNEĞİ                   |



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**  
**TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00**

**HEAD OF SESSION: Dr. Öğr. Üyesi, Şenol AVCI**

**SESSION-1 HALL-4**

| AUTHORS                                                                                                           | AFFILIATION                                                                                | TOPIC TITLE                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dr. Öğr. Üyesi, Şenol AVCI<br>Doç. Dr. Burak ÖZTÜRK                                                               | Bilecik Şeyh Edebali<br>Üniversitesi                                                       | FEM VERİLERİNE DAYALI PARAMETRİK<br>PROTEZ TASARIMININ MAKİNE ÖĞRENİMİ<br>DESTEKLİ OPTİMİZASYONU                                                   |
| Dr. Öğr. Üyesi, Şenol AVCI<br>Yakup ÇELİK<br>Doç. Dr. Burak ÖZTÜRK                                                | Bilecik Şeyh Edebali<br>Üniversitesi                                                       | AKIM TABANLI GÖSTERGELER KULLANARAK<br>İŞLEME ENERJİ DAVRANIŞININ DENEYSEL<br>İNCELENMESİ: BİR DOE-RSM YAKLAŞIMI                                   |
| Öğr. Gör. Dr. Nuri Alper METİN<br>Prof. Dr. Asaf Tolga ÜLGEN<br>Doç. Dr. Ümit ERDEM<br>Prof. Dr. Gürcan YILDIRIM  | Kırıkkale Üniversitesi,<br>Şırnak Üniversitesi,<br>Bolu Abant İzzet Baysal<br>Üniversitesi | P-NİTROFENETİL BROMÜRÜN MOLEKÜLER<br>YAPISI, UV-VIS SPEKTRUMU, TERMOKİMYASAL<br>ÖZELLİKLERİ VE REAKTİVİTE<br>TANIMLAYICILARININ TEORİK İNCELENMESİ |
| Öğr. Gör. Dr. Nuri Alper METİN<br>Prof. Dr., Asaf Tolga ÜLGEN<br>Doç. Dr. Ümit ERDEM<br>Prof. Dr. Gürcan YILDIRIM | Kırıkkale Üniversitesi,<br>Şırnak Üniversitesi,<br>Bolu Abant İzzet Baysal<br>Üniversitesi | P-NİTROFENETİL BROMÜRÜN YAPISAL,<br>TİTREŞİMSSEL, NMR VE YÜK DAĞILIMI<br>ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI HF VE<br>DFT ANALİZİ                       |
| Öğr. Gör. Muhammed Emin ARI<br>Dr. Öğr. Üyesi Cahit BİLGİ<br>Prof. Dr. Bilge DEMİR                                | Karabük Üniversitesi,<br>İstanbul Üniversitesi-<br>Cerrahpaşa                              | RAYLI SİSTEM ARAÇ BOJİLERİNDE<br>HAFİFLETME YAKLAŞIMLARI: METALDEN<br>KOMPOZİTE GEÇİŞ                                                              |
| Öğr. Gör. Muhammed Emin ARI                                                                                       | Karabük Üniversitesi,                                                                      | UZUN MESAFE GECE TRENLERİNDE YOLCU<br>UYKU KALİTESİNİ ETKİLEYEN ÇEVRESEL<br>FAKTÖRLER                                                              |



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**  
**TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00**

**HEAD OF SESSION Doç. Dr. Mehmet MUTLU**

**SESSION-1 HALL-5**

| AUTHORS                                                                                                                                  | AFFILIATION                                                                                                 | TOPIC TITLE                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dr. Öğretim Üyesi, Fatma Merve NACAĞCI<br>Prof. Dr., Süleyman GÜLCÜ                                                                      | Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,                                                                   | GÖLLER YÖRESİ SARIÇAM ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) ORJİN DENEMESİNİN YAPRAK VE PİGMENT ÖZELLİKLERİ |
| MSc. Zija SAIDOV<br>MSc. Biljana BOGDANOVA POPOV<br>Prof. Dr. Vesna KARAPETKOVSKA – HRISTOVA<br>Academician of IRASA, Dr. Vladica RISTIC | University “St. Kliment Ohridski” - Bitola, Republic of N. Macedonia,<br>-Bitola, Republic of N. Macedonia; | BIOINDICATORS OF ECOLOGICAL HAZARDS IN AGROECOSYSTEMS FOR SUSTAINABILITY                            |
| Khalilov Azer Agazade oglu<br>Aliyeva Tarana Sair qizi<br>Huseynova Nurida Hatam qizi                                                    | Azerbaijan State Agrarian University, Ganja city                                                            | THE IMPORTANCE OF AGRO-PRODUCTIVE GROUPING OF REGIONAL LANDS                                        |
| Arş. Gör. Nazlı ÖĞÜT<br>Prof. Dr. Kürşad ÖZKAN                                                                                           | Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi                                                                    | CAPPARIS SPINOSA L. TÜRÜNÜN POTANSİYEL DAĞILIMININ MODELLENMESİ VE HARİTALANDIRILMASI               |
| Doç. Dr. Mehmet MUTLU                                                                                                                    | Karabük Üniversitesi                                                                                        | SAFRANBOLU’NUN ZAMAN DURAKLARI: SAAT KULESİ, MUVAKKİTHANE VE GÜNEŞ SAATİ ÜZERİNE BİR İNCELEME       |
| Doç. Dr. Mehmet MUTLU<br>Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Esat GÜNEŞ                                                                               | Karabük Üniversitesi                                                                                        | AHLAT VE YAZIKÖY TAŞLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ              |



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**  
**TÜRKİYE Local Time: 10:00-12:00**

**HEAD OF SESSION: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Mert TÜRK**

**SESSION-1 HALL-6**

| AUTHORS                                                         | AFFILIATION                       | TOPIC TITLE                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Öğr. Gör. Dr., Erhan BARAN                                      | Gazi Üniversitesi                 | AKILLI ŞEBEKEYE ENTEGRE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE EŞLER ARASI ENERJİ TİCARETİ İÇİN BLOK ZİNCİRİ TABANLI KAYIP DUYARLI OPTİMİZASYON |
| İrem Nur SARIKAYA Prof.Dr.Melik ÇETİN Prof.Dr.Hayrettin AHLATÇI | Karabük Üniversitesi              | 2714 SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN BORLAMA İŞLEMİ İLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ                                             |
| İrem Nur SARIKAYA Prof.Dr.Melik ÇETİN Prof.Dr.Hayrettin AHLATÇI | Karabük Üniversitesi              | ER8 DEMİRYOLU ÇELİĞİNİN YÜZEY PERFORMANSINI İYİLEŞTİRMEK İÇİN BORLAMA YAKLAŞIMI                                                  |
| Rabia BAŞ<br>Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ                              | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi | ANFIS PARAMETRE OPTİMİZASYONU İÇİN MGO, PSO VE GA ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ                                       |
| Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Mert TÜRK                                 | Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi  | DİJİTALLEŞME VE İSTİHDAMIN GELECEĞİ: TEORİK PERSPEKTİFLER VE GÖREV TEMELLİ BİR ANALİZ                                            |
| Dr. Sacit SARIMURAT                                             | ASELSAN                           | NUMERICAL ASSESSMENT OF SOIL–FOUNDATION INTERACTION UNDER CYCLIC LOADING CONDITIONS                                              |



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**

**TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00**

**HEAD OF SESSION: Mohammed Waheeb**

**SESSION-2 HALL-7**

| <b>AUTHORS</b>                             | <b>AFFILIATION</b>                                                                         | <b>TOPIC TITLE</b>                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Professor Dr. Laura Diaconu (Maxim)</i> | <i>“Alexandru Ioan Cuza”<br/>University of Iasi, Romania</i>                               | <i>THE NEXUS BETWEEN FDI AND GREEN<br/>GROWTH: EVIDENCE FROM CHINA</i>                                                                              |
| <i>PhD Petronela Daniela FERARU</i>        | <i>National College Iași &amp; “Ion<br/>Neculce” High School<br/>Târgu Frumos, Romania</i> | <i>ALGORITHMIC CITIZENSHIP AND<br/>EDUCATIONAL STRATIFICATION IN AI-<br/>MEDIATED LEARNING ENVIRONMENTS</i>                                         |
| <i>PhD Petronela Daniela FERARU</i>        | <i>National College Iași &amp; “Ion<br/>Neculce” High School<br/>Târgu Frumos, Romania</i> | <i>RELIGION AND YOUTH IN CONTEMPORARY<br/>SOCIETY: SOCIOLOGICAL PERSPECTIVES ON<br/>BELIEF, IDENTITY, AND VALUE CHANGE IN<br/>EUROPE AND BEYOND</i> |
| <i>Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT</i>      | <i>Technical University of Civil<br/>Engineering Bucharest</i>                             | <i>THE SHORT STORY HANGZHOU STREET NO. 10<br/>BY YU DEBEI: AN ANALYSIS</i>                                                                          |
| <i>Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT</i>      | <i>Technical University of Civil<br/>Engineering Bucharest</i>                             | <i>THE SHORT STORY THE HAYSTACKS BY LU<br/>FUHONG: AN ANALYSIS</i>                                                                                  |
| <i>Lecturer, PhD Irina-Ana DROBOT</i>      | <i>Technical University of Civil<br/>Engineering Bucharest</i>                             | <i>THE SHORT STORY THE RETURN OF THE<br/>DOCTOR WHO PERFORMS MIRACLES BY XU<br/>QUANPING: AN ANALYSIS</i>                                           |
| <i>Ananda Majumdar</i>                     | <i>Harvard University</i>                                                                  | <i>THE MULTIFACETED ROLE OF MAGIC IN<br/>MEDIEVAL SOCIETY: UNRAVELLING MYTHS<br/>AND MISCONCEPTIONS</i>                                             |
| <i>Mohammed Waheeb</i>                     | <i>Heritage, and Tourism<br/>(QRFTH), The Hashemite<br/>University, Jordan</i>             | <i>MODERN TECHNOLOGY AND QURANIC<br/>ARCHAEOLOGY: A STUDY TOWARD FIELD<br/>APPLICATION</i>                                                          |



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**

**TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00**

**HEAD OF SESSION: Könül Məmmədova**

**SESSION-2 HALL-8**

| AUTHORS                 | AFFILIATION                                                  | TOPIC TITLE                                                                                               |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aynur Bədəlova          | Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universite,Azerbiajan             | ARİSTOTELİN "POETİKA" ƏSƏRİ VƏ KLASSİK POETİKA NƏZƏRİYYƏSİNİN FORMALAŞMASI                                |
| Könül Məmmədova         | Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti                      | İBTİDAİ SİNİF ŞAGİRDlərİNİN NİTQ BACARIQLARININ İNKİŞAFINDA FOLKLOR NÜMUNƏLƏRİNDƏN İSTİFADƏNİN ƏHƏMİYYƏTİ |
| Gunel Shefiyeva Elkhan  | English language teacher of Foreign Languages Center of ASPU | SYMBOLIC INTERACTIONISM                                                                                   |
| Natevan Paşayeva        | Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti                      | GAYRİRESMİ EĞİTİM ORTAMI OLARAK AİLE PROJELERİNİN GİRİŞİMCİLİK ZİHNİYETİNE ETKİSİ                         |
| ARZU KƏRİMOVA           | Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universite                        | MÜASİR MƏRHƏLƏDƏ AZƏRBAYCAN DİLİNİN NİTQ MƏDƏNİYYƏTİ NORMALARI TƏDRİSİNİN BAŞLICA PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA |
| Prof. Dr. Elman Guliyev | Azerbaycan Dövlət Pedaqoji Üniversitesi                      | NİZAMİ GƏNCƏVİNİN SƏNƏT DÜNYASI                                                                           |





3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**

**TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00**

**HEAD OF SESSION: MUHAMMAD FAISAL**

**SESSION-2 HALL-9**

| <b>AUTHORS</b>                                     | <b>AFFILIATION</b>                                    | <b>TOPIC TITLE</b>                                                                                |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>PhD. Lorena SALIAJ</i>                          | <i>Mediterranean University of Albania,</i>           | <i>AI-DRIVEN PREDICTIVE MODELING FOR SECURE AND RESILIENT IOT SYSTEMS</i>                         |
| <i>Chaimae El Mourabit<br/>Nadia Idrissi Fatmi</i> | <i>Sultan Moulay Slimane University, Morocco</i>      | <i>ON THE STABILITY OF HEPATITIS C INFECTION DYNAMICS UNDER ANTIVIRAL THERAPY</i>                 |
| <i>MUHAMMAD FAISAL</i>                             | <i>Allama Iqbal Open University, Pakistan</i>         | <i>FACE RECOGNITION ATTENDANCE SYSTEM USING AI AND MERN STACK</i>                                 |
| <i>MUHAMMAD FAISAL</i>                             | <i>Allama Iqbal Open University, Pakistan</i>         | <i>AGENTIC AI-BASED AUTONOMOUS INVENTORY SYSTEM</i>                                               |
| <i>Abdelkarim BOUA</i>                             | <i>Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco</i> | <i>IDENTITIES IN PRIME IDEALS INVOLVING A PAIR OF GENERALIZED <math>(A, A)</math>-DERIVATIONS</i> |
| <i>MUHAMMAD FAISAL</i>                             | <i>Allama Iqbal Open University, Pakistan</i>         | <i>CROSS-MODAL RETRIEVAL USING VISION-LANGUAGE MODELS AND VECTOR DATABASES</i>                    |





3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**

**TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00**

**HEAD OF SESSION: Dr. Syed Shahid Raza**

**SESSION-2 HALL-10**

| <b>AUTHORS</b>                                                                                   | <b>AFFILIATION</b>                                                                                      | <b>TOPIC TITLE</b>                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Moses Adeolu AGOI<br>Success Eniola OGBOYE<br>Oluwanifemi Opeyemi AGOI<br>Samuel Olayiwola AJAGA | Lagos State University of<br>Education, Lagos Nigeria,<br>Obafemi Awolowo<br>University, Osun Nigeria.. | LOW-COST COMPUTER VISION SYSTEMS FOR<br>PERFORMANCE ANALYSIS IN RESOURCE-<br>CONSTRAINED ENVIRONMENTS                                                                               |
| Ganta Chandra Sekhar<br>Dr. Syed Shahid Raza                                                     | JAIN (Deemed-to-be<br>University), Bengaluru                                                            | AI-DRIVEN PORTFOLIO DESIGN USING MACRO-<br>ECONOMIC INDICATORS FOR LOW- RISK STOCK<br>SELECTION                                                                                     |
| Eapen Jinix Tharakan Perekatt<br>Dr. Syed Shahid Raza                                            | JAIN (Deemed-to-be<br>University), Bengaluru                                                            | AN EMPIRICAL STUDY ON THE INFLUENCE OF<br>CUSTOMER DEMOGRAPHICS AND<br>ENVIRONMENTAL AWARENESS ON ELECTRIC<br>VEHICLE ADOPTION                                                      |
| Alice C Pauline<br>Dr. Syed Shahid Raza                                                          | JAIN (Deemed-to-be<br>University), Bengaluru                                                            | IMPACT OF HYGIENE PRACTICES<br>INFLUENCING OBESITY PREVALENCE AMONG<br>GENERATION Z: A QUANTITATIVE CROSS-<br>SECTIONAL STUDY                                                       |
| Gowda Manisha Tejkumar<br>Dr. Syed Shahid Raza                                                   | JAIN (Deemed-to-be<br>University), Bengaluru                                                            | IMPACT OF CONSUMER INTERACTION<br>METRICS ON ONLINE MARKETING<br>EFFECTIVENESS: A DATA ANALYTICS<br>APPROACH                                                                        |
| Favour C. Uroko (Ph.D)                                                                           | University of Nigeria,<br>Nsukka                                                                        | "I WILL DELIVER LIKE THE HEBREW WOMEN":<br>UNDERSTANDING DEISM AND PIETISM IN<br>EXODUS 1:11- 21 WITHIN THE LENS OF<br>EXPECTANT CHRISTIAN WOMEN IN A<br>DEVELOPING COUNTRY SETTING |



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**

**TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00**

**HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Yurii L. Kulbachko**

**SESSION-2 HALL-11**

| <b>AUTHORS</b>                                                                                                                                                                          | <b>AFFILIATION</b>                                                                                                                                                                                    | <b>TOPIC TITLE</b>                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Abduvaliyeva Dilsora Nodirjon qizi</i>                                                                                                                                               | <i>Acting Professor of the<br/>National Pedagogical<br/>University of Uzbekistan</i>                                                                                                                  | <i>THE IMPORTANCE OF COLLABORATIVE<br/>LEARNING IN DEVELOPING THE<br/>INTELLECTUAL AND CREATIVE COMPETENCE<br/>OF FUTURE MATHEMATICS TEACHERS</i>       |
| <i>Dilbara Urushovna Rustamova</i>                                                                                                                                                      | <i>Acting Professor of the<br/>National Pedagogical<br/>University of Uzbekistan</i>                                                                                                                  | <i>MODERN METHODS OF PREVENTING<br/>INFECTIOUS DISEASES</i>                                                                                             |
| <i>Hilola Yusupovna Shoyzakova</i>                                                                                                                                                      | <i>Gulistan State University,</i>                                                                                                                                                                     | <i>COMPETENCY-BASED APPROACH IN TEACHING<br/>METHODS AND TECHNOLOGIES IN HIGHER<br/>EDUCATION PHYSICS</i>                                               |
| <i>Saparova Gulmira Bahtiyarovna</i>                                                                                                                                                    | <i>Gulistan State University</i>                                                                                                                                                                      | <i>INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE<br/>IN PHYSICS EDUCATION: COMPETENCY- BASED<br/>TEACHING METHODS AND INNOVATIVE<br/>LEARNING TECHNOLOGIES</i> |
| <i>Prof. Dr. Yurii L. Kulbachko<br/>PhD, Tetyana Y. Lykholat<br/>Prof. Dr. Olena A. Lykholat<br/>Lecturer, Maksim O. Kvitko<br/>PhD, Iryna M. Kofan<br/>Prof. Dr. Yuriy V. Lykholat</i> | <i>Oles Honchar Dnipro<br/>National University, Dnipro,<br/>Ukraine, University of<br/>Customs and Finance,<br/>Dnipro,<br/>Kryvyi Rih State Pedagogical<br/>University, Kryvyi Rih,<br/>Ukraine,</i> | <i>PALUDARIUM AS AN ELEMENT IN ECODESIGN<br/>URBANIZED ECOSYSTEMS OF UKRAINE</i>                                                                        |
| <i>Meral Rexhepi<br/>Eldiar Zulfeari Majlinda Azemi<br/>Luljeta Mulaki</i>                                                                                                              | <i>Clinical Hospital in Tetovo,<br/>University of Tetova</i>                                                                                                                                          | <i>CASE REPORT: PLACENTA SUCCENTURIATA IN<br/>A PRIMIGRAVIDA WITH TERM DELIVERY OF A<br/>HEALTHY NEONATE</i>                                            |
| <i>MADHUMITHA. L</i>                                                                                                                                                                    | <i>TAKASHASHILA<br/>UNIVERSITY. ONGUR.</i>                                                                                                                                                            | <i>ROLE OF PHARMACOGENOMICS IN<br/>PERSONALIZED MEDICINE</i>                                                                                            |
| <i>MADHUMITHA. L</i>                                                                                                                                                                    | <i>TAKASHASHILA<br/>UNIVERSITY. ONGUR.</i>                                                                                                                                                            | <i>PERSONALIZED NUTRITION AND MEDICINE</i>                                                                                                              |



3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

**11.04.2026**

**TÜRKİYE Local Time: 10:30-13:00**

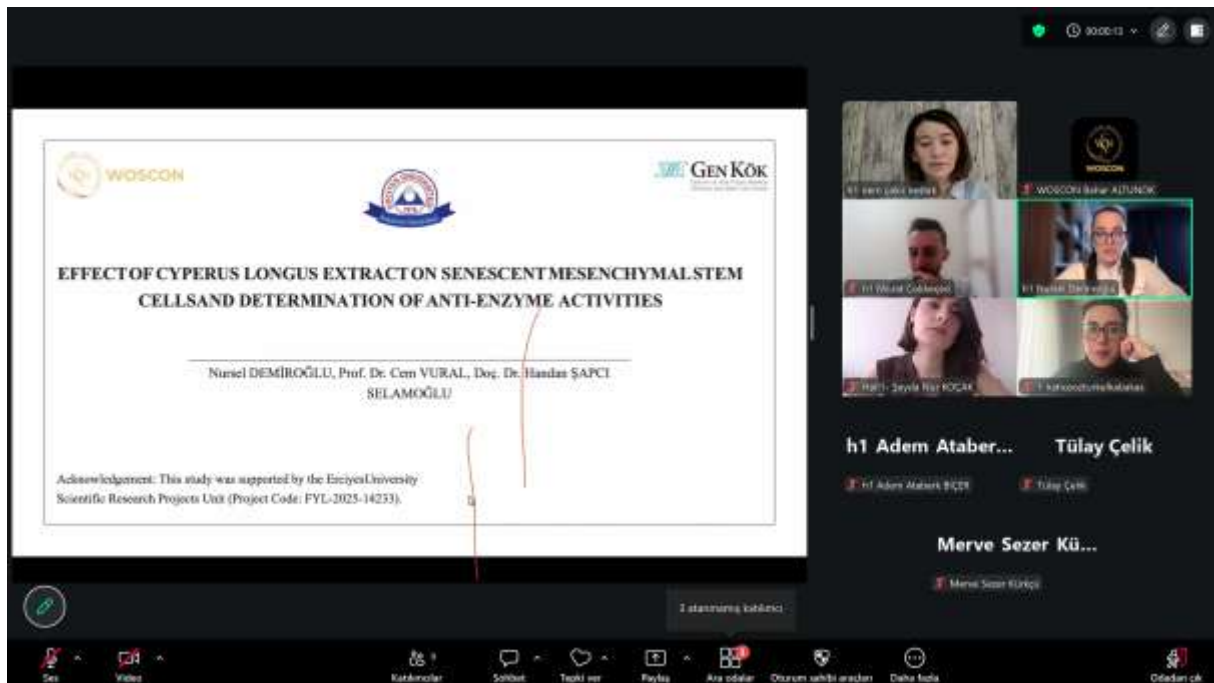
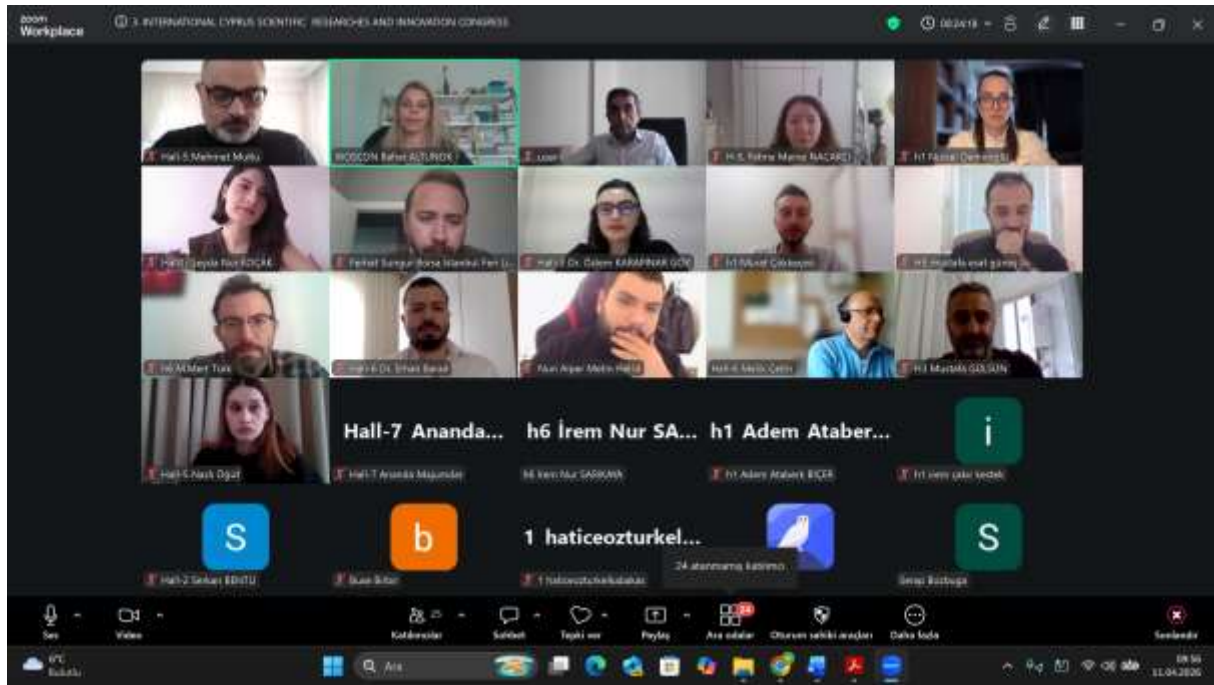
**HEAD OF SESSION: EMİLYA Hüseynova**

**SESSION-2 HALL-12**

| <b>AUTHORS</b>                      | <b>AFFILIATION</b>                                                                  | <b>TOPIC TITLE</b>                                                                              |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>EMİLYA Hüseynova</i>             | <i>Azərbaycan Dövlət Pedagoji Universiteti,</i>                                     | <i>UŞAĞIN TƏRBİYƏSİNDƏ VƏ İNKİŞAFINDA AİLƏNİN ROLU</i>                                          |
| <i>Gular NURİYEVA</i>               | <i>Academic Hasan Aliyev str. 104, Azerbaijan State Pedagogical University,</i>     | <i>PROBLEMS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THEORY AND PRACTICE IN TEACHER TRAINING</i>             |
| <i>Zaur Ustac</i>                   | <i>Member of the Azerbaijan Writer' Union and the Azerbaijan Journalists' Union</i> | <i>ANA HƏSRƏTİNİN POETİK FƏLSƏFƏSİ (Nicat Ərtürkün "Ana həsrəti" kitabı haqqında)</i>           |
| <i>KAMAL HƏSƏN oğlu CAMALOV</i>     | <i>Naxçıvan Müəllimlər İnstitutu</i>                                                | <i>"ƏKİNCİ" QƏZETİNDƏ MAARİFÇİLİK İDEYALARININ YERİ, ROLU VƏ ƏHƏMİYYƏTİ</i>                     |
| <i>Dr. Ülker Bahşıyeva</i>          | <i>ADPU</i>                                                                         | <i>PROSE CREATIVITY OF JALIL MAMMADGULUZADE (IN THE RESEARCH OF M. İBRAHİMOV)</i>               |
| <i>B/m., Lale MUSAYEVA</i>          | <i>Azərbaycan Devlet Pedaqoji Universiteti</i>                                      | <i>YAPAY ZEKA ÇAĞINDA ANA DİLİ ÖĞRETMENLERİNİN YETERLİK GEREKSİNİMLERİ</i>                      |
| <i>Doç.Dr. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ</i> | <i>Naxçıvan Dövlət Universiteti,</i>                                                | <i>YENİ DÖVR AZƏRBAYCAN NƏSR POETİZMİ: CƏLİL MƏMMƏDQULUZADƏ DRAMATİZMİNDƏ NƏSRİN KOMEDİYASI</i> |
| <i>Doç.Dr. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ</i> | <i>Naxçıvan Dövlət Universiteti,</i>                                                | <i>KIBRISLI ŞAİR ALİ HANDİNİN DİVAN POETİKASINDA ÜRFANİ VESFLERİN MENA SİRLERİ</i>              |



### 3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC









### 3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC

30.08.24

## FEM Outputs

- Volume
- Surface & model stress
- UHMWPE deformation & stress
- Safety factor

WOSCON Bihar ALTUNOK

Nuri Alper Meti...

Muhammed İsmet AK

1 oturumun katılımcısı

Sev Video Katılımcılar Sohbet Tebliği ver Paylaş Ara odalar Durum sahibi araçları Daha fazla Otakları çık

30.08.24

HC Mustafa and Güneş

WOSCON Bihar ALTUNOK

Dr. S. Fatma Merve BAKARCI

4 oturumun katılımcısı

Sev Video Katılımcılar Sohbet Tebliği ver Paylaş Ara odalar Durum sahibi araçları Daha fazla Otakları çık









3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS 11-12 APRIL 2026, KKTC



## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CYPERUS LONGUS EKSTRAKTININ SENESENT MEZENKİMAL KÖK HÜCRELERE ETKİSİ VE ANTIENZİM AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ .....                                                   | 6   |
| SENESENS İLE İLİŞKİLİ SALGI FENOTİPİNDEKİ PROTEİNLERİN İLAÇLAR İLE İNHİBİSYONU VE SENOTERAPÖTİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ.....                                           | 7   |
| ENDEMİK ALLIUM PROPONTICUM STEARN & N. ÖZHATAY SUBSP. PROPONTICUM ÇİÇEK METANOL: SU EKSTRESİNİN FİTOKİMYASAL İÇERİĞİNİN VE SİTOTOKSİK AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ ..... | 9   |
| BAZI YENİ BENZOKSAZOL TÜREVİ BİLEŞİKLERİN SENTEZİ VE YAPI KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI .....                                                                            | 12  |
| SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION STUDIES OF SOME NEW BENZOXAZOLE DERIVATIVE COMPOUNDS .....                                                                   | 13  |
| FLUFENAMİK ASİTİN PH 6,8 FOSFAT TAMPON ÇÖZELTİDEKİ SALIM KİNETİĞİ.....                                                                                                 | 14  |
| ESCHERİCHİA COLİ' DE GALE GENİNİN BENZOİK ASİTE KARŞI İNTİRİNSİK DİRENÇ İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ.....                                                               | 36  |
| ULUSAL VE ULUSLARARASI DÜZEYDE MADDE BAĞIMLILIĞININ ÖNLENMESİNDE PSİKİYATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ.....                                                                     | 46  |
| SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPILAR İÇİN HARÇSIZ GEÇMELİ GEOPOLİMER TUĞLA TASARIMI VE PROTOTİP ÜRETİMİ .....                                                                        | 58  |
| DESIGN AND PROTOTYPE PRODUCTION OF MORTARLESS INTERLOCKING GEOPOLYMER BRICKS FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION .....                                                        | 59  |
| ATIK CAM VE KİREMİT TOZU ESASLI GEOPOLİMERLERİN MEKANİK PERFORMANSINDA CAM ELYAF TAKVİYESİNİN ROLÜ.....                                                                | 68  |
| THE ROLE OF GLASS FIBER REINFORCEMENT ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF WASTE GLASS AND TILE POWDER BASED GEOPOLYMERS .....                                             | 69  |
| DÜNYADA LYME HASTALIĞI VE BÖLGELER ARASI KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARININ RETROSPEKTİF DEĞERLENDİRİLMESİ.....                                                                | 81  |
| SARKOPTİK UYUZUN İNSAN VE HAYVAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ .....                                                                                                     | 88  |
| FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN ELEŞTİREL DÜŞÜNME EĞİLİMLERİ VE KLİNİK UYGULAMA SINAV BAŞARILARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ.....             | 96  |
| EPİLEPSİ HASTALARINDA UYGULANAN KETOJENİK DİYETİN ETKİLERİ .....                                                                                                       | 105 |
| OKULÖNCESİ DÖNEMDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ TARİH EĞİTİMİ: ÇOCUK GELİŞİMİ BAĞLAMINDA KURAMSAL VE UYGULAMALI BİR İNCELEME.....                                               | 121 |
| TÜRK EĞİTİM SİSTEMİNDE ÖZEL GEREKSİNİMLİ ÇOCUKLARIN YERİ: ÖZEL EĞİTİM POLİTİKALARININ TARİHSEL SÜREÇ İÇİNDEKİ YASALLAŞMA EVRELERİ .....                                | 123 |
| POPÜLER KÜLTÜRÜN GÖLGESİNDE TELEVİZYON HABERCİLİĞİ: MAGAZİNLEŞME VE ETİK İHLALLER.....                                                                                 | 126 |

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ SPORCU ÖĞRENCİLERİNDE RAKİBİ AFFETME DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI .....                                                             | 133 |
| SPOR EĞİTİMİNİN ÖĞRENCİLERİN SAĞLIKLI YAŞAM DAVRANIŞLARINA ETKİSİ.....                                                                                     | 143 |
| FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ KİMYA LABORATUVARINDA DENEY TASARLAMA BECERİLERİNİN İNCELENMESİ: TEPKİME HIZI KONUSU ÖRNEĞİ.....                          | 151 |
| MACHINE LEARNING-ASSISTED OPTIMIZATION OF PARAMETRIC PROSTHESIS DESIGN BASED ON FEM DATA.....                                                              | 153 |
| EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MACHINING ENERGY BEHAVIOR USING CURRENT-BASED INDICATORS: A DOE-RSM APPROACH.....                                            | 174 |
| P-NITROFENETİL BROMÜRÜN MOLEKÜLER YAPISI, UV-VIS SPEKTRUMU, TERMOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE REAKTİVİTE TANIMLAYICILARININ TEORİK İNCELENMESİ.....             | 190 |
| THEORETICAL INVESTIGATION OF MOLECULAR STRUCTURE, UV-VIS SPECTRUM, THERMOCHEMICAL PROPERTIES, AND REACTIVITY DESCRIPTORS OF P-NITROPHENETHYL BROMIDE ..... | 191 |
| P-NİTROFENETİL BROMÜRÜN YAPISAL, TİTREŞİMSSEL, NMR VE YÜK DAĞILIMI ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI HF VE DFT ANALİZİ.....                                   | 212 |
| COMPARATIVE HF AND DFT ANALYSIS OF THE STRUCTURAL, VIBRATIONAL, NMR AND CHARGE DISTRIBUTION PROPERTIES OF P-NITROPHENETHYL BROMIDE .....                   | 213 |
| UZUN MESAFE GECE TRENLERİNDE YOLCU UYKU KALİTESİNİ ETKİLEYEN ÇEVRESEL FAKTÖRLER.....                                                                       | 229 |
| RAYLI SİSTEM ARAÇ BOJİLERİNDE HAFİFLETME YAKLAŞIMLARI: METALDEN KOMPOZİTE GEÇİŞ.....                                                                       | 241 |
| GÖLLER YÖRESİ SARIÇAM (PINUS SYLVESTRIS L.) ORİJİN DENEMESİNİN YAPRAK VE PİGMENT ÖZELLİKLERİ.....                                                          | 255 |
| BIOINDICATORS OF ECOLOGICAL HAZARDS IN AGROECOSYSTEMS FOR SUSTAINABILITY .....                                                                             | 266 |
| THE IMPORTANCE OF AGRO-PRODUCTIVE GROUPING OF REGIONAL LANDS.....                                                                                          | 267 |
| CAPPARIS SPINOSA L. TÜRÜNÜN POTANSİYEL DAĞILIMININ MODELLENMESİ VE HARİTALANDIRILMASI.....                                                                 | 277 |
| SAFRANBOLU'NUN ZAMAN DURAKLARI: SAAT KULESİ, MUVAKKİTHANE VE GÜNEŞ SAATİ ÜZERİNE BİR İNCELEME .....                                                        | 291 |
| AHLAT VE YAZIKÖY TAŞLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ.....                                                                | 307 |
| AKILLI ŞEBEKEYE ENTEGRE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE EŞLER ARASI ENERJİ TİCARETİ İÇİN BLOK ZİNCİRİ TABANLI KAYIP DUYARLI OPTİMİZASYON .....                     | 320 |
| ER8 DEMİRYOLU ÇELİĞİNİN YÜZEY PERFORMANSINI İYİLEŞTİRMEK İÇİN BORLAMA YAKLAŞIMI.....                                                                       | 330 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2714 SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN BORLAMA İŞLEMİ İLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ .....                                            | 342 |
| ANFIS PARAMETRE OPTİMİZASYONU İÇİN MGO, PSO VE GA ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ.....                                       | 352 |
| DIGITALIZATION AND THE FUTURE OF EMPLOYMENT: THEORETICAL PERSPECTIVES AND A TASK-BASED ANALYSIS.....                                  | 364 |
| NUMERICAL ASSESSMENT OF SOIL-FOUNDATION INTERACTION UNDER CYCLIC LOADING CONDITIONS .....                                             | 377 |
| THE NEXUS BETWEEN FDI AND GREEN GROWTH: EVIDENCE FROM CHINA.....                                                                      | 378 |
| ALGORITHMIC CITIZENSHIP AND EDUCATIONAL STRATIFICATION IN AI-MEDIATED LEARNING ENVIRONMENTS .....                                     | 379 |
| 1. INTRODUCTION.....                                                                                                                  | 380 |
| 2. THEORETICAL FRAMEWORK: ALGORITHMIC POWER AND EDUCATIONAL FIELDS .....                                                              | 381 |
| REFERENCES.....                                                                                                                       | 399 |
| RELIGION AND YOUTH IN CONTEMPORARY SOCIETY: SOCIOLOGICAL PERSPECTIVES ON BELIEF, IDENTITY, AND VALUE CHANGE IN EUROPE AND BEYOND..... | 400 |
| THE SHORT STORY HANGZHOU STREET NO. 10 BY YU DEBEI: AN ANALYSIS.....                                                                  | 421 |
| THE SHORT STORY THE HAYSTACKS BY LU FUHONG: AN ANALYSIS.....                                                                          | 426 |
| THE SHORT STORY THE RETURN OF THE DOCTOR WHO PERFORMS MIRACLES BY XU QUANPING: AN ANALYSIS.....                                       | 430 |
| THE MULTIFACETED ROLE OF MAGIC IN MEDIEVAL SOCIETY: UNRAVELLING MYTHS AND MISCONCEPTIONS.....                                         | 434 |
| MODERN TECHNOLOGY AND QURANIC ARCHAEOLOGY: A STUDY TOWARD FIELD APPLICATION .....                                                     | 445 |
| ARİSTOTELİN “POETİKA” ƏSƏRİ VƏ KLASSİK POETİKA NƏZƏRİYYƏSİNİN FORMALAŞMASI.....                                                       | 454 |
| İBTİDAİ SİNİF ŞAGİRDƏRİNİN NİTQ BACARIQLARININ İNKİŞAFINDA FOLKLOR NÜMUNƏLƏRİNDƏN İSTİFADƏNİN ƏHƏMİYYƏTİ .....                        | 457 |
| SYMBOLIC INTERACTIONISM .....                                                                                                         | 460 |
| GAYRİRƏSMİ EĞİTİM ORTAMI OLARAK AİLE PROJELERİNİN GİRİŞİMCİLİK ZİHNİYETİNƏ ETKİSİ .....                                               | 462 |
| THE IMPACT OF FAMILY PROJECTS AS A NON-FORMAL EDUCATION ENVIRONMENT ON ENTREPRENEURIAL MINDSET .....                                  | 463 |
| MÜASİR MƏRHƏLƏDƏ AZƏRBAYCAN DİLİNİN NİTQ MƏDƏNİYYƏTİ NORMALARI TƏDRİSİNİN BAŞLICA PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA .....                       | 464 |
| NİZAMİ GƏNCƏVİNİN SƏNƏT DÜNYASI.....                                                                                                  | 470 |
| AI-DRIVEN PREDICTIVE MODELING FOR SECURE AND RESILIENT IOT SYSTEMS .....                                                              | 478 |

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ON THE STABILITY OF HEPATITIS C INFECTION DYNAMICS UNDER ANTIVIRAL THERAPY .....                                                                                                                      | 479 |
| FACE RECOGNITION ATTENDANCE SYSTEM USING AI AND MERN STACK .....                                                                                                                                      | 480 |
| AGENTIC AI-BASED AUTONOMOUS INVENTORY SYSTEM .....                                                                                                                                                    | 481 |
| IDENTITIES IN PRIME IDEALS INVOLVING A PAIR OF GENERALIZED (A, A)-DERIVATIONS .....                                                                                                                   | 482 |
| CROSS-MODAL RETRIEVAL USING VISION-LANGUAGE MODELS AND VECTOR DATABASES MUHAMMAD FAISAL .....                                                                                                         | 483 |
| LOW-COST COMPUTER VISION SYSTEMS FOR PERFORMANCE ANALYSIS IN RESOURCE-CONSTRAINED ENVIRONMENTS .....                                                                                                  | 484 |
| AI-DRIVEN PORTFOLIO DESIGN USING MACRO-ECONOMIC INDICATORS FOR LOW-RISK STOCK SELECTION.....                                                                                                          | 500 |
| AN EMPIRICAL STUDY ON THE INFLUENCE OF CUSTOMER DEMOGRAPHICS AND ENVIRONMENTAL AWARENESS ON ELECTRIC VEHICLE ADOPTION .....                                                                           | 501 |
| IMPACT OF HYGIENE PRACTICES INFLUENCING OBESITY PREVALENCE AMONG GENERATION Z: A QUANTITATIVE CROSS-SECTIONAL STUDY.....                                                                              | 502 |
| IMPACT OF CONSUMER INTERACTION METRICS ON ONLINE MARKETING EFFECTIVENESS: A DATA ANALYTICS APPROACH .....                                                                                             | 503 |
| I WILL DELIVER LIKE THE HEBREW WOMEN”: UNDERSTANDING DEISM AND PIETISM IN EXODUS 1:11-21 WITHIN THE LENS OF EXPECTANT CHRISTIAN WOMEN IN A DEVELOPING COUNTRY SETTING .....                           | 504 |
| THE IMPORTANCE OF COLLABORATIVE LEARNING IN DEVELOPING THE INTELLECTUAL AND CREATIVE COMPETENCE OF FUTURE MATHEMATICS TEACHERS .....                                                                  | 505 |
| MODERN METHODS OF PREVENTING INFECTIOUS DISEASES SYRDARYA REGIONAL HEALTH DEPARTMENT BOYOVUT DISTRICT MEDICAL ASSOCIATION 7TH FAMILY POLYCLINIC SENIOR CATEGORY PHYSICIAN DILBARA URUSHOVNA RUSTAMOVA | 508 |
| COMPETENCY-BASED APPROACH IN TEACHING METHODS AND TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION PHYSICS.....                                                                                                       | 512 |
| INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PHYSICS EDUCATION: COMPETENCY-BASED TEACHING METHODS AND INNOVATIVE LEARNING TECHNOLOGIES.....                                                              | 515 |
| PALUDARIUM AS AN ELEMENT IN ECODESIGN URBANIZED ECOSYSTEMS OF UKRAINE.                                                                                                                                | 518 |
| CASE REPORT: PLACENTA SUCCENTURIATA IN A PRIMIGRAVIDA WITH TERM DELIVERY OF A HEALTHY NEONATE.....                                                                                                    | 519 |
| ROLE OF PHARMACOGENOMICS IN PERSONALIZED MEDICINE.....                                                                                                                                                | 522 |
| PERSONALIZED NUTRITION AND MEDICINE .....                                                                                                                                                             | 523 |
| UŞAĞIN TƏRBİYƏSİNDƏ VƏ İNKİŞAFINDA AİLƏNİN ROLU .....                                                                                                                                                 | 524 |
| PROBLEMS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THEORY AND PRACTICE IN TEACHER TRAINING.....                                                                                                                     | 526 |



|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖĞRETMEN YETİŞTİRİLMESİNDE TEORİ VE PRATİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN SORUNLARI .....               | 527 |
| ANA HƏSRƏTİNİN POETİK FƏLSƏFƏSİ .....                                                         | 528 |
| POETICAL PHILOSOPHY OF MOTHERLY LONGING .....                                                 | 532 |
| “ƏKİNÇİ” QƏZETİNDƏ MAARİFÇİLİK İDEYALARININ YERİ, ROLU VƏ ƏHƏMİYYƏTİ .....                    | 533 |
| THE PLACE, ROLE AND IMPORTANCE OF DEMOCRATIC IDEAS IN THE “EKINCHI” NEWSPAPER.....            | 541 |
| CƏLİL MƏMMƏDQULUZADƏNİN NƏSR YARADICILIĞI (M.İBRAHİMOV ARAŞDIRMALARINDA) .....                | 542 |
| YAPAY ZEKA ÇAĞINDA ANA DİLİ ÖĞRETMENLERİNİN YETERLİK GEREKSİNİMLERİ .....                     | 544 |
| COMPETENCY REQUIREMENTS FOR NATIVE LANGUAGE TEACHERS IN THE AI ERA.....                       | 545 |
| KIBRISLI ŞAİR ALİ HANDİNİN DİVAN POETİKASINDA ÜRFANİ VESFLERİN MENA SİRLERİ .....             | 546 |
| YENİ DÖVR AZƏRBAYCAN NƏSR POETİZMİ: CƏLİL MƏMMƏDQULUZADƏ DRAMATİZMİNDƏ NƏSRİN KOMEDİYASI..... | 558 |

## CYPERUS LONGUS EKSTRAKTININ SENESANT MEZENKİMAL KÖK HÜCRELERE ETKİSİ VE ANTİENZİM AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Nursel DEMİROĞLU<sup>1</sup>/ Prof. Dr., Cem VURAL<sup>2</sup>/Doç. Dr., Handan ŞAPCI SELAMOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik, [nursel.demroglu@gmail.com](mailto:nursel.demroglu@gmail.com),  
ORCID: 0009-0008-9933-4698

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Biyoloji, [vuralc@erciyes.edu.tr](mailto:vuralc@erciyes.edu.tr), ORCID: 0000-0001-9929-9935

<sup>3</sup>Kayseri Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim, [handansapci@kayseri.edu.tr](mailto:handansapci@kayseri.edu.tr),  
ORCID: 0000-0001-8150-0450

### Özet

Hücrel senesens, hücre döngüsünün geri dönüşümsüz bir şekilde durmasıyla karakterize edilen bir süreçtir. Bu süreç doku onarımı ve rejenerasyonunda kritik rol oynayan mezenkimal kök hücrelerin (MKH) işlevselliğini olumsuz yönde etkilemekte ve bu durum rejeneratif tıp alanında önemli bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Son yıllarda tıbbi bitki bileşenlerinin hücrel senesens ile ilişkili yolları modüle edebileceği gösterilmiştir. Bu bağlamda yüksek stilben içeriğine sahip *Cyperus longus*'un hücrel senesens üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışma henüz literatürde mevcut değildir. Bu çalışmada senesent ve non-senesent diş pulpası kaynaklı MKH'lerde *Cyperus longus* ekstraktının biyolojik etkilerinin araştırılması ve bu ekstraktın antienzim aktivitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma konsantrasyonu senesent ve non-senesent hücreler için MTT yöntemi ile 0,1 mg/ml olarak belirlenmiştir. Senesent hücrelerin varlığı SA-β-galaktozidaz boyaması ile görselleştirilmiştir. Apoptoz oranı (Annexin-V), mitokondriyal membran potansiyeli (MitoStatus Red), Proliferasyon kapasitesi (Ki-67 boyama), hücre döngüsü dağılımları ve senesent hücre oranı (C<sub>12</sub>FDG) akış sitometrisi cihazı ile analiz edilmiştir. P21 ekspresyon profilleri immünohistokimyasal (ICC) analiz ile belirlenmiştir. Ayrıca ekstraktın elastaz ve kolajenaz enzimleri üzerindeki inhibitör etkileri de değerlendirilmiştir.

Senesent hücrelerin varlığı SA-β-gal boyama ile doğrulanmıştır. Ekstrakt uygulaması, mitokondriyal membran potansiyelini korurken apoptozu tetikleyerek apoptoza dirençli senesent MKH popülasyonunu etkili bir şekilde azaltmıştır. Ki-67 pozitif hücrelerde dikkate değer bir artış gözlenmiş, buna G0/G1 fazındaki hücre popülasyonu ve C<sub>12</sub>FDG-pozitif senesent hücre oranındaki azalma eşlik etmiştir. ICC'de ise P21 ifadesinin kontrol grubuna kıyasla azaldığı tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular *Cyperus longus* ekstraktının senesent hücrelerde hem senomorfik hem de senolitik etkiler sergilediğini göstermektedir. Senesent hücrelerde apoptotik süreci tetiklediği, proliferasyon kapasitesini arttırdığı ve hücre döngüsü aktivitesini yeniden kazandırdığı düşünülmektedir. Bu bulgular *Cyperus longus* ekstraktının potansiyel bir terapötik ajan olabileceğine işaret etmektedir.

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Betül-Ziya Eren Genom ve Kök Hücre Merkezinde yürütülmüştür. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir (Proje kodu: FYL-2025-14233)

3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCHES AND INNOVATION CONGRESS" 11-12 April 2026, KKTC  
<https://www.wosconkongreleri.com/>

**Anahtar Kelimeler:** *Cyperus longus*, mezenkimal kök hücre, senesens, rejeneratif tıp

## **EFFECT OF CYPERUS LONGUS EXTRACT ON SENESCENT MESENCHYMAL STEM CELLS AND DETERMINATION OF ANTI-ENZYME ACTIVITIES**

### **Abstract**

Cellular senescence is a process characterized by the irreversible arrest of the cell cycle. This process negatively impacts the functionality of mesenchymal stem cells (MSCs), which play a critical role in tissue repair and regeneration, and remains a significant research topic in regenerative medicine. Recent studies indicate that medicinal plant components can modulate senescence-related pathways. In this context, despite its high stilbene content, the effects of *Cyperus longus* on cellular senescence have not yet been reported in the literature. This study aims to investigate the biological effects and anti-enzyme activities of *Cyperus longus* extract on senescent and non-senescent dental pulp-derived MSCs.

The working concentration for both senescent and non-senescent cells was determined as 0.1 mg/ml using the MTT assay. The presence of senescent cells was visualized by SA- $\beta$ -galactosidase staining. Apoptosis rate (Annexin-V), mitochondrial membrane potential (MitoStatus Red), proliferation capacity (Ki-67 staining), cell cycle distribution, and senescent cell ratio ( $C_{12}$ FDG) were analyzed by flow cytometry. P21 expression profiles were determined by immunocytochemical (ICC) analysis. In addition, the inhibitory effects of the extract on elastase and collagenase enzymes were also evaluated.

The presence of senescent cells was confirmed by SA- $\beta$ -gal staining. Extract treatment effectively reduced the apoptosis-resistant senescent MSC population by triggering apoptosis while preserving mitochondrial membrane potential. A notable increase in Ki-67-positive cells was observed, accompanied by a reduction in the G0/G1 phase cell population and the proportion of  $C_{12}$ FDG-positive senescent cells. ICC analysis revealed a decrease in P21 expression compared to the control group.

The findings demonstrate that *Cyperus longus* extract exhibits both senomorphic and senolytic activities by triggering apoptosis, enhancing proliferation capacity, and restoring cell cycle activity in senescent cells. These results suggest that *Cyperus longus* extract has significant potential as a therapeutic agent.

This study was conducted at Erciyes University Betül-Ziya Eren Genome and Stem Cell Center and supported by the Erciyes University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project Code: FYL-2025-14233).

**Keywords:** *Cyperus longus*, mesenchymal stem cell, senescence, regenerative medicine.

### **SENESENS İLE İLİŞKİLİ SALGI FENOTİPİNDEKİ PROTEİNLERİN İLAÇLAR İLE İNHİBİSYONU VE SENOTERAPÖTİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Öğrencisi, Murat ÇOKKEÇECİ<sup>1</sup> /Dr. Mustafa Burak ACAR<sup>2</sup>/ Prof. Dr. Servet ÖZCAN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik, [muratcokkececi@gmail.com](mailto:muratcokkececi@gmail.com),

**ORCID: 0009-0002-5333-4955**

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Genom ve Kök Hücre Merkezi, [mustafaburakacar@erciyes.edu.tr](mailto:mustafaburakacar@erciyes.edu.tr),  
ORCID: 0000-0002-9109-6575

<sup>3</sup>Erciyes Üniversitesi, Biyoloji, [ozcan@erciyes.edu.tr](mailto:ozcan@erciyes.edu.tr), ORCID: 0000-0002-9914-8843  
**Özet**

Hücrel yaşlanma (senesens), hücrenin bölünme yeteneğinin kalıcı olarak durmasıdır. Senesent hücreler, yaşlanmayla ilişkili salgısal fenotip (SASP) aracılığıyla çevrelerindeki sağlıklı hücrelerde parakrin senesens indükleyerek doku homeostazını, onarımı ve yenilenmeyi engelleyebilmektedir. SASP; büyüme faktörleri, proinflatuar sitokinler ve çeşitli biyoaktif moleküller içermekte olup literatürde insülin benzeri büyüme faktörü protein-4'ün (IGFBP-4) senesent hücrelerde aşırı ifade edildiği sekretom analizleriyle ortaya konmuştur. Bu çalışmada IGFBP-4'ü inhibe edecek potansiyel ilaç adayları SMINA programı ile moleküler docking yöntemiyle araştırılmıştır. Literatür verileri ve MTT sonuçlarına göre Cyclopamine (4µM) ve Tubastatin-A (2µM) dozları belirlenmiştir. Replikatif olarak yaşlandırılan mezenkimal kök hücrelerin (MKH) sekretomları toplanarak ilaçlarla birlikte erken pasaj MKH'lere 72 saat uygulanmıştır. Senesens SA-β-galaktozidaz boyama ile, hücre canlılığı MTT testi ile, proliferasyon Ki67 immüno Floresan boyama ile, apoptoz Annexin-V akış sitometrisi ile değerlendirilmiştir. Tüm hücre proteomu label-free quantification (LFQ) yöntemiyle LC-MS/MS ile analiz edilmiştir.

Docking sonuçlarında Tubastatin-A ve Cyclopamine IGFBP-4'e anlamlı bağlanma afiniteleri göstermiştir. MTT verileri belirlenen dozların sitotoksik olmadığını, Ki67 analizi ilaç gruplarında SASP grubuna kıyasla proliferatif kapasitenin arttığını ortaya koymuştur. Annexin-V sonuçlarında total apoptotik hücre oranlarında önemli bir değişim görülmemekle birlikte ilaç gruplarında ölü hücre oranı kontrol grubuna kıyasla artmıştır.

Proteomik analizlerde Tubastatin-A, sitoskeleton düzenleyici proteinlerin, antioksidan savunma enzimlerinin ve ısı şoku şaperonlarının ekspresyonunu artırırken SASP kaynaklı ferroptoz yolağını baskılayarak yapısal direnç ve stres adaptasyonu odaklı bir senomorfik profil sergilemiştir. Cyclopamine ise antioksidan savunma ve anti-inflatuar düzenleyiciler aracılığıyla kısmi bir koruyucu yanıt oluşturmuş, ancak DNA replikasyon makinesinin kaybını ve ECM/lipid hasarının şiddetlenmesini telafi edememiştir. Bu sonuçlar, Tubastatin-A'nın SASP'nin parakrin etkilerine karşı daha etkin bir senomorfik koruma sağladığını göstermektedir.

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Betül-Ziya Eren Genom ve Kök Hücre Merkezinde yürütülmüştür. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir (Proje kodu: FYL-2025-15368)

**Anahtar kelimeler:** senesens, senesens ile ilişkili salgı fenotipi, senoterapötik, sekretom, mezenkimal kök hücre

## INHIBITION OF PROTEINS IN THE SENESCENCE-ASSOCIATED SECRETORY PHENOTYPE BY DRUGS AND INVESTIGATION OF THEIR SENOTHERAPEUTIC EFFECTS

### Abstract

Cellular senescence is defined as the permanent arrest of the cell cycle. Senescent cells can induce paracrine senescence in surrounding healthy cells through the senescence-associated secretory phenotype (SASP), thereby impairing tissue homeostasis, repair, and regeneration. SASP comprises growth factors, proinflammatory cytokines, and various bioactive molecules; secretome analyses in the literature have demonstrated that insulin-like growth factor-binding protein-4 (IGFBP-4) is overexpressed in senescent cells.

In this study, potential drug candidates capable of inhibiting IGFBP-4 were investigated using molecular docking with the SMINA program. Based on literature data and MTT results, the doses of Cyclopamine (4 $\mu$ M) and Tubastatin-A (2 $\mu$ M) were determined. Secretomes collected from mesenchymal stem cells (MSCs) replicatively aged were applied together with the drugs to early-passage MSCs for 72 hours. Senescence was assessed by SA- $\beta$ -galactosidase staining, cell viability by the MTT assay, proliferation by Ki67 immunofluorescence staining, and apoptosis by Annexin-V flow cytometry. The whole-cell proteome was analyzed by LC-MS/MS using the label-free quantification (LFQ) method.

Docking results revealed that both Tubastatin-A and Cyclopamine exhibited significant binding affinities to IGFBP-4. MTT data confirmed that the selected doses were non-cytotoxic, while Ki67 analysis demonstrated increased proliferative capacity in the drug-treated groups compared to the SASP group. Annexin-V results showed no significant change in total apoptotic cell ratios; however, the dead cell ratio increased in the drug-treated groups compared to the control.

Proteomic analyses revealed that Tubastatin-A exhibited a senomorphic profile focused on structural resilience and stress adaptation by upregulating cytoskeleton-regulatory proteins, antioxidant defense enzymes, and heat shock chaperones while suppressing the SASP-induced ferroptosis pathway. Cyclopamine, on the other hand, mounted a partial protective response through antioxidant defense and anti-inflammatory regulators, yet failed to compensate for the loss of DNA replication machinery and the exacerbation of ECM/lipid damage. These findings indicate that Tubastatin-A provides more effective senomorphic protection against the paracrine effects of SASP.

This study was conducted at Erciyes University Betül-Ziya Eren Genome and Stem Cell Center. It was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit (Project code: FYL-2025-15368).

**Keywords:** senescence, senescence-associated secretory phenotype, senotherapeutic, secretome, mesenchymal stem cell

## ENDEMİK *ALLIUM PROPONTICUM* STEARN & N. ÖZHATAY SUBSP. *PROPONTICUM* ÇİÇEK METANOL: SU EKSTRESİNİN FİTOKİMYASAL İÇERİĞİNİN VE SİTOTOKSİK AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Adem Ataberk BİÇER<sup>1\*</sup>, Doç. Dr. Tülay AŞKIN ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>\*1</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü/Biyoloji Anabilim Dalı, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye, Fen Bilimleri ve Mühendislik, e-posta: [2310300103@stu.adu.edu.tr](mailto:2310300103@stu.adu.edu.tr)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9218-4953>

<sup>2</sup>Fen Fakültesi/Biyoloji Bölümü, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye,

Fen Bilimleri ve Mühendislik, e-posta: [tcelik@adu.edu.tr](mailto:tcelik@adu.edu.tr)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-9089>

## Özet

Tür çeşitliliği açısından zengin olan *Allium* cinsi, özellikle *A. sativum*, *A. cepa*, *A. porrum* ve *A. ascalonicum* gibi kültür formlarını içermekte olup, sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle sebze, baharat ve doğal terapötik ajan olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. *Allium* türleri antikarsinojenik, antimikrobiyal, antitrombotik, antihiperlipidemik ve immün sistemi uyarıcı özellikler taşımakta olup, yara iyileştirici, analjezik, antiinflamatuvar ve hipokolesterolemik etkileri nedeniyle geleneksel tıpta da değerlendirilmektedir. *Allium proponticum* Stearn & N. Özhatay subsp. *proponticum* (Top körmən), Türkiye florasında endemik bir tür olup, *A. proponticum* ve *A. parviflorum* olmak üzere iki alt taksona sahiptir. Bu soğanlı geofit, ılıman biyomlarda yetişmekte, Türkiye'nin batısından Midilli Adası'na kadar yayılım göstermekte ve Mayıs-Haziran ayları arasında çiçeklenmektedir. Bu çalışmanın amacı, Aydın ilinde yetişen endemik *A. proponticum* subsp. *proponticum* çiçeklerinden elde edilen metanol:su (80:20, v/v) ekstresinin fitokimyasal profilini belirlemek ve sitotoksik potansiyelini *Artemia salina* canlılık testi ile değerlendirmektir.

Bulgular, çiçek ekstresinde fenoller, alkaloidler, flavonoidler ve saponinlerin yoğun, tanenlerin ise düşük düzeyde olduğunu göstermiştir. *Artemia salina* testi, ekstrenin doza ve zamana bağlı toksik etki gösterdiğini ortaya koymuştur; LC<sub>50</sub> değerleri 24 saatte 621 ppm'den 48 saatte 288 ppm'e düşmüştür. Düşük konsantrasyonlarda (10-50 ppm) larva canlılığı büyük ölçüde korunmuş, 100 ppm ve üzeri dozlarda ise anlamlı azalmalar ( $p < 0,05$ ) gözlenmiştir. En yüksek konsantrasyonda (1000 ppm) larvaların canlılık oranı 24. saatte %26,7 ve 48. saatte %10 olarak kaydedilmiştir. Negatif ve çözücü kontrol (1% DMSO) gruplarında larvalar yüksek canlılık gösterirken, pozitif kontrol olarak kullanılan umbelliferon doza ve zamana bağlı toksik etki sergilemiştir.

Sonuç olarak, *A. proponticum* subsp. *proponticum* çiçek ekstresi, zengin fitokimyasal içeriği ve belirgin sitotoksik potansiyeli ile biyolojik açıdan önemli bir kaynak olup, farmakolojik potansiyelinin ileri çalışmalarla değerlendirilmesi gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** *Allium proponticum* subsp. *proponticum*, *Artemia salina* L., fitokimyasal, sitotoksikite

**DETERMINATION OF PHYTOCHEMICAL CONTENTS AND CYTOTOXIC ACTIVITY OF THE METHANOL:WATER FLOWER EXTRACT OF ENDEMIC *ALLIUM PROPONTICUM* STEARN & N. ÖZHATAY SUBSP. *PROPONTICUM***

## Abstract



The genus *Allium*, which exhibits considerable species diversity, includes cultivated forms such as *A. sativum*, *A. cepa*, *A. porrum*, and *A. ascalonicum* that are widely used as vegetables, spices, and natural therapeutic agents due to their beneficial effects on human health. *Allium* species exhibit anticarcinogenic, antimicrobial, antithrombotic, antihyperlipidemic, and immune-stimulating properties, and are also traditionally used for their wound-healing, analgesic, anti-inflammatory, and hypocholesterolemic activities. *Allium proponticum* Stearn & N. Özhatay subsp. *proponticum* (Top körmən) is an endemic species of the Turkish flora, with two subspecies, *A. proponticum* and *A. parviflorum*. This bulbous geophyte grows in temperate biomes, is distributed from western Turkey to the island of Lesbos, and flowers between May and June.

The present study aimed to determine the phytochemical profile of the methanol:water (80:20, v/v) flower extract of endemic *A. proponticum* subsp. *proponticum* collected from Aydın province and to evaluate its cytotoxic potential using the *Artemia salina* lethality assay. The extract was found to be rich in phenolics, alkaloids, flavonoids, and saponins, whereas tannins were present at low levels. The *Artemia salina* assay demonstrated a dose- and time-dependent toxic effect; LC<sub>50</sub> values decreased from 621 ppm at 24 hours to 288 ppm at 48 hours. Larval viability remained high at low concentrations (10–50 ppm) but decreased significantly ( $p<0.05$ ) at doses of 100 ppm and above. At the highest concentration (1000 ppm), larval survival declined to 26.7% at 24 hours and 10% at 48 hours. In the negative and solvent control (1% DMSO) groups, larvae exhibited high viability, whereas umbelliferone, used as the positive control, showed a dose- and time-dependent toxic effect.

In conclusion, the flower extract of *A. proponticum* subsp. *proponticum*, with its rich phytochemical content and pronounced cytotoxic potential, represents a biologically significant resource and warrants further pharmacological investigation.

**Keywords:** *Allium proponticum* subsp. *proponticum*, *Artemia salina* L., phytochemicals, cytotoxicity

## BAZI YENİ BENZOKSAZOL TÜREVİ BİLEŞİKLERİN SENTEZİ VE YAPI KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

Eczacı, Şeyda Nur KOÇAK<sup>1</sup>/ Doç. Dr., Meryem EROL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Kimya ABD [seydanurkocak@gmail.com](mailto:seydanurkocak@gmail.com),  
0009-0002-3773-1555

[meryemtasci@erciyes.edu.tr](mailto:meryemtasci@erciyes.edu.tr), 0000-0001-5676-098X

### ÖZET

Benzoksazol, oksazol halkasının benzen halkası ile kondensasyonu sonucu oluşan bisiklik yapıya sahip bir heterosiklik bileşiktir. Benzoksazol türevlerinin karakteristik halka yapısı sayesinde hem farmasötik hem de malzeme bilimi alanlarında önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu çalışmanın kapsamında, genel yapısı 2-(*p*-klorofenil)-5-(2-süstitüasetamido/3-süstitüpropionamido)benzoksazol türevi 14 adet bileşik sentezlenmiş ve bu bileşiklerin 11 adedi özgün bileşikler olarak tanımlanmıştır. Bileşikler, benzoksazol halkasının 2. konumunda yer alan fenil grubunun *para* konumuna bağlı klor süstitüsü ve 5. konumunda asetamido/propionamido yapılarına bağlı süstitü piperazin/morfolin ile türevlendirilmiş olup 3 aşamalı bir sentez yöntemiyle elde edilmiştir. Birinci basamakta 2,4-diaminofenol dihidroklorür ve 4-klorobenzoik asit polifosforik asit katalizörlüğünde 160-180 °C’de ısıtılarak reflux edilerek benzoksazol halkasının siklizasyonu sağlanmıştır. 2. basamakta, birinci basamakta sentezlenen bileşiklerin dietileterde, NaHCO<sub>3</sub>’ün ise suda çözülmesiyle oluşturulan iki fazlı sistem, 2-kloroasetilchlorür/3-kloropropionil klorür ile reaksiyona sokularak 5. konuma bağlı amid yan zinciri içeren ara ürünler elde edilmiştir. Son sentez basamağında ise bu ara ürünler dimetilformamid ve trietilamin varlığında bir gün boyunca oda sıcaklığında süstitüepiperazin/morfolinle reaksiyona girerek hedef bileşikler sentezlenmiştir. Bileşiklerin yapıları <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR ve HRMS ile kapsamlı bir şekilde karakterize edilmiş ve erime noktaları tayin edilmiştir. Ayrıca *in silico* ADME (absorpsiyon, dağılım, metabolizma ve eliminasyon) ve toksikolojik parametreleri sırasıyla SwissADME ve ProTox 3.0 yazılımlarıyla hesaplanmış ve farmasötik uygunlukları değerlendirilmiştir. İlaç adayı bileşiklerin fizikokimyasal ve farmakokinetik özellikleri ve diğer önemli ADMET özellikleri genellikle kısıtlayıcı kural için uygun bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Sentez; Yapı Karakterizasyonu; Benzoksazol; ADMET.

\*Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından TYL-2025-15169 kodlu proje ile desteklenmiştir.

## SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION STUDIES OF SOME NEW BENZOXAZOLE DERIVATIVE COMPOUNDS

Pharm., Şeyda Nur KOÇAK<sup>1</sup>/ Assoc. Prof., Meryem EROL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Erciyes University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry

[seydanurkocak@gmail.com](mailto:seydanurkocak@gmail.com), 0009-0002-3773-1555

[mervemtasci@erciyes.edu.tr](mailto:mervemtasci@erciyes.edu.tr), 0000-0001-5676-098X

### ABSTRACT

Benzoxazole is a heterocyclic compound with a bicyclic structure formed by the condensation of an oxazole ring with a benzene ring. Benzoxazole derivatives are of significant importance in both the pharmaceutical and materials science fields due to their characteristic ring structure. In this study, 14 compounds with the general structure of 2-(*p*-chlorophenyl)-5-(2-substitutedacetamido/3-substitutedpropionamido)benzoxazole derivatives were synthesized, and 11 of these compounds were identified as original compounds. The compounds were diversified with a chlorine substitution at the *para* position of the phenyl group at the 2-position of the benzoxazole ring and with substituted piperazine/morpholine moieties attached to acetamido/propionamido groups at the 5-position. In the first step, 2,4-diaminophenol dihydrochloride and 4-chlorobenzoic acid were refluxed at 160-180 °C in polyphosphoric acid with a catalyst to cyclize the benzoxazole ring. In the second step, a two-phase system formed by dissolving the compounds synthesized in the first step in diethyl ether and NaHCO<sub>3</sub> in water was reacted with 2-chloroacetyl chloride/3-chloropropionyl chloride to obtain intermediates bearing an amide side chain at the 5<sup>th</sup> position. In the final synthesis step, these intermediates were reacted with substituted piperazine/morpholine in the presence of dimethylformamide and triethylamine for one day at room temperature to synthesize the target compounds. The structures of the compounds were comprehensively characterized by <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR, and HRMS, and their melting points were determined. In addition, *in silico* ADME (absorption, distribution, metabolism, and elimination) and toxicological parameters were calculated using SwissADME and ProTox 3.0, respectively, and the pharmaceutical suitability was evaluated. The physicochemical and pharmacokinetic properties, along with other important ADMET parameters, of the candidate compounds were generally in compliance with drug-likeness criteria.

**Keywords:** Synthesis; Structure Characterization; Benzoxazole; ADMET.

\*This study was supported by the Erciyes University Scientific Research Projects Unit with project code TYL-2025-15169.

## FLUFENAMİK ASİTİN PH 6,8 FOSFAT TAMPON ÇÖZELTİDEKİ SALIM KİNETİĞİ

İrem KESTEK<sup>1</sup>/ Prof. Dr. Ayşen ALAMAN AĞAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya, Samsun, Türkiye  
[cakrirem@gmail.com](mailto:cakrirem@gmail.com) 0000-0001-7524-7313

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya, Samsun, Türkiye  
[avsena@omu.edu.tr](mailto:avsena@omu.edu.tr) 0000-0002-1316-4835

### Özet

Sıvı kristaller (LC), hem sıvının akışkanlık hem de kristalin düzen özelliklerini aynı anda gösteren ara faz yapılarıdır. Bu nedenle klasik katı ve sıvı fazlardan farklı davranış sergilerler. LC' ler moleküler düzeyde organize olabilen ancak makroskopik akışkanlığı koruyan sistemlerdir ve bu özellikleri biyomedikal uygulamalar için oldukça uygundur. LC' ler, lipit ve yüzey aktif moleküllerin su gibi çözücülerle belirli oranlarda karıştırılmasıyla kendi kendine düzenlenir ve böylece farklı LC fazları ortaya çıkar (örneğin lamel, hekzagonal veya kübik fazlar). Bu fazlar, sıvı kristal sistemlerin fizikokimyasal davranışını belirleyen temel bileşenlerdir ve taşıma uygulamalarında kontrol edilebilir salım düzeni sağlarlar (Kim et al., 2015a).

Flufenamik asit (FFA), mefenamik asit (MFA) ve tolfenamik asit (TFA) ile birlikte, 1960'larda geliştirilen fenamatlar sınıfına aittir. 1990'larda en çok reçete edilen steroid olmayan ilaçlar (NSAID) arasında yer alan fenamatların reçete oranı son yıllarda azalmış olsa da Asya ülkelerinde hala önemli düzeydedir (Cimolai, 2013).

Analjezik, antiinflamatuvar ve antipiretik özellikleri nedeniyle klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Flufenamik asit, kimyasal olarak 2-[(3-(trifluorometil)fenil) amino] benzoik asit yapısına sahip olup molekülünde bulunan karboksilik asit grubu nedeniyle zayıf asidik karakter göstermektedir. Bu bileşiğin pKa değeri yaklaşık 3,9–4,2 aralığında olup pH değişimlerine bağlı olarak iyonizasyon derecesi değişebilmektedir (Sweetman & Martindale, 2009).

Bu çalışmada flufenamik asitin liyotropik sıvı kristal içerisinde ince bağırsak pH değeri olan pH 6,8 tampon çözeltiye geçiş miktarı ve geçiş kinetiği incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Flufenamik asit, sıvı kristal, ilaç kinetiği

## RELEASE KINETICS OF FLUFENAMIC ACID IN PH 6,8 PHOSPHATE BUFFER SOLUTION

### Abstract

Liquid crystals (LCs) are intermediate phase structures that simultaneously exhibit both the fluidity of a liquid and the ordered properties of a crystal. Therefore, they display behavior different from classical solid and liquid phases. LCs are systems that can organize at the molecular level while maintaining macroscopic fluidity, making them highly suitable for biomedical applications. LCs self-assemble when lipids and surfactant molecules are mixed with solvents such as water in specific proportions, leading to the formation of different LC phases (e.g., lamellar, hexagonal, or cubic phases). These phases are fundamental components that determine the physicochemical behavior of liquid crystal systems and provide controlled release patterns in delivery applications (Kim et al., 2015).

Flufenamic acid (FFA), together with mefenamic acid (MFA) and tolufenamic acid (TFA), belongs to the class of fenamates developed in the 1960s. Although the prescription rate of fenamates, which were among the most commonly prescribed nonsteroidal drugs (NSAIDs) in the 1990s, has decreased in recent years, they still remain significant in Asian countries (Cimolai, 2013).

It is widely used in clinical applications due to its analgesic, anti-inflammatory, and antipyretic properties. Flufenamic acid is chemically characterized as 2-[(3-(trifluoromethyl)phenyl)amino] benzoic acid and exhibits weak acidic behavior due to the carboxylic acid group present in its structure. The pKa value of this compound is approximately in the range of 3.9–4.2, and its degree of ionization may vary depending on pH changes (Sweetman & Martindale, 2009).

In this study, the amount and kinetics of the transition of flufenamic acid from a lyotropic liquid crystal into a buffer solution at pH 6.8, corresponding to the small intestine pH, were investigated.

**Keywords:** Flufenamic acid, liquid crystal, pharmacokinetics

## 1. GİRİŞ

Sıvı kristaller (LC), hem sıvının akışkanlık hem de kristalin düzen özelliklerini aynı anda gösteren ara faz yapılarıdır. Bu nedenle klasik katı ve sıvı fazlardan farklı davranış sergilerler. LC' ler moleküler düzeyde organize olabilen ancak makroskopik akışkanlığı koruyan sistemlerdir ve bu özellikleri biyomedikal uygulamalar için oldukça uygundur. LC' ler, lipit ve yüzey aktif moleküllerinin su gibi çözücülerle belirli oranlarda karıştırılmasıyla kendi kendine düzenlenir ve böylece farklı LC fazları ortaya çıkar (örneğin lamel, hekzagonal veya kübik fazlar). Bu fazlar, sıvı kristal sistemlerin fizikokimyasal davranışını belirleyen temel bileşenlerdir ve taşıma uygulamalarında kontrol edilebilir salım düzeni sağlarlar (Kim et al., 2015a).

Liyotropik sıvı kristal sistemlerin ilaç taşıma uygulamalarındaki avantajlarından biri, ara faz yapılarının çevresel şartlara (örneğin pH, iyonik güç) bağlı olarak faz geçişi gösterebilmesidir. Böyle bir pH-duyarlılık, sistemin mide, bağırsak gibi farklı fizyolojik ortamlarda salım davranışını değiştirebilmesine olanak tanır; örneğin ara faz yapısı pH değişimine bağlı olarak tekrar başlangıç haline dönebilir ve bu değişim salım kinetiğini etkiler. pH-duyarlı liyotropik sistemlerin kontrollü salımda etkin olduğu çeşitli model ilaçlarla gösterilmiştir; bu sistemler, ortamdaki pH değişimi ile kübik fazdan hekzagonal faza geçerek salım hızını değiştirebilmektedir (Negrini & Mezzenga, 2011).

Sıvı kristallerin farmasötik uygulamaları, sadece yapısal düzenlenmenin ötesinde yüksek biyoyumluluk, biyodayanıklılık ve yüksek ilaç yükleme kapasitesi gibi avantajlar sunar. Bu özellikler, geleneksel taşıyıcı sistemlerin karşılaştığı zorluklara ciddi alternatifler sunar ve özellikle uzun süreli salım, hedefe yönelik salım ve biyomoleküllerin korunması gibi alanlarda yenilikçi çözümler sağlar (Chavda et al., 2023).

Bu çerçevede, bu tez çalışması ilaç etken madde olarak kullanılan flufenamik asidin pH-duyarlı liyotropik sıvı kristal sistemde kapsüllenmesi, faz karakterizasyonu ve ince bağırsak pH değeri olan pH 6,8 fosfat tampon çözelti ortamında kontrollü salımının incelenmesini amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, hem molekülün düşük çözünürlük problemini çözmeyi hedeflemektedir.

Günümüzde birçok ilaç etken maddenin en önemli sınırlılıklarından biri, sulu ortamlarda yetersiz çözünürlük göstermesidir. Düşük çözünürlük, ilacın biyoyararlanımını azaltmakta; hedef dokuda yeterli derişime ulaşmasını engellerken sistemik dolaşıma yayılımını artırarak istenmeyen yan etkilerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, hassas yapıya sahip ilaç molekülleri, hedef bölgeye ulaşmadan önce mide asidi gibi zorlu fizyolojik koşullar altında parçalanabilirler.

Bu bağlamda, sıvı kristal sistemler kontrollü ve hedefe yönelik ilaç salımı açısından umut verici taşıyıcı sistemler olarak öne çıkmaktadır. Sıvı kristal yapılarda, ortam pH'ındaki değişimlere bağlı olarak moleküler organizasyon ve paketlenme davranışı farklılaşabilmektedir. Özellikle lamel fazda nispeten daha hızlı ilaç salımı gözlenirken, hekzagonal fazda daha kontrollü ve yavaş bir salım elde edilmektedir. Aynı sistem



içerisinde faz dönüşümleri, çevresel pH değişimlerine bağlı olarak kendiliğinden gerçekleşebilmekte ve bu durum sistemin çevresel uyaranlara duyarlı (stimuli-responsive) özellik kazanmasını sağlamaktadır.

Sonuç olarak, sıvı kristal sistemlerin bu özgün ve dinamik yapısal özellikleri sayesinde, fizyolojik pH farklılıklarına duyarlı akıllı ilaç taşıyıcı sistemler geliştirilmesi mümkün olmakta; böylece ilacın doğru zamanda, doğru bölgede ve kontrollü bir şekilde salımı sağlanarak terapötik etkinlik artırılırken yan etkiler minimize edilebilmektedir.

### 1.1. Kuramsal Çerçeve

Süspansiyonlar ve yağlı çözeltiler, yaklaşık otuz yıldır uzun süreli salım sağlayan depo enjeksiyonlarının temelini oluşturmuştur, ancak bu uygulama sistemleri suda çözünen ilaçlar için daha az uygundur, genellikle uygulamada ağrıya neden olarak, hasta uyumunu olumsuz etkiler ve bu ürünler sıklıkla düşük kararlılık ve değişken emilim kinetiği göstermektedir. Polimer bazlı çözelti veya jel tipi sistemler aylarca süren uzun süreli salım sağlarken, ilacın uygulama için polimeri çözmek için kullanılan aynı çözücünde (örneğin *N*-metil pirolidon) dağıtılması veya çözülmesi gerekir (Graham, Brodbeck, & McHugh, 1999).

Liyotropik sıvı kristal sistemler, biyomimetik yapıları ve yüksek iç yüzey alanları sayesinde ilaç taşıma uygulamalarında geniş kullanım alanı bulmuştur (Woltman, Jay, & Crawford, 2007). Bu sistemler hem hidrofilik hem lipofilik ilaçları aynı anda taşıyabilmektedir. Hidrofilik ilaçlar su kanallarında çözünürken, lipofilik ilaçlar lipit çift katman içerisinde yerleşmektedir (Zabara & Mezzenga, 2014).

Sıvı kristal fazların benzersiz iç yapısı, farklı polaritelere sahip ilaçların etkili bir şekilde çözünmesini sağlamayı kolaylaştırır. Hidrofilik özellikler gösteren farmasötik bileşikler tipik olarak polar baş gruplarına yakın bir mesafede veya bir lipit çift katmanının sulu kanalı içinde sınırlandırılır. Tersine, lipofilik ilaçlar lipit katmanının içinde hapsedilirken, çift karakterli ilaçlar tercihen polar baş grupları ile lipit katmanı arasında yer alır. Çok sayıda çalışma, sıvı kristal fazlardan ilaçların salınımına ilişkin Higuchi difüzyon kinetiğini göstermiştir. Sıvı kristal fazlardan ilaç difüzyon kinetiği, kristallerin iç yapısal hizalanmasına bağlıdır. İlaç salımı, ilacın bölme katsayısı, moleküler kütlesi ve iç kristal yapısı dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. Lamel faz, hidrofobik çift katmanların varlığı yoluyla hidrofilik ve hidrofobik katmanların ayrılmasıyla karakterize edilir. Çeşitli fazlardan ilaç salımının sırası şu şekildedir: lamel faz en yüksek salım hızını gösterir, bunu kübik faz ve hekzagonal faz takip eder.

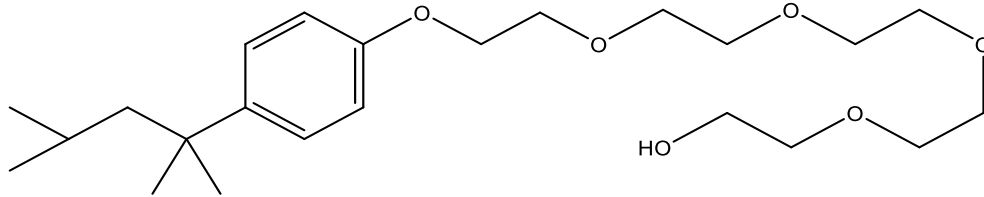
Yeni ilaç formülasyonlarının tanıtılmasındaki zorluk, ilaçların sınırlı membran geçirgenliğine ve düşük suda çözünürlüğüne bağlanmıştır. Oral uygulama yoluyla sıvı kristallerin kullanımı, bu engelin aşılmasını kolaylaştırmış ve söz konusu ilaçların biyoyararlanımını artırmıştır (Chavda et al., 2023).

### 1.1.1. pH Duyarlı Liyotropik Sıvı Kristal Sistemler

pH-duyarlı liyotropik sistemler özellikle **gastrointestinal sistemdeki farklı pH ortamlarında hedeflenmiş ve kontrollü ilaç salımı sağlama potansiyeline sahiptir.** Gastrointestinal sistem boyunca pH değerleri önemli ölçüde değişiklik göstermektedir; mide ortamı oldukça asidik olup pH değeri genellikle 1–3 aralığındayken, ince bağırsakta pH yaklaşık 6–7,5 aralığına yükselmekte, kolonda ise pH genellikle 6–7 civarında seyretmektedir. Bu nedenle pH-duyarlı sistemler, ilaç moleküllerinin gastrointestinal sistemin belirli bölgelerinde salımını sağlayarak biyoyararlanımı artırabilmekte ve sistemik yan etkilerin azaltılmasına katkıda bulunabilmektedir.

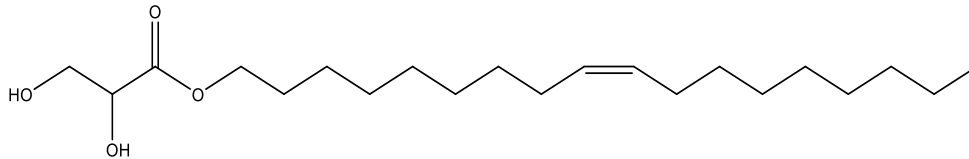
### 1.1.2. Kullanılan Kimyasalların Özellikleri

TX-100 [ $C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n$  ( $n=9-10$ )], alkil fenol etoksilat kategorisinin iyonik olmayan bir yüzey aktif maddesidir ve oldukça geniş bir sıcaklık aralığında temizleme, emülsiyonlaştırma ve ıslatma özelliklerinde mükemmel yüzey aktif madde performansına sahiptir ve kolayca biyolojik olarak parçalanabilir. TX-100, sekiz karbon dallı hidrofobik zincire, hidrofilik kısım olarak ~ 9–10 birim etilen oksite sahiptir. Proteinleri bağlama kabiliyeti nedeniyle, TX serisi yüzey aktif maddeler, aminoasitler, proteinler, nükleik asitler vb. gibi biyomoleküllerin ayrılmasında kullanılmıştır. En kapsamlı şekilde araştırılan non-iyonik yüzey aktif maddedir ve suda normal miseller ve organik sıvılar içinde ters miseller oluşturur (Dharaiya, Bahadur, Singh, Marangoni, & Bahadur, 2013) (Şekil 1).



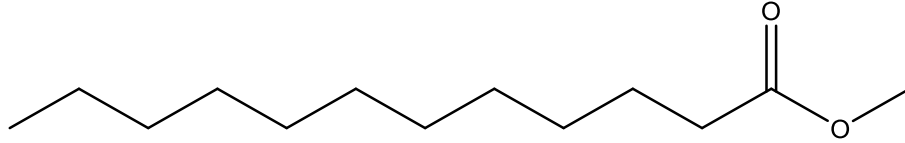
Şekil 1. TX-100 Yapısı

Oleil gliserat (OG) çift karakterli olması nedeniyle özellikle non-iyonik yüzey aktif madde sistemlerinde yardımcı yüzey aktif madde (co-surfactant) olarak işlev görebilir. OG gibi polar lipidler suda çözünmez; bununla birlikte, sulu bir ortamda sıklıkla ters kübik ve ters hekzagonal fazları oluştururlar. Bunlar, suyla temas ettiğinde serbest enerjiyi en aza indirecek şekilde yeniden yapılandırılır, böylece fazla su ile dengede dağılırlar (Kim et al., 2015b) (Şekil 2).



Şekil 2. OG Yapısı

MeL bir yağ asidi esteridir. MeL ile yapılan deneyler sırasında insan deneklerin cildinde herhangi bir tahriş edici etki tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, çok düşük seviyelerde göz tahrişine dair kanıtlar elde edilmiştir. Ayrıca, MeL' in %100-69'unun 30 günlük bir sürenin ardından aerobik olarak kolayca biyolojik olarak parçalandığı belirlenmiştir. MeL dahil ancak bununla sınırlı olmayan bazı yağ asidi metil esterlerinin kullanımı, çeşitli doğrudan ve dolaylı gıda katkı maddesi uygulamalarında uygulama alanı bulmuştur (Yıldırım & Göker, 2025) (Şekil 3).

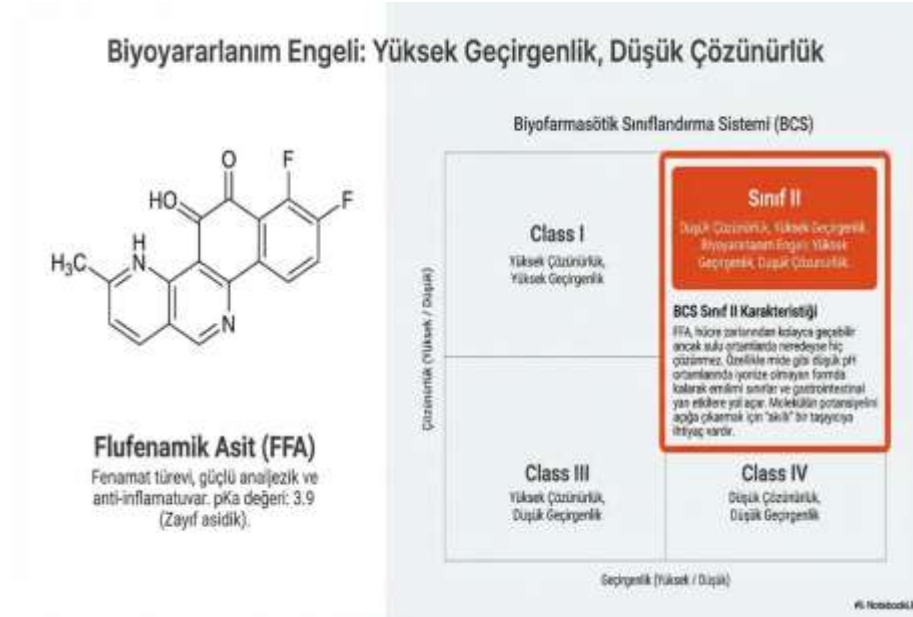


Şekil 3. MeL Yapısı

Flufenamik asit (FFA), mefenamik asit (MFA) ve tolfenamik asit (TFA) ile birlikte, 1960'larda geliştirilen fenamatlar sınıfına aittir. 1990'larda en çok reçete edilen steroid olmayan ilaçlar (NSAID) arasında yer alan fenamatların reçete oranı son yıllarda azalmış olsa da Asya ülkelerinde hala önemli düzeydedir (Cimolai, 2013).

Analjezik, antiinflamatuvar ve antipiretik özellikleri nedeniyle klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Flufenamik asit, kimyasal olarak 2-[(3-(trifluorometil)fenil) amino] benzoik asit yapısına sahip olup molekülünde bulunan karboksilik asit grubu nedeniyle zayıf asidik karakter göstermektedir. Bu bileşiğin pKa değeri yaklaşık 3,9–4,2 aralığında olup pH değişimlerine bağlı olarak iyonizasyon derecesi değişebilmektedir (Sweetman & Martindale, 2009).

FFA' nın önemli bir özelliği suda düşük çözünürlüğe sahip olmasıdır. Bu durum ilacın biyoyararlanımını sınırlayan temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Zayıf asidik karaktere sahip olan FFA, düşük pH değerlerinde çoğunlukla iyonize olmayan yapıda bulunurken, pH yükseldikçe iyonizasyon derecesi artmakta ve çözünürlüğü belirgin şekilde artmaktadır. Bu nedenle ilacın çözünürlüğü ve biyoyararlanımı büyük ölçüde ortam pH'ına bağlıdır. Bu özellik, FFA' nın pH-duyarlı ilaç taşıma sistemleri ile formüle edilmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır (Sinko, 2023) (Şekil 4).



Şekil 4. FFA Yapısı ve Sınıflandırılması

### 1.1.3. İlaç Salım Kinetik Modelleri

Taşıyıcı yapı içeren sistemlerde en yaygın kullanılan modellerden biri olan Higuchi modeli, ilacın yapı içerisinden difüzyon yoluyla salındığını ve salım miktarının zamanın karekökü ile orantılı olduğunu ifade etmektedir. Bu model, özellikle difüzyon kontrollü sistemlerin karakterizasyonunda temel bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Higuchi, 1963; Siepmann & Siepmann, 2008).

Bununla birlikte, gerçek farmasötik sistemler çoğunlukla ideal koşullardan sapma göstermekte olup, salım mekanizması yalnızca difüzyonla sınırlı kalmamaktadır. Bu nedenle, yarı deneysel bir model olan Korsmeyer–Peppas modeli geliştirilmiş ve özellikle polimerik ve kompleks sistemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu modelde yer alan  $n$  parametresi, salım mekanizmasının belirlenmesinde kritik bir rol oynamakta olup, farklı  $n$  değerleri farklı taşınım mekanizmalarını ifade etmektedir (Peppas & Sahlin, 1989; Ritger & Peppas, 1987).

İlaç salım kinetiğinin değerlendirilmesinde kullanılan matematiksel modeller arasında Weibull modeli, özellikle kompleks ve ideal olmayan salım profillerinin tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan ampirik bir yaklaşımdır. Weibull modeli, başlangıçta güvenilirlik mühendisliği ve istatistik alanlarında geliştirilmiş olup, daha sonra farmasötik sistemlerde çözünme ve salım davranışlarının modellenmesinde uygulanmaya başlanmıştır (Costa & Lobo, 2001). Model, farklı kinetik davranışları tek bir denklem ile açıklayabilmesi ve geniş bir salım profili yelpazesine uyum sağlayabilmesi nedeniyle özellikle heterojen ve çok mekanizmalı sistemlerde tercih edilmektedir.

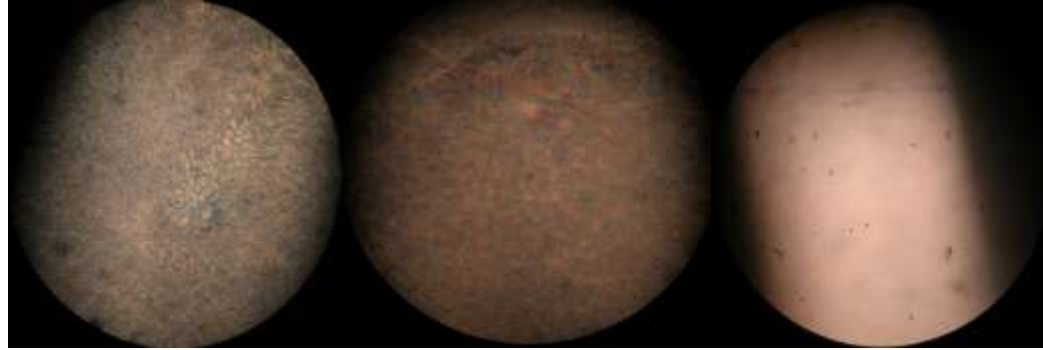


Şekil 5. Kinetik Modellerin Karşılaştırılması

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Sıvı Kristal Fazın Hazırlanması (AF)

TX-100/ MeL/ OG sıvı kristal sistemin yağ fazı olarak kütlece (%m/m x100) 55,80/ 14,15/ 2,34 tartılarak 350 rpm' de santrifüjlenip 50 °C su banyosunda ısıtılmıştır. Yağ fazı homojen hale getirildikten sonra kütlece %27,72 oranında saf su ilave edilip tekrar santrifüjlenip su banyosunda 37 °C' de sıvı kristal faz elde edilmiştir ve polarize optik mikroskop (POM) ile faz yapıları incelenmiştir. Sistemin hekzagonal faz olduğu belirlenmiştir (Şekil 6).

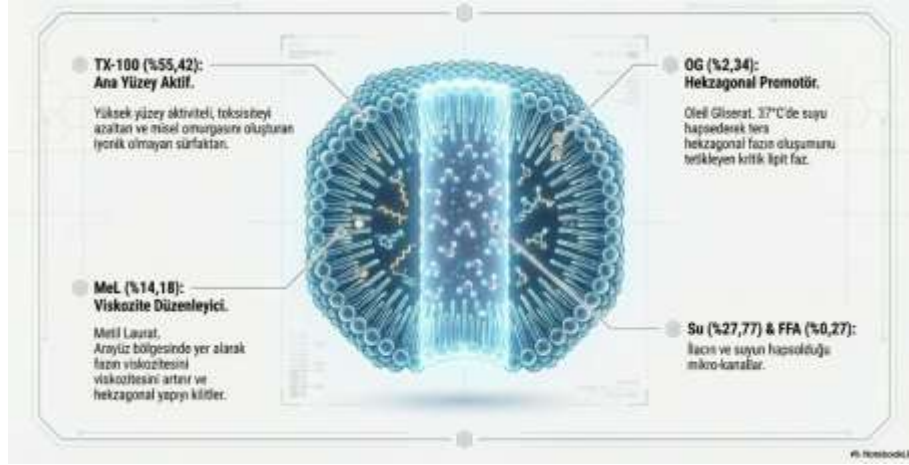


(a)

(b)

(c)

Şekil 6. AF' ın POM Görüntüleri



Şekil 7. AF' in Şematik Gösterimi

25 °C'de elde edilen fotoğrafta radyal yayılım gösteren rozet benzeri yapılar ve mozaik dağılım karakteri gözlenmiştir. 25 °C' de belirgin yelpaze tipi düzenlenme göstermesi ve paralel bant yapılarının bulunmaması dikkat çekicidir. Literatürde heksagonal fazın POM altında tipik olarak rozet, yıldızimsı veya fan benzeri yapılar verdiği; buna karşılık lamel fazın genellikle paralel bantlı yapılar oluşturduğu bildirilmektedir. Bu nedenle 25 °C' de gözlenen yapı heksagonal faz ile uyumludur.

37 °C' de elde edilen görüntüde sistemin daha geniş alanlı renk dağılımı sergilediği ve fazın nispeten daha homojen bir karakter kazandığı gözlenmiştir. Bununla birlikte lamel faza özgü belirgin paralel bant yapıları veya yağlı çizgi görünümü saptanmamıştır. Anizotropik renk oyunlarının devam etmesi, sistemin izotropik bir faza geçmediğini göstermektedir. Bu bulgular 37 °C' de de sistemin heksagonal faz karakterini koruduğunu, ancak sıcaklık artışına bağlı olarak faz düzeninde kısmi yeniden düzenlenme meydana gelebileceğini düşündürmektedir.

40 °C' de ise sistemin tamamen bozularak izotrop faza geçtiği görülmektedir.

## 2.2. FFA İçeren Sıvı Kristal Fazın Hazırlanması (AF-FFA)

TX-100/ MeL/ OG/ FFA kütlece %55,42/ 14,18/ 2,34/ 0,27 tartılarak 350 rpm' de santrifüjlenip 50 °C su banyosunda ısıtılmıştır. Yağ fazı içerisinde FFA çözüldükten sonra kütlece %27,77 oranında saf su ilave edilip tekrar santrifüjlenip su banyosunda 37 °C' de sıvı kristal faz elde edilmiştir (Şekil 8).





Şekil 8. Faz Oluşum Şeması

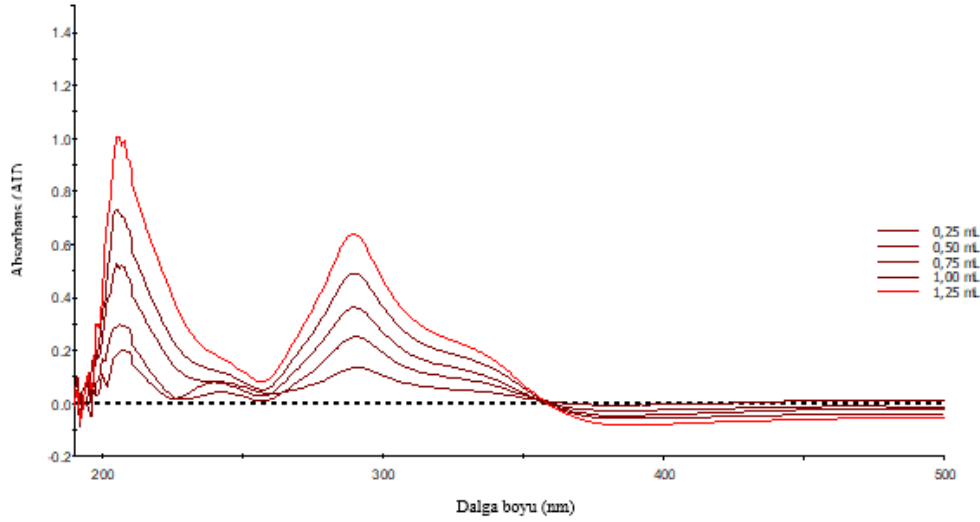
### 2.3. pH 6,8 Fosfat Tampon Çözeltilisinin Hazırlanması

8,5000 g NaCl, 2,0000 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> ve 1,0000 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> tuzları tartıldıktan sonra balon jojeye alındı. Ardından 800 mL saf suda çözüldü. pH değeri 0,1 M NaOH veya 0,1 M HCl ile ince bağırsak pH' ı olan pH 6,8' e ayarlandı. pH değeri ayarlanan çözelti saf su ile 1L'ye tamamlandı. Hazırlanan tampon çözelti kapalı şişede karanlık ortamda bekletildi.

### 2.4. pH 6,8 Fosfat Tampon Çözeltisi İçinde FFA' nın Molar Absorbsiyon Katsayısının Hesaplanması

FFA çözeltisinin molar absorbsiyon katsayısını (ε) belirlemek amacıyla, pH 6,8 fosfat tamponu içerisinde farklı derişimlerde FFA çözeltileri hazırlanmıştır. Çözeltiler sırasıyla 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 ve 1,25 mM olacak şekilde ayarlanmış ve her bir çözeltinin absorbansı UV-GB spektrofotometre kullanılarak 37 °C'de belirlenen λ<sub>max</sub> değerinde ölçülmüştür. Lambert-Beer yasasına göre molar absorbsiyon katsayısı (ε) hesaplanmıştır. Elde edilen değerler, FFA'nın pH 6,8 tamponu içindeki ışık absorbsiyon karakteristiklerini ve çözeltinin nicel analizini değerlendirmede referans olarak kullanılmıştır.

Kalibrasyon çözeltilerini hazırlamak için ilk aşamada FFA stok çözeltisi hazırlandı. FFA suda çok az etanolde ise iyi çözüldüğü için çözücü olarak 95 mL pH 6,8 fosfat tampon/ 5 mL etanol karışımı hazırlandı. Bu karışım hem seyreltme çözeltisi hem de UV-GB spektrometresinde kör çözeltisi olarak kullanıldı. FFA stok için 0,010 g FFA tartılıp 100 mL tampon/etanol karışımında çözüldü. Bu çözeltinin derişimi 3,55x10<sup>-4</sup> M olarak hesaplandı. Daha sonra hazırlanan stok çözeltiden 0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25 'er mL alınarak tampon/ etanol karışımı ile 10 mL' ye tamamlandı.



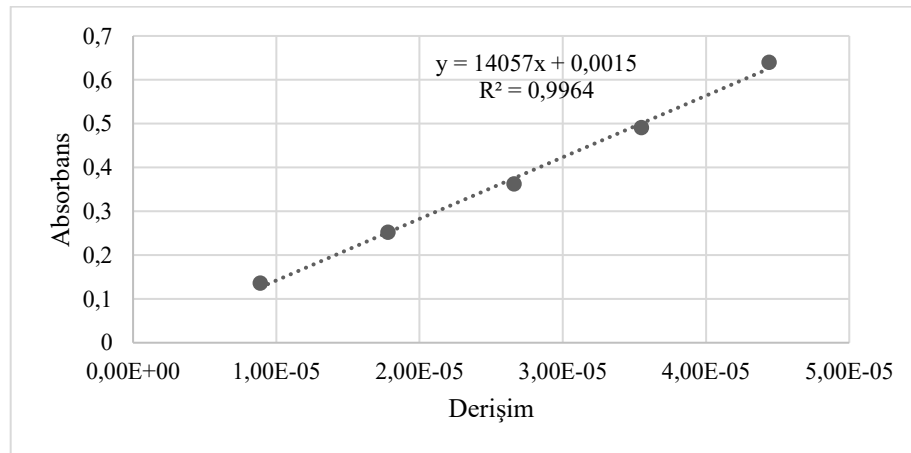
Şekil 9. pH 6,8 fosfat tampon çözelti için kalibrasyon spektrumları

Artan numune hacmiyle (0,25 mL'den 1,25 mL'ye) absorbansın doğrusal olarak artması, pH 6,8 ortamında da Beer-Lambert yasasına tam uyum sağlandığını kanıtlamaktadır. 1,25 mL seviyesinde 288 nm'deki absorbans değeri yaklaşık 0,6-0,7 AU seviyelerindedir.

360 nm sonrasındaki bölgede gözlemlenen hafif negatif sapmalar, kör (blank) çözeltisi ile numune arasındaki indis farklarından veya cihazın dedektör hassasiyetinden kaynaklanabilecek minimal gürültüler olarak değerlendirilmiş olup, ana analitik piklerin formunu bozmadığı saptanmıştır.

Spektrumun temizliği ve piklerin tekrarlanabilirliği, pH 6,8 ortamının da (bağırsak benzeri veya farklı salım ortamları için) FFA miktar tayininde güvenilir bir sistem olduğunu doğrulamaktadır.

UV-GB spektrumlarında elde edilen absorbans değerlerine göre çizilen grafik (Şekil 10);



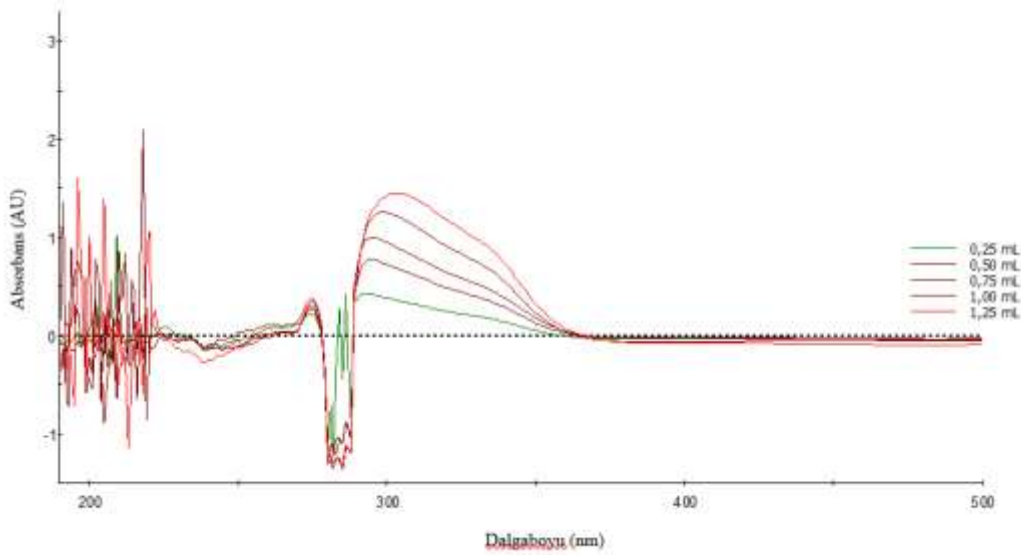
Şekil 10. pH 6,8 için  $\epsilon$  değeri hesaplama grafiği

pH 6,8 fosfat tampon çözeltisinde FFA' nın farklı derişimlerde hazırlanan çözeltilerinin UV-GB spektrofotometrik absorbans değeri kullanarak bir kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Elde edilen doğrusal regresyon denklemi  $y = 14057x + 0,0015$  olarak belirlenmiştir. Bu denklemde y absorbans değerini, x ise çözeltinin molar derişimini ifade etmektedir. Molar absorbsiyon katsayısı grafiğın eğiminde  $14057 \text{ L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$  olarak bulunmuştur.

Kalibrasyon doğrusuna ait determinasyon katsayısı  $R^2 = 0,9964$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerin 1'e oldukça yakın olması, absorbans ile derişim arasında güçlü bir doğrusal ilişki bulunduğunu ve seçilen derişim aralığında ölçümlerin Beer–Lambert yasasına uygunluk gösterdiğini ortaya koymaktadır.

## 2.5. AF/ Etanol Karışımı İçinde Molar Absorbsiyon Katsayısının Hesaplanması

Kalibrasyon çözeltilerini hazırlamak için ilk aşamada FFA stok çözeltisi hazırlandı. 0,010 g FFA 100 mL etanol içinde çözüldü. Daha önce verilen oranlarda, FFA içermeyen sıvı kristal sistemden 1 mL alınarak etanol ile 50 mL' ye tamamlandı. Bu karışım hem seyreltme çözeltisi hem de UV-GB spektrometresinde kör çözeltisi olarak kullanıldı. Bu çözeltinin derişimi  $3,55 \times 10^{-3} \text{ M}$  olarak hesaplandı. Daha sonra hazırlanan stok çözeltiden 0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25 'er mL alınarak sıvı kristal/ etanol karışımı ile 10 mL' ye tamamlandı.

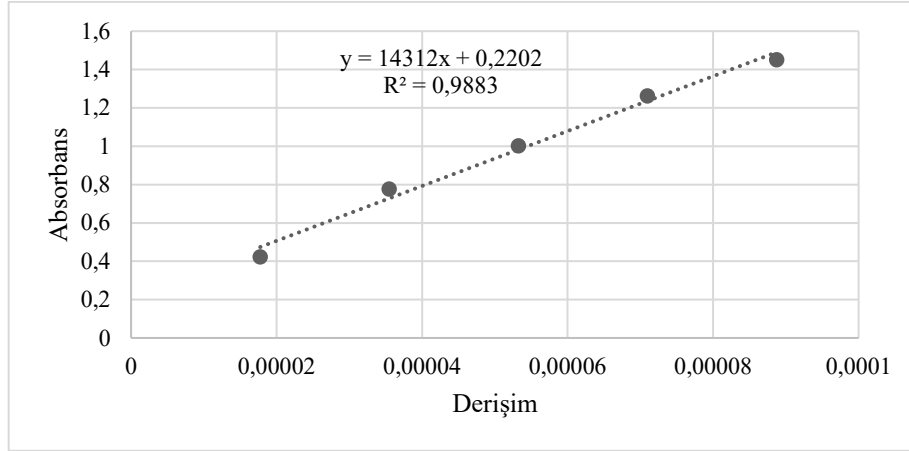


Şekil 11. AF/ Etanol sisteminin kalibrasyon spektrumları

TX-100, MeL, OG ve sudan oluşan liyotropik sıvı kristal sistem içerisinde hazırlanan flufenamik asit kalibrasyon çözeltilerinin UV-GB spektrumları 200–500 nm aralığında incelenmiştir. Spektrumlarda yaklaşık 300–310 nm aralığında karakteristik bir absorbsiyon bandı gözlenmiş ve absorbans değeri artan derişim ile doğrusal şekilde arttığı belirlenmiştir. Bu durum sistemin Beer–Lambert yasasına uygun davrandığını göstermektedir. Düşük dalga boylarında (200–230 nm) gözlenen dalgalanmalar yüzey aktif maddeler ve çözücü

kaynaklı gürültüye bağlanmıştır. Kantitatif analiz için en uygun dalga boyu yaklaşık 300–307 nm olarak belirlenmiştir.

UV-GB spektrumlarında elde edilen absorbans değerlerine göre çizilen grafik (Şekil 12);



Şekil 12. AF/ Etanol karışımı için  $\epsilon$  değeri hesaplama grafiği

FFA'nın sıvı kristal/ etanol sistemindeki absorbans değerleri farklı molar derişimlerde ölçülmüş ve absorbans- derişim ilişkisi grafikleştirilmiştir. Elde edilen lineer regresyon denklemi  $y = 14312x + 0,2202$  ve  $R^2 = 0,9883$  değerinden, Lambert-Beer yasasının bu derişim aralığında geçerli olduğu ve ölçümlerin güvenilir olduğu anlaşılmaktadır. Eğim değeri  $14312 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  olarak bulunmuş ve bu değer FFA'nın sıvı kristal/ etanol sistemindeki molar absorbsiyon katsayısı olarak alınmıştır.

## 2.6. İlaç Salım Çalışmaları

### 2.6.1. Silikon Membran Diyaliz Tüpünün Hazırlanması

İlaç salım deneylerinde kullanılan diyaliz membranı, üretici firma olan Repligen tarafından önerilen prosedüre uygun olarak deney öncesinde hazırlandı. Membran, saklama çözeltisinden (sodyum azid) çıkarıldıktan sonra yüzeyindeki koruyucu maddelerin uzaklaştırılması amacıyla deiyonize su ile birkaç kez yıkandı. Ardından membran yaklaşık 30 dakika boyunca deiyonize su içerisinde bekletilerek hidratasyonu sağlanmıştır. Bu işlem membranın esnekliğini artırmak ve gözeneklerin tamamen açılmasını sağlamak amacıyla uygulanmıştır. Daha sonra membranın bir ucu kapatılarak numune membran içerisine yerleştirilmiş ve diğer ucu kapatıldıktan sonra salım deneylerinde kullanılmıştır. 100 mL tampon çözelti için 1 mL numune kullanıldı (Repligen, 2020).

### 2.6.2. pH 6,8 Fosfat Tampon Çözelti İçinde FFA Salımı

İlaç salım sisteminde kullanılacak olan membranın tüm temizlik aşamaları tamamlandıktan sonra membranın bir ucu düğümlenmiştir. Yukarıda belirtilen bileşimde hazırlanan sıvı kristal sistem son kez santrifüjlenerek şırınga yardımıyla 0,5 mL alınarak membrana yerleştirilmiştir. Ardından membran hava

boşluğu kalmayacak şekilde kapatıldıktan sonra, hızla deiyonize sudan geçirilerek 50 mL, 37° C 'de pH 6,8 fosfat tampon çözelti içine bırakılmıştır. İlk 1 saat boyunca 15' er dakika arayla sonrasında ise 30 dakika arayla toplam 12 saat UV-GB spektrometresinde ölçüm yapılmıştır.

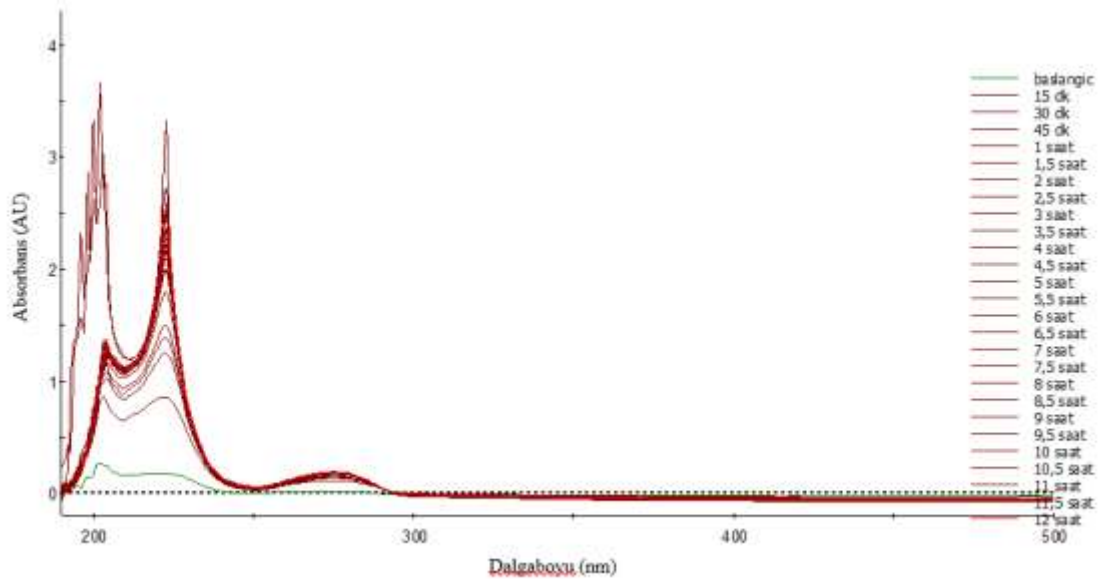
12 saatlik salım deneyinin sonunda membran içerisinde kalan FFA miktarının belirlenmesi amacıyla, pH 6,8 ortamında bulunan membran dikkatlice alınarak 50 mL etanol içeren bir kaba aktarılmıştır. Bu işlem ile membran yapısının bozulması ve membran içerisinde tutulan ilacın çözücü ortama tamamen geçmesi amaçlanmıştır. Elde edilen karışım homojen hale getirildikten sonra, AF/etanol karışımı kör olarak kullanılarak UV-GB spektrometresinde spektrumu kaydedilmiştir.

Spektral ölçüm sonucunda elde edilen absorbans değeri kullanılarak, daha önce AF/etanol karışımı için belirlenen molar absorpsiyon katsayısı ( $\epsilon$ ) değerinden yararlanılmış ve Beer–Lambert yasasına göre membran içerisinde kalan FFA miktarı hesaplanmıştır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1 pH 6,8 Fosfat Tampon Çözelti İçinde FFA Salımı

pH 6,8 fosfat tampon çözelti içinde FFA' nın 12 saatlik UV-GB ölçüm spektrumları Şekil 13' de verilmiştir.



Şekil 13. pH 6,8 fosfat tampon çözelti içinde 12 saatlik salım sonuçları

pH 6,8 fosfat tampon ortamında gerçekleştirilen FFA salım deneyine ait UV-GB spektrumları incelendiğinde, zamanla absorbans değerlerinde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Bu durum, membran aracılığıyla ortama geçen FFA miktarının zamanla arttığını ve ilacın kontrollü bir şekilde salındığını göstermektedir.

Spektrumlarda özellikle 200–230 nm bölgesinde ve yaklaşık 240–250 nm civarında belirgin absorbands bantları gözlenmektedir. FFA aromatik halkalar içeren bir bileşik olduğundan, bu bölgelerde gözlenen absorbandslar molekülün  $\pi \rightarrow \pi^*$  elektronik geçişlerinden kaynaklanmaktadır. Deneyin başlangıcında absorbands değerlerinin oldukça düşük olması, ortamda başlangıçta çözünmüş FFA miktarının sınırlı olduğunu göstermektedir. Zaman ilerledikçe (15 d'dan 12 saate kadar) spektrumların aynı dalga boyu bölgelerinde giderek yükselmesi, membrandan geçen olan FFA derişiminin artışına bağlı olarak absorbandsın arttığını ortaya koymaktadır. Bu durum Beer–Lambert yasası ile uyumludur; yani çözeltideki FFA derişimi arttıkça absorbands değeri de artmaktadır.

Zaman serisi spektrumları karşılaştırıldığında, özellikle ilk birkaç saat içerisinde absorbands artışının daha hızlı olduğu, ilerleyen saatlerde ise artış hızının nispeten yavaşladığı gözlenmektedir. Bu durum genellikle kontrollü salım sistemlerinde görülen başlangıçtaki hızlı difüzyon ardından daha dengeli bir salım kinetiği ile açıklanabilir. Başlangıçta membrana veya sistem yüzeyine yakın bulunan FFA molekülleri daha hızlı ortama geçerken, ilerleyen zamanlarda sistemin iç kısımlarındaki moleküllerin difüzyonu daha yavaş gerçekleşmektedir.

Spektrumların şeklinin zaman boyunca büyük ölçüde benzer kalması ve maksimum absorbands dalga boyunda önemli bir kayma gözlenmemesi, deney süresince FFA molekülünün kimyasal yapısında veya iyonizasyon durumunda belirgin bir değişiklik olmadığını düşündürmektedir. Bu durum ayrıca analiz sırasında bozunma ürünlerinin oluşmadığını ve ölçümlerin spesifik olarak FFA'ya ait olduğunu da desteklemektedir.

pH 6,8 fosfat tampon çözeltisi, fizyolojik olarak ince bağırsak ortamını temsil eden bir pH değeri olduğundan, elde edilen bu sonuçlar FFA'nın bu pH koşullarında çözünürlüğünün arttığını ve difüzyonunun gerçekleşebildiğini göstermektedir. Zamanla artan absorbands değerleri, ilacın membran boyunca difüzyonla ortama geçtiğini ve 12 saatlik süre boyunca sürekli bir salım profilinin oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, geliştirilen sistemin fizyolojik pH koşullarında etkin bir ilaç salım sistemi olabileceğini desteklemektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Salım deneyi sonucu değerlendirmesi

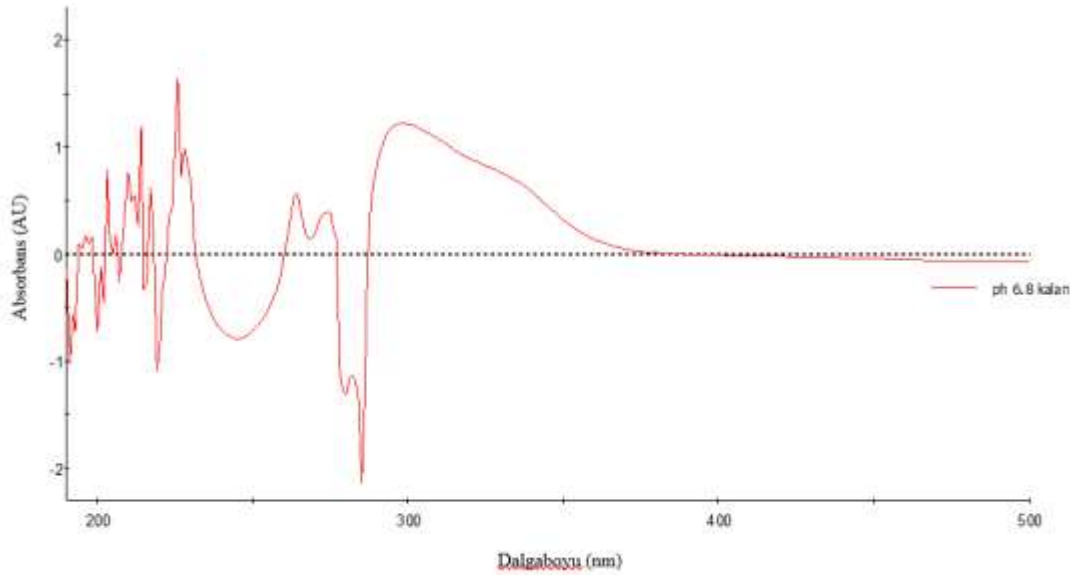
| Süre aralığı   | Geçen miktar farkı (g) | Yorum                      |
|----------------|------------------------|----------------------------|
| 2,5 – 3 saat   | $6,0 \times 10^{-7}$   | Çok düşük                  |
| 3 – 3,5 saat   | $3,0 \times 10^{-7}$   | Çok düşük                  |
| 3,5 – 6,5 saat | $4,0 \times 10^{-7}$   | İhmal edilebilir           |
| 6,5 – 12 saat  | $\approx 0$            | Geçiş yok kabul edilebilir |

12 saatlik salım deneyi sonucunda membrandan pH 6,8 tampon çözelti içine geçen miktar  $1,94 \times 10^{-4}$  g olarak hesaplanmıştır.



12 saatlik salım deneyinin sonunda membran içerisinde kalan FFA miktarının belirlenmesi amacıyla, pH 6,8 ortamında bulunan membran dikkatlice alınarak 50 mL etanol içeren bir kaba aktarılmıştır. Bu işlem ile membran yapısının bozulması ve membran içerisinde tutulan ilacın çözücü ortama tamamen geçmesi amaçlanmıştır. Elde edilen karışım homojen hale getirildikten sonra, AF/etanol karışımı kör olarak kullanılarak UV-GB spektrometresinde spektrumu kaydedilmiştir.

Spektral ölçüm sonucunda elde edilen absorbans değeri kullanılarak, daha önce AF/etanol karışımı için belirlenen molar absorbsiyon katsayısı ( $\epsilon$ ) değerinden yararlanılmış ve Beer–Lambert yasasına göre membran içerisinde kalan FFA miktarı hesaplanmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. pH 6,8 için membranda kalan miktar ölçümü spektrumu

Daha önce ölçülen FFA'nın maksimum absorbansı genellikle 285–310 nm aralığında gözlenmişti. Bu nedenle elde edilen spektral sonuçlar, 300 nm üzerindeki bölgede absorbans değerlerinin giderek azalması ve yaklaşık 380 nm'den sonra spektrumun baz çizgisine yaklaşması, çözeltide FFA dışında güçlü kromofor içeren başka bir bileşiğin bulunmadığını göstermektedir. Bu durum özütleme işlemi sonrasında elde edilen çözeltinin büyük ölçüde hedef molekülü içerdiğini ve belirgin bir bozunma ürünü oluşmadığını düşündürmektedir.

Sonuç olarak elde edilen UV-GB spektrumu, salım deneyinin ardından silikon membran içerisinde kalan FFA'nın etanol ortamına özütlenerek başarılı bir şekilde tayin edilebildiğini göstermektedir. Yaklaşık 300–310 nm civarında gözlenen karakteristik absorbans maksimumu, membranda kalan ilaç miktarının Beer–Lambert yasası kullanılarak kantitatif olarak hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

Salım deneyinin tamamlanmasının ardından sistemde bulunan toplam FFA miktarının belirlenmesi amacıyla kütle dengesi analizi yapılmıştır. Deney sonunda membran içerisinde kalan FFA miktarının

belirlenmesi için gerçekleştirilen UV-GB spektrometrik ölçümünde absorbans değeri 1,2177 olarak ölçülmüştür. Bu sistem için daha önce belirlenen molar absorpsiyon katsayısı ( $\epsilon = 14312 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) kullanılarak Beer–Lambert yasasına göre yapılan hesaplamalar sonucunda membran içerisinde kalan FFA miktarı  $1,20 \times 10^{-3} \text{ g}$  olarak hesaplanmıştır.

Salım deneyinin 12 saatlik süresi sonunda alıcı fazda biriken toplam FFA miktarı  $1,94 \times 10^{-4} \text{ g}$  olarak belirlenmiştir. Deney başlangıcında kullanılan AF fazı içerisinde toplam 0,0198 g FFA bulunduğu ve bu miktarın 7,11 mL AF içerisinde çözündüğü bilinmektedir. Buna göre 0,5 mL AF fazında bulunan FFA miktarı 0,0014 g olarak hesaplanmıştır. Bu değer dikkate alındığında, teorik olarak membrandan geçmesi beklenen FFA miktarı  $1,98 \times 10^{-4} \text{ g}$  olarak bulunmuştur.

Deneysel olarak belirlenen salım miktarı ( $1,94 \times 10^{-4} \text{ g}$ ) ile teorik olarak hesaplanan değer ( $1,98 \times 10^{-4} \text{ g}$ ) karşılaştırıldığında, iki değer arasında oldukça düşük bir fark olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan yaklaşık %2’lik sapma, yöntemin yüksek doğruluk ve güvenilirlikte olduğunu göstermektedir. Bu düzeydeki sapma, spektrofotometrik ölçümlerde ve difüzyon deneylerinde beklenen sınırlar içerisinde olup, pipetleme hataları, cihaz hassasiyeti ve membran içerisinde ilacın kısmen tutulması gibi faktörlerle açıklanabilir. Elde edilen bu sonuçlar, kullanılan yöntemin flufenamik asidin kantitatif tayini için uygun ve güvenilir olduğunu desteklemektedir.

### 3.2 pH 6,8 Fosfat Tampon Çözelti İçinde FFA Salımı Kinetik Hesaplamaları

#### • Higuchi Modeli

Literatürde, Higuchi modelinin uygulanabilirliğinin genellikle toplam salımın %60’ına kadar olan bölge ile sınırlı olduğu ve bu aralığın difüzyon kontrollü davranışı en doğru şekilde temsil ettiği bildirilmektedir (Siepmann & Siepmann, 2008). Bu sınırın aşılması durumunda sistemde sapmalar meydana gelmekte ve salım mekanizması yalnızca difüzyon ile açıklanamaz hale gelmektedir. Bu nedenle, kinetik analizlerde tüm veri seti yerine yalnızca başlangıçtaki doğrusal bölgenin kullanılması önerilmektedir. Burada  $k_H$  ( $\text{g/ s}^{1/2}$ ) Higuchi sabitidir.  $Q_t$  (g) salınan ilaç miktarı,  $t$  (saat) ise zamandır.

Bu çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde, salımın özellikle ilk 15 d da hızlı bir artış gösterdiği ve ilerleyen zamanlarda dengeye ulaştığı görülmektedir. Bu durum, Higuchi modelinin yalnızca başlangıç aşamasında geçerli olduğunu desteklemektedir. Bu nedenle model uygulamasında, literatürde önerildiği şekilde toplam salımın %60’ına kadar olan veri aralığı dikkate alınmış ve analiz bu doğrusal bölge üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, sistemin difüzyon kontrollü salım mekanizmasının daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. 12 saat sonunda toplam geçen miktar spektrum sonuçlarından  $1,94 \times 10^{-4} \text{ g}$  bulundu. Bu miktarın %60 ‘ı  $1,16 \times 10^{-4}$  dır. Bu miktara en yakın miktar 15 d sonunda geçmiştir. Bu sebeple hesaplama için 0-15 d arası kullanıldı.

$$Q_t = k_H \times \sqrt{t}$$

$$k_H = \frac{Q_2 - Q_1}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}}$$

İlk 15 d da ki veriler denkleme yerleştirildiğinde;

$$k_H = \frac{(1,18 \times 10^{-4}) - (1,91 \times 10^{-4})}{\sqrt{0,25} - \sqrt{0}} = 1,98 \times 10^{-4} \text{ g/s}^{1/2}$$

$k_H$  değeri  $1,98 \times 10^{-4} \text{ g/s}^{1/2}$  bulunmuştur. Elde edilen Higuchi sabiti değeri, sistemde başlangıç aşamasında hızlı bir difüzyon gerçekleştiğini göstermektedir. Bu durum, ilacın taşıyıcı yapıdan kısa difüzyon yolu ile hızlı şekilde alıcı faza geçtiğini ve sistemin başlangıçta difüzyon kontrollü bir salım mekanizması sergilediğini ortaya koymaktadır.

- **Korsmeyer- Peppas Modeli**

Korsmeyer–Peppas modeli, ilaç salım mekanizmasının belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan yarı deneysel bir model olup, yalnızca salımın başlangıç aşamasında ve genellikle toplam salımın %60'ına kadar olan veri aralığında geçerlidir (Ritger & Peppas, 1987; Peppas & Sahlin, 1989). Bu çalışmada pH 6,8 ortamında elde edilen salım verileri incelendiğinde, sistemin ilk 15 dakika içerisinde toplam salımın yaklaşık %60'ına ulaştığı belirlenmiştir. Bu durum, sistemde oldukça hızlı bir başlangıç salımı gerçekleştiğini göstermektedir.

Burada  $M_t/M_\infty$  belirli zamanda salınan ilaç miktarı,  $n$ : salım mekanizmasını belirleyen difüzyon üssü,  $n$  değeri ise salım mekanizmasının belirlenmesinde kritik bir rol oynamakta olup,  $n = 0,5$  değeri Fick tipi difüzyon kontrollü salımı,  $0,5 < n < 1$  aralığı anomal (difüzyon ve yapı etkilerinin birlikte olduğu) taşınımı,  $n = 1$  değeri ise sıfırıncı derece salımı ifade etmektedir.

Modelin uygulanabilir veri aralığının bu kadar kısa olması nedeniyle, logaritmik dönüşüm için yeterli veri noktası elde edilememiştir. Özellikle başlangıç noktasının sıfıra çok yakın olması ve yalnızca iki veri noktasının kullanılabilmesi, eğim ( $n$  değeri) hesaplamasının matematiksel olarak güvenilirliğini ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle Korsmeyer–Peppas modeline göre  $n$  değerinin sayısal olarak belirlenmesi mümkün olmamıştır.

Bununla birlikte, elde edilen salım profili incelendiğinde sistemin başlangıçta hızlı bir salım gösterdiği ve zamanla bu hızın azalarak dengeye ulaştığı görülmektedir. Bu davranış, yalnızca Fick tipi difüzyon ile açıklanamayacak olup, taşıyıcı yapı içerisindeki tutulma etkisi ve membran bariyerinin birlikte rol oynadığı daha kompleks bir mekanizmaya işaret etmektedir. Literatürde bu tür davranışlar anomal taşınım olarak tanımlanmakta olup, difüzyon ve yapısal etkilerin birlikte gerçekleştiği sistemlerde gözlenmektedir (Siepmann & Siepmann, 2008).

Bu nedenle, her ne kadar  $n$  değeri sayısal olarak hesaplanamamış olsa da salım profilinin genel davranışı dikkate alındığında sistemin anomal difüzyon mekanizması ile çalıştığı sonucuna varılmıştır. Bu yaklaşım, literatürde veri aralığının yetersiz olduğu durumlarda önerilen yorum temelli değerlendirme ile uyumludur.

$$\frac{M_t}{M_\infty} = kt^n$$

$$\log\left(\frac{M_t}{M_\infty}\right) = \log k + n \log t$$

Korsmeyer–Peppas modeli kapsamında yapılan hesaplamalarda, modelin geçerlilik aralığında yeterli veri noktası bulunmaması nedeniyle  $n$  değeri güvenilir şekilde hesaplanamamıştır. Korsmeyer–Peppas modeli kapsamında yapılan hesaplamalarda  $n$  değerinin negatif çıktığı görülmüştür. Ancak bu durum modelin temel varsayımları ile uyumlu değildir. Negatif  $n$  değeri, salımın zamanla azalması anlamına geleceğinden fiziksel olarak anlamlı değildir. Bununla birlikte salım profilinin hızlı başlangıç ve ardından yavaşlayan bir seyir izlemesi, sistemin anomal taşınım mekanizması sergilediğini göstermektedir. Hızlı başlangıç salımı nedeniyle modelin uygulanabilir veri aralığı daralmış ve sayısal hesaplama yerine mekanizma yorumu tercih edilmiştir. Bu durum, sistemin hızlı başlangıç salımı gösteren ve birden fazla mekanizmanın etkisi altında çalışan kompleks bir salım sistemi olduğunu ortaya koymaktadır.

- **Weibull Modeli**

Burada  $F$ , belirli bir zamanda salınan ilaç miktarını ( $M_t/M_\infty$ ),  $a$  zaman ölçeği parametresini ve  $b$  ise eğrinin şeklini belirleyen boyutsuz parametreyi ifade etmektedir.

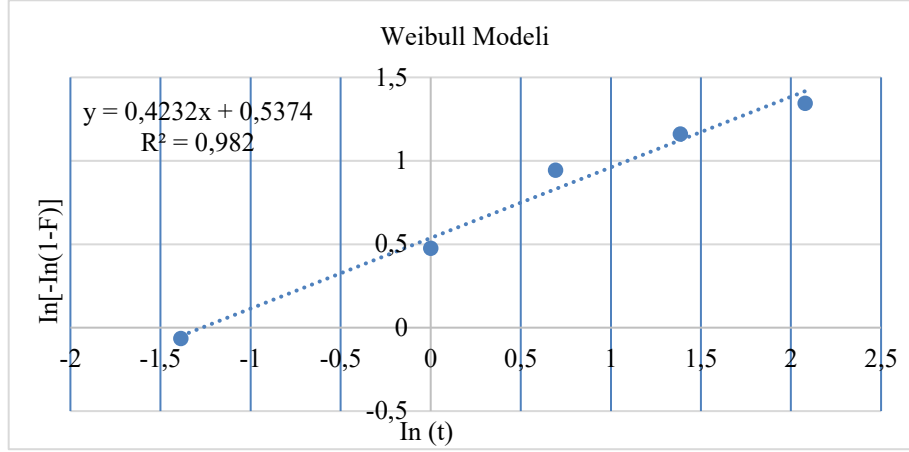
$$F = 1 - e^{-(t/a)^b}$$

$$c = -bx \ln(a)$$

Tablo 2. pH 6,8 için Weibull modeli uygulaması veri tablosu

| t (saat) | Mt                    | F=Mt/M <sub>∞</sub> | ln(t)  | ln[-ln(1-F)] |
|----------|-----------------------|---------------------|--------|--------------|
| 0.25     | 1,18x10 <sup>-4</sup> | 0,608               | -1,386 | -0,065       |
| 1        | 1,58x10 <sup>-4</sup> | 0,814               | 0      | 0,476        |
| 2        | 1,79x10 <sup>-4</sup> | 0,923               | 0,693  | 0,944        |
| 4        | 1,83x10 <sup>-4</sup> | 0,943               | 1,386  | 1,160        |
| 8        | 1,86x10 <sup>-4</sup> | 0,959               | 2,079  | 1,345        |

Bu verilere göre çizilen grafik (Şekil 34);



Şekil 15. pH 6,8 için Weibull modeli grafiği

Weibull modeli kapsamında yapılan analiz sonucunda, şekil parametresi (b) 0,4232 olarak hesaplanmıştır. Bu değerin 1'den küçük olması, sistemin hızlı başlangıç salımı ve ardından yavaşlayan bir kinetik profil sergilediğini göstermektedir. Zaman parametresi (a) ise 0,28 saat olarak bulunmuş olup, bu durum ilacın büyük bir kısmının kısa sürede salındığını ortaya koymaktadır. Ayrıca elde edilen yüksek determinasyon katsayısı ( $R^2 = 0,982$ ), Weibull modelinin deneysel verileri başarıyla temsil ettiğini göstermektedir.

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, flufenamik asidin (FFA) pH-duyarlı liyotropik sıvı kristal sistem içerisinde pH 6,8 fosfat tampon çözeltisine salım davranışı hem deneysel hem de kinetik modeller yardımıyla kapsamlı olarak incelenmiştir.

Polarize optik mikroskop (POM) analizleri sonucunda, hazırlanan sistemin 25 °C ve 37 °C'de hekzagonal faz karakteri sergilediği, 40 °C'de ise izotrop faza geçtiği belirlenmiştir. Hekzagonal fazın korunması, sistemin düzenli ve difüzyon kontrollü bir yapı sunduğunu göstermektedir. Bu durum, literatürde hekzagonal fazların lamel faza kıyasla daha yavaş ve kontrollü salım sağladığı bilgisi ile uyumludur.

pH 6,8 fosfat tampon ortamında gerçekleştirilen UV-GB analizleri sonucunda, FFA için molar absorpsiyon katsayısı  $14057 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  olarak hesaplanmış ve kalibrasyon eğrisinin determinasyon katsayısı  $R^2 = 0,9964$  bulunmuştur. Bu yüksek doğrusal ilişki, ölçümlerin Beer–Lambert yasasına uygun olduğunu ve kantitatif analizlerin güvenilirliğini doğrulamaktadır.

Salım verilerinin kinetik modellere uygulanması sonucunda, sistemin davranışı farklı modeller açısından değerlendirilmiştir. Higuchi modeli ile elde edilen yüksek korelasyon, salım mekanizmasının büyük ölçüde difüzyon kontrollü olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, Korsmeyer–Peppas modelinde elde edilen n değeri, difüzyonun yalnızca Fick yasalarına bağlı olmadığını, aynı zamanda yapısal yeniden düzenlenme ve

ortamın gevşemesi gibi ek süreçlerin de bu duruma katkı sağladığını göstermektedir. Bu durum, liyotropik sıvı kristal sistemlerin kompleks ve çok mekanizmalı yapısı ile uyumludur.

Weibull modelinin salım verilerine iyi uyum sağlaması ise sistemin ideal olmayan, heterojen ve çok aşamalı bir salım profiline sahip olduğunu göstermektedir. Bu modelin özellikle kompleks sistemlerde başarılı sonuç vermesi, elde edilen verilerin yorumlanmasını desteklemektedir.

FFA'nın zayıf asidik karakteri göz önüne alındığında, pH 6,8 ortamında iyonizasyon derecesinin artması ile çözünürlüğünün yükseldiği ve bunun salım miktarını artırıcı yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu bulgu, ilacın gastrointestinal sistemde özellikle ince bağırsak bölgesinde daha etkin salınabileceğini göstermektedir.

Elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, geliştirilen liyotropik sıvı kristal sistemin:

Difüzyon kontrollü ancak çok mekanizmalı bir salım davranışı sergilediği, pH'ya duyarlı bir yapı gösterdiği, kontrollü ve uzatılmış ilaç salımı sağladığı, düşük çözünürlüklü ilaçların biyoyararlanımını artırma potansiyeline sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu doğrultuda, geliştirilen sistemin özellikle oral ilaç taşıyıcı sistemlerde, hedeflenmiş ve kontrollü salım uygulamaları için umut verici bir platform olduğu değerlendirilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Chavda, V. P., Dyawanapelly, S., Dawre, S., Ferreira-Faria, I., Bezbaruah, R., Gogoi, N. R., . . . Vora, L. K. (2023). Lyotropic liquid crystalline phases: drug delivery and biomedical applications. *International Journal of Pharmaceutics*, 647, 123546.
- Cimolai, N. (2013). The potential and promise of mefenamic acid. *Expert review of clinical pharmacology*, 6(3), 289-305.
- Costa, P., & Lobo, J. M. S. (2001). Modeling and comparison of dissolution profiles. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13(2), 123-133.
- Dharaiya, N., Bahadur, P., Singh, K., Marangoni, D. G., & Bahadur, P. (2013). Light scattering and NMR studies of Triton X-100 micelles in the presence of short chain alcohols and ethoxylates. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 436, 252-259.
- Graham, P., Brodbeck, K., & McHugh, A. (1999). Phase inversion dynamics of PLGA solutions related to drug delivery. *Journal of Controlled Release*, 58(2), 233-245.
- Higuchi, T. (1963). Mechanism of sustained-action medication. Theoretical analysis of rate of release of solid drugs dispersed in solid matrices. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 52(12), 1145-1149.
- Kim, D.-H., Jahn, A., Cho, S.-J., Kim, J. S., Ki, M.-H., & Kim, D.-D. (2015a). Lyotropic liquid crystal systems in drug delivery: a review. *Journal of Pharmaceutical Investigation*, 45(1), 1-11.



- Kim, D.-H., Jahn, A., Cho, S.-J., Kim, J. S., Ki, M.-H., & Kim, D.-D. (2015b). Lyotropic liquid crystal systems in drug delivery: a review. *Journal of Pharmaceutical Investigation*, 45, 1-11.
- Negrini, R., & Mezzenga, R. (2011). pH-responsive lyotropic liquid crystals for controlled drug delivery. *Langmuir*, 27(9), 5296-5303.
- Peppas, N. A., & Sahlin, J. J. (1989). A simple equation for the description of solute release. III. Coupling of diffusion and relaxation. *International Journal of Pharmaceutics*, 57(2), 169-172.
- Repligen. (2020). SpectraPor® Biotech Grade Dialysis Membranes User Guide. 6. <https://www.repligen.com/support/user-guides>
- Ritger, P. L., & Peppas, N. A. (1987). A simple equation for description of solute release II. Fickian and anomalous release from swellable devices. *Journal of Controlled Release*, 5(1), 37-42.
- Siepmann, J., & Siepmann, F. (2008). Mathematical modeling of drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 364(2), 328-343.
- Sinko, P. J. (2023). *Martin's physical pharmacy and pharmaceutical sciences*: Lippincott Williams & Wilkins.
- Sweetman, S. C., & Martindale, C. (2009). *The complete drug reference* (Vol. 1): Pharmaceutical press London.
- Woltman, S. J., Jay, G. D., & Crawford, G. P. (2007). Liquid-crystal materials find a new order in biomedical applications. *Nature materials*, 6(12), 929-938.
- Yıldırım, A., & Göker, M. (2025). The high potential of methyl laurate as a recyclable competitor to conventional toxic solvents in [3+ 2] cycloaddition reactions. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 21(1), 2389-2415.
- Zabara, A., & Mezzenga, R. (2014). Controlling molecular transport and sustained drug release in lipid-based liquid crystalline mesophases. *Journal of Controlled Release*, 188, 31-43.

## *Escherichia coli'* de *galE* GENİNİN BENZOİK ASİTE KARŞI İNTİRİNSİK DİRENÇ İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Hatice ÖZTÜRKEL KABAKAŞ<sup>1</sup>, Merve SEZER KÜRKÇÜ<sup>2</sup>, Kadriye Aşlıhan ONAT TAŞDELEN<sup>3</sup>, Bekir ÇÖL<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoloji, Moleküler Biyoloji ve Genetik, [haticeozturkel@posta.mu.edu.tr](mailto:haticeozturkel@posta.mu.edu.tr), 0000-0002-2882-0401

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Araştırma Laboratuvarları Merkezi, Biyoloji, Moleküler Biyoloji ve Genetik, [mervezezer@mu.edu.tr](mailto:mervezezer@mu.edu.tr), 0000-0003-0947-2912

<sup>3</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoloji, Moleküler Biyoloji ve Genetik, [kadriyeaslihanonat@posta.mu.edu.tr](mailto:kadriyeaslihanonat@posta.mu.edu.tr), 0000-0002-5893-5728

<sup>4</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloji Anabilim dalı, Biyoloji, Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji, Genetik, [bccl@mu.edu.tr](mailto:bccl@mu.edu.tr), 0000-0001-8997-4116

### Özet

Benzoik asit (BA), bitkilerde ve özellikle fermente süt ürünlerinde yaygın olarak bulunan ve gıda, kozmetik ile farmasötik ürünlerde koruyucu olarak kullanılan bir fenolik asittir. BA'nın membran iyon gradyanını bozarak sitoplazmada anyon birikimine yol açması, hücre içi asidozun artmasına ve membran homeostazının bozulmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, BA toleransında rol oynayan hücresel mekanizmalar henüz tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu çalışmada, *Escherichia coli'*de *galE* geninin BA stresine karşı duyarlılıktaki rolü araştırılmıştır.

*galE* geni, galaktoz metabolizması ve lipopolisakkarit (LPS) biyosentezinde görev alan UDP-glukoz 4-epimeraz enzimini kodlamaktadır.  $\Delta galE$  mutantı üzerinde gerçekleştirilen mikrobiyolojik analizler, bu suşun BA varlığında yabancıl tipe kıyasla belirgin şekilde daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Gözlenen fenotipi doğrulamak amacıyla, IPTG (Isopropyl  $\beta$ -D-1-thiogalactopyranoside) ile indüklenebilir plazmid tabanlı bir ekspresyon sistemi kullanılarak komplementasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. 0  $\mu$ M, 10  $\mu$ M ve 33  $\mu$ M IPTG varlığında komplemente edilen  $\Delta galE$  suşunun BA maruziyetine karşı toleransı değerlendirilmiştir. 0  $\mu$ M ve 10  $\mu$ M IPTG konsantrasyonlarında *galE* ekspresyonu büyümeyi geri kazandırırken, 33  $\mu$ M IPTG ile daha yüksek ekspresyon düzeyinin ek bir iyileşme sağlamadığı belirlenmiştir. Bu durum, fonksiyonel tamamlanma için orta düzey ekspresyonun yeterli olduğunu düşündürmektedir.

Yapılan çalışma ile elde edilen bulgular, *galE* geninin LPS biyosentezi aracılığıyla hücre zarı bütünlüğüne katkı sağlayabileceğini ve bu durumun benzoik asit toleransı ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. *galE* fonksiyonunun kaybı, membran stabilitesini bozarak zayıf organik asit stresine karşı duyarlılığı artırabilir.

**Anahtar kelimeler:** Benzoik asit, *Escherichia coli*, KEIO, Fenolik asit, Antibakteriyel

**Teşekkür.** Çalışmalarımızı 122Z018 numaralı proje ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) ve Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesine teşekkür ederiz.

Bu çalışma Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Doktora öğrencisi Hatice ÖZTÜRKEL KABAKAŞ'ın Doktora tezinin bir parçasını oluşturmaktadır.

## INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE *galE* GENE AND INTRINSIC RESISTANCE TO BENZOIC ACID IN *Escherichia coli*

### Abstract

Benzoic acid (BA) is a phenolic compound widely found in plants and fermented dairy products and is commonly used as a preservative in food, cosmetic, and pharmaceutical products. BA disrupts membrane ion gradients, leading to the accumulation of anions in the cytoplasm, increased intracellular acidification, and impairment of membrane homeostasis. However, the cellular mechanisms underlying BA tolerance remain incompletely understood. In this study, the role of the *galE* gene in BA stress sensitivity in *Escherichia coli* was investigated.

The *galE* gene encodes UDP-glucose 4-epimerase, an enzyme involved in galactose metabolism and lipopolysaccharide (LPS) biosynthesis. Microbiological analyses performed on the  $\Delta galE$  mutant revealed a markedly increased sensitivity to BA compared to the wild-type strain. To validate the observed phenotype, complementation experiments were carried out using a plasmid-based expression system under IPTG (Isopropyl  $\beta$ -D-1-thiogalactopyranoside) inducible control. The ability of the complemented  $\Delta galE$  strain to restore tolerance to BA exposure was evaluated in the presence of 0  $\mu$ M, 10  $\mu$ M, and 33  $\mu$ M IPTG. Expression of *galE* at 0  $\mu$ M and 10  $\mu$ M IPTG successfully restored growth under BA stress, whereas higher expression levels induced by 33  $\mu$ M IPTG did not result in further improvement. These findings suggest that moderate levels of gene expression are sufficient for functional complementation.

The findings obtained in this study suggest that the *galE* gene may contribute to cell envelope integrity through its role in LPS biosynthesis, and that this may be associated with benzoic acid tolerance. Loss of *galE* function may compromise membrane stability, thereby increasing susceptibility to weak organic acid stress.

**Keywords:** Benzoic acid, *Escherichia coli*, KEIO, Phenolic acid, Antibacterial

## 1. GİRİŞ

Renksiz, karakteristik kristal yapıya sahip bir organik bileşik olan benzoik asit, aromatik karboksilik asitlerin en basit üyelerinden biri olup fenolik asitler içerisinde hidroksibenzoik asit türevleri grubunda yer alan bir sekonder metabolittir (Choi & Kim, 2024). Benzoik asit, bitki ve hayvan dokularında doğal olarak bulunmasının yanı sıra süt ve süt ürünlerinde fermentasyon süreçleri sonucunda da oluşabilmektedir (del Olmo ve ark., 2017). Bitkilerdeki benzoik asit düzeyleri; tür, büyüme mevsimi, coğrafi koşullar ve biyotik etkileşimler gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Long ve ark., 2009). Benzoik asit, antimikrobiyal özellikleri nedeniyle başta gıda endüstrisi olmak üzere kozmetik ve farmasötik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir koruyucu bileşiktir. Bakteri ve mantar gelişimini baskılayıcı etkisi, doğal savunma mekanizmaları kapsamında da gözlemlenmektedir. Örneğin, *Nectria galligena* ve *Pezicula malicorticis* gibi patojenlerle enfekte olmuş elmalarda yüksek düzeyde benzoik asit üretiminin mantar gelişimini sınırlayıcı bir rol oynayabileceği bildirilmiştir (Noble & Drysdale, 1983). Bunun yanı sıra benzoik asidin antibakteriyel ve antifungal etkilerine ek olarak antikanser aktivite gösterebildiği de rapor edilmiştir (Kabakaş ve ark., 2024).

Benzoik asit ve türevleri, bitkilerde yalnızca savunma mekanizmaları ile sınırlı kalmayıp aynı zamanda sinyal iletim süreçlerinde de rol oynamaktadır. Bu kapsamda benzoik asit türevi olan salisilik asit, soğuk, kuraklık ve ultraviyole ışık gibi abiyotik streslere karşı gelişen yanıtların düzenlenmesinde önemli bir sinyal molekülüdür (Vlot ve ark., 2009). Benzer şekilde, aromatik sitokinin sınıfında yer alan meta-topolin gibi benzoik asit türevlerinin bitkilerde kök ve sürgün gelişimini teşvik ettiği bilinmektedir (Widhalm & Dudareva, 2015). Benzoik asidin biyolojik etkileri yalnızca bitkilerle sınırlı olmayıp hayvan sistemlerinde de gözlemlenmektedir. Özellikle yavru domuzlarda gastrointestinal sistem üzerinde düzenleyici etkileri olduğu; bağırsak mikrobiyotasında *Lactobacillus spp.* gibi faydalı bakterilerin artışı teşvik ederken, *Escherichia coli* gibi potansiyel patojenlerin azalmasına katkı sağladığı bildirilmektedir (Diao ve ark., 2014; Peric ve ark., 2023).

Zayıf organik asitlerin antimikrobiyal etkisi genel olarak, protonlanmış formlarının hücre zarından difüze olarak sitoplazmaya geçmesi ve burada dissosiyasyon olarak hücre içi pH dengesini bozması ile açıklanmaktadır. Bu süreç, hücre içi asidifikasyonun yanı sıra anyon birikimine yol açarak metabolik süreçleri olumsuz etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, bu etkinin yalnızca pH değişimi ile sınırlı olmadığı; hücre zarı bütünlüğü ve geçirgenliği gibi yapısal faktörlerin de bu süreçte belirleyici olduğu düşünülmektedir (Krebs ve ark., 1983; Lu ve ark., 2011; Pernin ve ark., 2019). Gram-negatif bakterilerde dış zarın temel bileşenlerinden biri olan lipopolisakkarit (LPS) yapısı, çevresel stres faktörlerine karşı önemli bir bariyer görevi görmektedir. LPS'nin en dış kısmını oluşturan O-antijen polisakkaritleri, hücre yüzeyinin fizikokimyasal özelliklerini belirleyerek zar geçirgenliğini doğrudan etkileyebilmektedir (Kamio & Nikaido, 1976; May ve ark., 2025). Bu yapıda meydana

gelen değişikliklerin, benzoik asit gibi zayıf organik asitlerin hücreye girişini modüle edebilecek önemli faktörler arasında yer aldığı düşünülmektedir.

Önceki çalışmalarda gerçekleştirilen benzoik asit taramaları sonucunda duyarlı fenotip sergilediğı belirlenen *Escherichia coli*  $\Delta galE$  mutantının, benzoik asite karşı duyarlılığı doğrulanmıştır. Galaktoz metabolizması ve LPS biyosentezinde rol oynayan *galE* geninin fonksiyon kaybının bu duyarlılık ile ilişkili olabileceğı düşünülmektedir. Bu kapsamda, söz konusu genin fenotip üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla komplementasyon deneyleri gerçekleştirilmiş ve farklı IPTG konsantrasyonları altında benzoik asit toleransının geri kazanımı incelenmiştir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Bakteriler ve Plazmidler

*Escherichia coli* BW25113 (*lacI<sup>q</sup>*, *rrnBT14*,  $\Delta lacZWJ19$ , *hsdR514*,  $\Delta araBADAH33$ ,  $\Delta rhaBADLD78$ )'dan türetilen KEIO mutant koleksiyonu, tüm esansiyel olmayan genlerin tek genli nakavtlarını içermektedir (Baba ve ark., 2006). KEIO mutant kütüphanesinde yer alan *Escherichia coli*  $\Delta galE$  mutantı stok halinde -80°C'de muhafaza edilmektedir. Komplementasyon analizleri için kullanılacak hedef geni içeren plazmid ASKA (*A Complete Set of E. coli* K-12 ORF Archive) koleksiyonunda yer almaktadır (Kitagawa ve ark., 2005). Bu koleksiyondan ilgili plazmidi taşıyan klon alınarak plazmid izolasyon prosedürü gerçekleştirilmiştir.

### 2.2. Verifikasyon Çalışmaları

Daha önceki Benzoik asit ile KEIO mutant kütüphanesinin genom boyu tarama deneyleri sonucunda yabancı tip *Escherichia coli* suşuna kıyasla duyarlı olduğu belirlenen mutant suş ile verifikasyon çalışmalarına geçilmiştir. Yabancı tip *E. coli* BW25113 suşı ile *Escherichia coli*  $\Delta galE$  mutantı -80°C'deki stok kültürlerinden taze LB (Luria Bertani) agar besiyerlerine tek koloni ekimleri yapılarak, 37°C sıcaklıkta etüvde gece boyu inkübasyona bırakılmıştır. Ertesi gün hücrelerden 5 ml LB besiyerine steril kürdan ile tek koloni ekimleri yapılarak 37°C sıcaklıkta çalkalamalı inkübatörde gece boyu inkübasyona bırakılmıştır ( $\Delta galE$  mutantı için LB-kanamisin besiyeri kullanıldı). Gece boyu büyüyen hücrelerden OD<sub>600</sub> değeri 0,05 olacak şekilde taze LB besiyerine inoküle edilerek OD<sub>600</sub> değeri 0,5 olana kadar inkübe edildi. Hücrelerin 1X PBS (Phosphate Buffer Salin) içinde seri dilüsyonları (1/1, 1/2, 1/4, 1/8 ve 1/16) yapılarak artan konsantrasyonda Benzoik asit içeren LB-agar besiyerlerine 5'er µl inoküle edilerek inkübasyona bırakılmıştır. Hücrelerin büyümelerindeki değişim belirli zaman noktalarında analiz edilerek petri görüntüleri alınmıştır.

## 2.3. Komplementasyon Deneyleri

### *Plazmid İzolasyonu*

Komplementasyon deneyleri için ilk olarak pCA24N plazmid izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Hedef genlerin rekombinant plazmidlerini içeren (örneğin pCA24N::*galE*) laboratuvarımızda mevcut halde bulunan ASKA klon kütüphanesi kullanılmıştır. BA duyarlılığı onaylanan  $\Delta galE$  mutantının komplementasyon deneylerinde belirlenmiş deneysel prosedürler izlenerek çalışmalara başlanmıştır (Çöl ve ark., 2024; Sambrook & Russell, 2001). İlk olarak komplementasyon deneylerinde kontrol grubu olarak kullanılabilmesi için *E. coli* BW25113  $\Delta galE$ ::pCA24N suşu oluşturulmuştur. -80°C’de stok halinde bulunan ASKA klon kütüphanesinde *E. coli* pCA24N::*galE* klonu ile pCA24N plazmidini içeren klon LB-Kloramfenikol (cm- 30 µg/ml) katı besiyerine tek koloni ekimi yapılmıştır. Suşlar 37°C sıcaklıkta etüvde gece boyu inkübasyona bırakılmıştır. Gece boyu büyüyen hücreler 5 ml LB-cm besiyerine ekimleri yapılmış ve gece boyu 150 rpm 37°C sıcaklıkta inkübe edilmiştir. Bakteriyel hücreler, kültürün ardından steril 15 mL tüplere alınarak +4 °C’de 8000 rpm’de 5 dk santrifüjlenmiş ve süpernatant uzaklaştırılmıştır. Elde edilen hücre pelleti 1 mL steril PBS ile süspanse edilmiş ve 1,5 mL’lik mikrosantrifüj tüplerine aktarılmıştır. Tüpler +4 °C’de 8000 rpm’de 3 dk santrifüjlenmiş ve süpernatant uzaklaştırıldıktan sonra plazmid izolasyonuna geçilmiştir. Plazmid DNA izolasyonu, üretici firma talimatlarına uygun olarak BioLabs Monarch Plasmid Miniprep Kiti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kısaca, hücre pellet’i 200 µL Resuspension Buffer ile çözülmüş, ardından 200 µL Lysis Buffer ilavesiyle nazıkçe karıştırılarak oda sıcaklığında 1 dk inkübe edilmiştir. Daha sonra 400 µL Neutralization Buffer eklenmiş ve karışım santrifüjlenerek hücresel kalıntılar uzaklaştırılmıştır.

Elde edilen süpernatant spin kolona aktarılmış ve üretici protokolüne uygun olarak yıkama adımları gerçekleştirilmiştir. Son olarak plazmid DNA, 30 µL Elution Buffer ile elüsyon yapılmıştır.

### *Kompetent Hücre Eldesi ve Transformasyon*

Komplementasyon deneylerinde kullanılmak üzere, seçilen duyarlı mutant suşlardan kimyasal yöntemle kompetent hücreler hazırlanmıştır. Bu amaçla, stok kültürlerden alınan tek koloniler kanamisin içeren LB agar besiyerine ekilmiş ve 37 °C’de gece boyunca inkübe edilmiştir. Ertesi gün, tek koloni 5 mL LB sıvı besiyerine inoküle edilerek 37 °C’de, 150 rpm’de çalkalamalı inkübatörde gece boyunca büyütülmüştür. Gece kültüründen 200 µL alınarak 20 mL taze LB besiyerine aktarılmış ve hücreler OD<sub>600</sub> ≈ 0,4 değerine ulaşınca kadar inkübe edilmiştir. Bu aşamada hücreler soğuk koşullarda toplanmış, +4 °C’de 5000 rpm’de 5 dk santrifüjlenmiş ve süpernatant uzaklaştırılmıştır. Elde edilen hücre pellet’i 4,8 mL soğuk MgCl<sub>2</sub> çözeltisi ile süspanse edilmiş ve buz üzerinde kısa süre inkübe edilmiştir. Ardından hücreler tekrar aynı koşullarda santrifüjlenmiş ve süpernatant uzaklaştırılmıştır. Daha sonra pellet üzerine 4,8 mL soğuk CaCl<sub>2</sub> eklenerek hücreler yeniden



süspanse edilmiş, buz üzerinde inkübasyonun ardından tekrar santrifüjlenmiştir. Son aşamada süpernatant uzaklaştırılmış ve hücre pellet'i 860 µL CaCl<sub>2</sub> ve 140 µL %100 gliserol içeren çözeltide süspanse edilmiştir. Hazırlanan kompetent hücreler 100 µL'lik aliquatlar halinde ayrılarak -80 °C'de muhafaza edilmiştir.

Hazırlanan kompetent *E. coli* mutant hücrelerine 1 µL plazmid DNA eklenmiş ve hücreler sırasıyla 30 dk buz üzerinde inkübe edilmiş, ardından 42 °C'de 2 dk ısı şokuna tabi tutulmuş ve tekrar 2 dk buz üzerinde bekletilmiştir. Isı şokunu takiben hücre süspanسیونuna 1 mL LB besiyeri eklenmiş ve hücreler 37 °C'de, 150 rpm'de çalkalamalı inkübatörde 3–4 saat inkübe edilerek toparlanmaları sağlanmıştır. İnkübasyon sonrası hücreler 5000 rpm'de 3 dk santrifüjlenmiş, süpernatant uzaklaştırılmış ve elde edilen pellet 50 µL LB besiyerinde süspanse edilmiştir. Elde edilen hücre süspanسیونu kloramfenikol içeren LB agar plaklarına yayma yöntemi ile ekilmiş ve plaklar 37 °C'de gece boyunca inkübe edilmiştir.

#### **2.4. Minimum İnhibisyon Konsantrasyon (MIC) Değerlerinin Belirlenmesi**

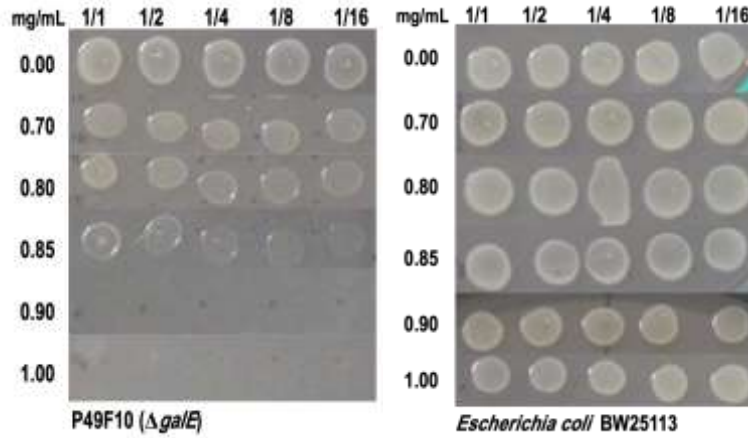
Komplementasyon çalışmalarının son aşamasında, hedef gen bakımından mutant suşlara ilgili geni taşıyan plazmid transforme edilerek gen fonksiyonu yeniden kazandırılmış ve bu suşların benzoik asit toleransı değerlendirilmiştir. Bu amaçla Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MIC) analizleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan pCA24N vektöründe gen ekspresyonu IPTG ile indüklenen T5-lac promotörü tarafından kontrol edilmekte olup, deneylerde 0, 10 ve 33 µM IPTG konsantrasyonları uygulanmıştır. MIC analizleri, 0, 0.5, 0.7, 0.8, 0.85, 0.9, 1.0 ve 1.3 mg/mL benzoik asit konsantrasyonları içeren besiyerlerinde yürütülmüştür. Transformant suşlar, kloramfenikol (cm) içeren LB besiyerinde ön kültür oluşturulduktan sonra, ilgili IPTG konsantrasyonlarını içeren ortamlarda başlangıç OD<sub>600</sub> değeri 0.05 olacak şekilde seyreltilmiştir. Hücreler 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiş ve inkübasyon sonunda büyüme, OD<sub>600</sub> ölçümleri ve görsel bulanıklık değerlendirmesi ile belirlenmiştir. Mikroplakalarda inkübe edilen hücreler aynı zamanda LB agar besiyerlerine ekimleri yapılarak katı besiyerinde de büyüme fenotipleri değerlendirilmiştir. MIC değeri, gözle görülür büyümenin olmadığı en düşük benzoik asit konsantrasyonu olarak tanımlanmıştır. Komplementasyon etkinliği, boş vektör taşıyan kontrol suşu ile karşılaştırılarak değerlendirilmiş; daha yüksek konsantrasyonlarda büyüme gösteren suşlar fenotipik geri kazanım göstermiş olarak kabul edilmiştir.

### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Nokta Tolerans Testi ile Fenotiplerin Onaylanması**

Daha önceki yapılan çalışmalarda Benzoik site duyarlı olduğu belirlenen *E. coli* Δ*galE* mutantının duyarlılık fenotipinin onaylanması için nokta tolerans testi yapılmıştır. Nokta tolerans testinde kontrol grubu olarak *E. coli* BW25113 suşu kullanılmıştır. Her iki suşun da büyüme fenotipindeki değişimler 72 saat boyunca takip edilmiştir. Şekil 1'de artan Benzoik asit gradyanında *E. coli* BW25113 suşuna kıyasla *E. coli* Δ*galE* mutant

suşunun büyüme farklılığı görülmektedir. *E. coli*  $\Delta galE$  mutanlığı, yabancı tipe kıyasla 0.85 mg/ml Benzoik asit konsantrasyonunda dahi az üreme göstermiştir.



Şekil 16. Artan BA konsantrasyonunda *E. coli*  $\Delta galE$  mutant suşu ile *E. coli* BW25113 suşunun nokta tolerans testi bulguları

### 3.2. *galE* Komplementasyonu ile Benzoik Asit Duyarlılık Fenotipinin Kısmi Geri Kazanımı

Plazmid DNA izolasyonu üretici firma protokolüne uygun olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen ürünler %0,8 agaroz jel elektroforezi ile doğrulanmıştır. DNA bantları UV altında görüntülenerek plazmid varlığı ve büyüklükleri değerlendirilmiştir. İzole edilen plazmidler, *Escherichia coli* BW25113 mutant suşlarına ayrı ayrı transforme edilmiştir. Bu kapsamda pCA24N ve ilgili geni taşıyan rekombinant plazmid (pCA24N::*galE*) kullanılmıştır. Transformantlar kloramfenikol içeren besiyerinde seçilmiş ve uygun kontroller ile doğrulanmıştır.

Yapılan çalışmalar ile izole edilen plazmidlerin ilgili suşlara transforme edildiği onaylandıktan sonra MIC deneylerine geçilmiştir. Transformant suşlar 3 farklı IPTG (0  $\mu$ M, 10  $\mu$ M ve 33  $\mu$ M) konsantrasyonunda indüklenerek, artan Benzoik asit konsantrasyonuna maruz bırakılmıştır (Tablo 1).

Tablo 3. Benzoik asite duyarlılığı onaylanan  $\Delta galE$  mutantının farklı IPTG konsantrasyonlarında komplementasyon analizi

| Örnek Adı                                          | IPTG       | MIC<br>(mg/mL) | Spot Görseli                                                                        |
|----------------------------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    |            |                | 0 - 0.5 - 0.7 - 0.8 - 0.85 - 0.9 - 1.0 - 1.3                                        |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113 $\Delta galE$ (pCA24N) | 0 $\mu$ M  | 0.85           |  |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113                        |            | 1.30           |                                                                                     |
| $\Delta galE$ (pCA24N:: <i>galE</i> )              |            |                |                                                                                     |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113 $\Delta galE$ (pCA24N) | 10 $\mu$ M | 0.85           |  |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113                        |            | 0.90           |                                                                                     |
| $\Delta galE$ (pCA24N:: <i>galE</i> )              |            |                |                                                                                     |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113 $\Delta galE$ (pCA24N) | 33 $\mu$ M | 0.85           |  |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113                        |            | 0.85           |                                                                                     |
| $\Delta galE$ (pCA24N:: <i>galE</i> )              |            |                |                                                                                     |

Artan Benzoik asit gradyanında duyarlı fenotipi gösteren *E. coli* K-12 BW25113  $\Delta galE$  mutantında gerçekleştirilen komplementasyon analizleri, *galE* geninin fenotip üzerindeki etkisini doğrulamaktadır. pCA24N taşıyan mutant suşta düşük MIC değerleri gözlenirken, *galE* genini taşıyan rekombinant plazmid (pCA24N::*galE*) transforme edilerek oluşturulan transformat suş 0 ve 10  $\mu$ M IPTG koşullarında benzoik asite stresine karşı toleransında artış görülmüştür. Buna bağlı olarak MIC değerlerinde yükselme tespit edilmiştir. Buna karşılık, 33  $\mu$ M IPTG konsantrasyonunda komplementasyonun fenotipik geri kazanımı sağlamadığı ve MIC değerlerinin kontrol suşu ile benzer düzeyde kaldığı gözlenmiştir.

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma ile elde edilen bu bulgular, *galE* geninin benzoik asit toleransında rol oynayabileceğini, ancak bu etkinin gen ekspresyon düzeyine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini düşündürmektedir. UDP-galaktoz-4-epimeraz enzimini kodlayan *galE* geni, UDP-galaktoz ile UDP-glukoz arasındaki dönüşümü katalizleyerek hücre içi UDP-şeker dengesinin korunmasında rol oynamaktadır (Majumdar ve ark., 2004). UDP-galaktoz aynı zamanda LPS yapısının önemli bir bileşeni olan O-antijen biyosentezinde kullanılan temel öncü moleküllerden biridir (Guo ve ark., 2006). O-antijen sentezinin inaktivasyonu söz konusu olduğunda LPS tabakasının yapısı bozulduğu için antibiyotiklere karşı daha duyarlı olduğu bildirilmiştir (May ve ark., 2025; Kalynych ve ark., 2014). Bu nedenle *galE* fonksiyonundaki değişimlerin, hücre zarı bütünlüğünü etkileyerek çevresel streslere karşı duyarlılığı değiştirebileceği öngörülmektedir. Nitekim, *Escherichia coli*  $\Delta galE$  mutant suşunun benzoik asit gradyanına maruz bırakıldığında yabancı tipe kıyasla daha duyarlı bir fenotip sergilediği gözlemlenmiştir.

**Teşekkür.** Çalışmalarımızı 122Z018 numaralı proje ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) ve Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesine teşekkür ederiz.

Bu çalışma Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Doktora öğrencisi Hatice ÖZTÜRKEL KABAKAŞ'ın Doktora tezinin bir parçasını oluşturmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- Baba, T., Ara, T., Hasegawa, M., Takai, Y., Okumura, Y., Baba, M., Datsenko, K.A., Tomita, M., Wanner, B.L., Mori, H., 2006. Construction of Escherichia coli K-12 in-frame, single-gene knockout mutants: the Keio collection. Mol. Syst. Biol. 2. <https://doi.org/10.1038/msb4100050>
- Brown, A. E., & Swinburne, T. R. (1971). Benzoic acid: an antifungal compound formed in Bramley's Seedling apple fruits following infection by Nectria galligena Bres. Physiological Plant Pathology, 1(4), 469-475.
- Brown, A. E., & Swinburne, T. R. (1973). Factors affecting the accumulation of benzoic acid in Bramley's Seedling apples infected with Nectria galligena. Physiological Plant Pathology, 3(1), 91-99.
- Choi, H., & Kim, S. W. (2024). Dietary intervention of benzoic acid for intestinal health and growth of nursery pigs. Animals, 14(16), 2394.
- Çöl, B., Kürkçü, M.S., Dibek, E., 2024. Genome-Wide Screens Identify Genes Responsible for Intrinsic Boric Acid Resistance in Escherichia coli. Biol. Trace Elem. Res. 202, 5771. <https://doi.org/10.1007/s12011-024-04129-0>
- Del Olmo, A., Calzada, J., & Nuñez, M. (2017). Benzoic acid and its derivatives as naturally occurring compounds in foods and as additives: Uses, exposure, and controversy. Critical reviews in food science and nutrition, 57(14), 3084-3103.
- Diao, H., Zheng, P., Yu, B., He, J., Mao, X. B., Yu, J., & Chen, D. W. (2014). Effects of dietary supplementation with benzoic acid on intestinal morphological structure and microflora in weaned piglets. Livestock Science, 167, 249-256.
- Guo, H., Li, L., & Wang, P. G. (2006). Biochemical characterization of UDP-GlcNAc/Glc 4-epimerase from Escherichia coli O86: B7. Biochemistry, 45(46), 13760-13768.
- Kamio, Y., & Nikaido, H. (1976). Outer membrane of Salmonella typhimurium: accessibility of phospholipid head groups to phospholipase c and cyanogen bromide activated dextran in the external medium. Biochemistry, 15(12), 2561-2570.
- Kalynychn, S., Morona, R., & Cygler, M. (2014). Bakteriyel O-antijenin montaj sürecini anlamada ilerleme. FEMS mikrobiyoloji incelemeleri , 38 (5), 1048-1065.
- Kitagawa, M., Ara, T., Arifuzzaman, M., Ioka-Nakamichi, T., Inamoto, E., Toyonaga, H., Mori, H., 2005. Complete set of ORF clones of Escherichia coli ASKA library (a complete set of E. coli K-12 ORF archive): unique resources for biological research. DNA Res. 12, 291–299. <https://doi.org/10.1093/dnares/dsi012>

- Krebs, H.A., Wiggins, D., Stubbs, M., Sols, A., Bedoya, F., 1983. Studies on the mechanism of the antifungal action of benzoate. *Biochemical Journal* 214, 657–663. <https://doi.org/10.1042/bj2140657>
- Long, M. C., Nagegowda, D. A., Kaminaga, Y., Ho, K. K., Kish, C. M., Schnepf, J., ... & Dudareva, N. (2009). Involvement of snapdragon benzaldehyde dehydrogenase in benzoic acid biosynthesis. *The Plant Journal*, 59(2), 256-265.
- Lu, H.J., Breidt, F., Pérez-Díaz, I.M., Osborne, J.A., 2011. Antimicrobial Effects of Weak Acids on the Survival of *Escherichia coli* O157:H7 under Anaerobic Conditions. *J. Food Prot.* 74, 893–898. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-404>.
- Majumdar, S., Ghatak, J., Mukherji, S., Bhattacharjee, H., & Bhaduri, A. (2004). UDPgalactose 4-epimerase from *Saccharomyces cerevisiae*: A bifunctional enzyme with aldose 1-epimerase activity. *European Journal of Biochemistry*, 271(4), 753-759.
- May, K. L., Akiyama, T., Parker, B. G., Kim, M., & Grabowicz, M. (2025). LPS O-antigen polysaccharide length impacts outer membrane permeability of enteric gram-negative bacteria. *Mbio*, 16(12), e02518-25.
- Noble, J. P., & Drysdale, R. B. (1983). The role of benzoic acid and phenolic compounds in latency in fruits of two apple cultivars infected with *Pezizula malicorticis* or *Nectria galligena*. *Physiological plant pathology*, 23(2), 207-216.
- Kabakaş, H. Ö., Kürkcü, M. S., Taşdelen, K. A. O., & Çöl, B. (2024). The cytotoxic effect of benzoic acid on ten different cancer cell lines. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 25(1), 66-77.
- Perić, D., Barea, R., Nešić, S., Makivić, L., Janjić, J., Šefer, D., & Marković, R. (2023). Effects of dietary supplementation with benzoic acid and chelated copper, zinc and manganese sources on production performance in piglets. *Acta Veterinaria*, 73(3), 355-373.
- Pernin, A., Guillier, L., Dubois-Brissonnet, F., 2019. Inhibitory activity of phenolic acids against *Listeria monocytogenes*: Deciphering the mechanisms of action using three different models. *Food Microbiol.* 80, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.12.010>
- Sambrook, J., Russell, D.W., 2001. *Molecular Cloning A Laboratory Manual* [WWW Document]. Scientific Research Publishing. URL <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1765722> (accessed 2.27.26).
- Vlot, A. C., Dempsey, D. M. A., & Klessig, D. F. (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual review of phytopathology*, 47(1), 177-206.
- Widhalm, J. R., & Dudareva, N. (2015). A familiar ring to it: biosynthesis of plant benzoic acids. *Molecular plant*, 8(1), 83-97.

## ULUSAL VE ULUSLARARASI DÜZEYDE MADDE BAĞIMLILIĞININ ÖNLENMESİNDE PSİKİYATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi, Mehtap GENÇ<sup>1</sup>/ Hemşire, Serap BOZBUĞA (İkinci yazar)<sup>2</sup>/ Doç. Dr., Emre ÇİYDEM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Psikiyatri Hemşireliği Anabilim Dalı, ruh sağlığı ve psikiyatri hemşireliği, mehtap\_coplu@kmu.edu.tr, 0000-0002-6420-9327

<sup>2</sup>Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hemşirelik Anabilim Dalı, ruh sağlığı ve psikiyatri hemşireliği, serapbozbuga@gmail.com, 0009-0007-9728-0705

<sup>3</sup>Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hemşirelik Anabilim Dalı, ruh sağlığı ve psikiyatri hemşireliği, eciydem@bandirma.edu.tr, 0000-0002-2886-6848

### Özet

Bu çalışmanın amacı ulusal ve uluslararası düzeyde madde bağımlılığının önlenmesinde psikiyatri hemşiresinin rolünün incelenmesidir. Bu kapsamda birincil, ikincil ve üçüncül düzeylerde önleme yaklaşımlarını kapsamlı biçimde incelemektedir. Birincil önleme kapsamında okul temelli programlar, aile güçlendirme stratejileri ve toplumsal farkındalık çalışmaları ön plana çıkmaktadır. Hemşireler bu süreçte eğitim, savunuculuk ve kamu sözcülüğü rolleri üstlenmektedir. İkincil önleme ise hafif ve orta düzeyde madde kullanımı olan bireylere yönelik erken tarama, danışmanlık ve kısa müdahale programlarını kapsamaktadır. Üçüncül önleme bağlamında ise zarar azaltma yaklaşımı benimsenerek tıbbi ve psikiyatrik tedavi düzenlemeleri, vaka yönetimi ve çifte tanı programları ele alınmaktadır. Uluslararası boyutta Avrupa Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi verilerine dayanılarak Avusturya, Belçika, Almanya, Fransa ve diğer Avrupa ülkelerinin önleme politikaları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Bu ülkelerin büyük çoğunluğunda okul temelli yaşam becerileri programları, çevresel düzenlemeler ve aile katılımı temel stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Türkiye özelinde ise milli eğitim bakanlığı koordinasyonunda yürütülen okul programları, Yeşilay ve Diyanet İşleri Başkanlığı iş birlikleriyle gerçekleştirilen farkındalık çalışmaları, AMATEM bünyesindeki tedavi ve rehabilitasyon faaliyetleri ile Adalet Bakanlığı denetimli serbestlik kapsamındaki bireysel destek programları ele alınmaktadır. Yapılan araştırmalar, kapsamlı okul tabanlı dayanıklılık müdahalelerinin özellikle yasadışı madde kullanımını azaltmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak hemşirelerin bu alanda üstlendiği önleyici, eğitici ve savunuculuk rolleri toplum sağlığı açısından kritik önem taşımaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Psikiyatri hemşireliği, madde bağımlılığı, önleme



## **ROLE OF THE PSYCHIATRIC NURSE IN THE PREVENTION OF SUBSTANCE USE AT THE NATIONAL AND INTERNATIONAL LEVELS**

### **Abstract**

The aim of this study is to examine the role of psychiatric nurses in the prevention of substance use disorders at national and international levels. Within this scope, primary, secondary, and tertiary prevention approaches are comprehensively addressed. Primary prevention emphasizes school-based programs, family strengthening strategies, and community awareness initiatives, where nurses undertake roles in education, advocacy, and public spokespersonship. Secondary prevention focuses on early screening, counseling, and brief intervention programs for individuals with mild to moderate substance use. In tertiary prevention, a harm reduction approach is adopted, including medical and psychiatric treatment arrangements, case management, and dual diagnosis programs. At the international level, prevention policies in Austria, Belgium, Germany, France, and other European countries are comparatively examined based on data from the European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA), highlighting school-based life skills programs, environmental regulations, and family involvement as key strategies. In Türkiye, school-based programs coordinated by the Ministry of National Education, awareness activities conducted in collaboration with the Turkish Green Crescent Society and the Presidency of Religious Affairs, treatment and rehabilitation services provided by AMATEM centers, and individual support programs within probation services under the Ministry of Justice are discussed. Research indicates that comprehensive school-based resilience interventions are particularly effective in reducing illicit substance use. In conclusion, the preventive, educational, and advocacy roles of psychiatric nurses are of critical importance for public health.

### **Keywords:**

Psychiatric nursing, substance use disorder, prevention

## 1. GİRİŞ

Madde bağımlılığı, bireyin fiziksel ve ruhsal sağlığını derinden etkileyen, aynı zamanda aile yapısını ve toplumsal düzeni de tehdit eden küresel bir halk sağlığı sorunudur (Amin ve ark., 2023). Dünya genelinde giderek artan madde kullanım oranları, bu alanda etkili önleme stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Degenhardt ve ark., 2016). Madde bağımlılığının önlenmesinde sağlık profesyonellerine, özellikle de psikiyatri hemşirelerine önemli görevler düşmektedir. Hemşireler, bireylerle kurdukları yakın terapötik ilişki, topluma ulaşabilme kapasiteleri ve disiplinlerarası ekip çalışmasındaki etkin rolleri sayesinde hem bireysel hem de toplumsal düzeyde güçlü bir önleyici işlev üstlenebilmektedir (Beeber, 2019).

Bu bölümde madde bağımlılığının önlenmesine yönelik birincil, ikincil ve üçüncül düzeylerdeki yaklaşımlar ele alınmakta olup Avrupa ülkelerinin önleme politikaları ile Türkiye'deki ulusal uygulamalar karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Bu doğrultuda mevcut çalışmanın amacı ulusal ve uluslararası düzeyde madde bağımlılığının önlenmesinde psikiyatri hemşiresinin rolünün incelenmesidir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, ruh sağlığı ve psikiyatri hemşirelerinin bu alandaki rolünü bütüncül bir perspektifle ortaya koyacak ve ülkemiz koşullarında geliştirilebilecek önleme modellerine katkı sağlayacaktır.

## 2. MADDE BAĞIMLILIĞININ ÖNLENMESİ

Önemeye en iyi yaklaşım gençlerde ortaya çıkan davranışsal ve duygusal sorunları en aza indirmek için erken davranmaktır. Gençlerde uyuşturucu sorunlarını teşvik eden ve devam ettiren okul, toplum ve aile ortamlarının değişimi ile daha uzun vadeli sonuçlar elde edilebilir (Stuart, 2013). Toplumlar, madde bağımlılığını önleme hakkında bilgi sahibi olan ve etki düzeyi kanıtlanmış önleme programlarının uygulanmasını savunabilen hemşirelere ve diğer sağlık çalışanlarına ihtiyaç duymaktadır (Jenkins ve ark., 2022). Amerika Birleşik Devletleri'ndeki birçok topluluk madde kötüye kullanımı ile mücadele için olumlu adımlar atmıştır. Örnekler arasında alkol ve uyuşturucu içermeyen okul partileri, sigara içilmeyen binalar ile uyuşturucu mahkemeleri yer almaktadır. Maddelere erişimi azaltmak önemli bir halk sağlığı stratejisidir. Minimum içme yaşını 21'e çıkarmanın, 18 ila 20 yaşlarındaki alkol kullanımını % 25 oranında azalttığı ve buna bağlı kazalar ile sorunları azalttığı saptanmıştır (Stuart, 2013)). Buna karşılık, reşit olmayanlara sigara satışlarını yasaklayan kanunlar, kullanımın azalmasına neden olmamıştır. Çünkü genç içiciler, kendileri için alışveriş yapmak üzere yaşça daha büyük arkadaşlar edinirler. Medya kampanyaları, gerekli bilgileri sağlar ve toplum normlarını yavaş yavaş etkileyebilir. Mother Against Drunk Driving (MADD) gibi vatandaş gruplarının öncülük ettiği çabalar, olumlu bir etki yaratabilir (Stuart, 2013).

**Birincil Önleme:** Çocuklarda uyuşturucu kullanımını önlemeye yönelik birincil koruma programları, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki birçok ilköğretim okulunda yer almaktadır. Okul hemşireleri okullardaki eğitim çalışmalarına katılabilir. Sosyal yeterlik programlarında olduğu gibi aile güçlendirme stratejileri sorunların

önlenmesi için anahtar rolündedir. Ayrıca hemşireler, madde kullanım ve istismar sıklığını azaltmak için tasarlanan yasaları destekleyebilir ve toplumda uyuşturucu kullanımı sorunlarıyla ilgili kamu sözcüsü kişiler olarak hizmet verebilir.

Aşağıdaki koruyucu müdahaleler, sigara, alkol ve madde kullanımı sorunları için etkili olmuştur:

- **Sigara bıraktırma eğitimi ve rehberlik;**
  - Danışmanlık ve beceri geliştirme oturumu, hasta pekiştirmesi, sosyal destek, bülten ve telefon görüşmeleri takibi,
  - Sigarayı bırakmak için klinisyen tavsiyesi, bir yardım kitabı ve bir yıllık takip ziyareti.
- **Madde kullanımı ve ruh sağlığı konularına yönelik kişisel bakım eğitimi;**
  - Kendi kendine bakım rehberi ve videolar, telefonla bilgi servisi ve bireysel sağlık değerlendirme ve planlama konferansı,
  - Bireyselleştirilmiş öneri belgeleri ve yazılı materyallerle güçlendirilmiş, bilgisayar tabanlı, seri, kişisel sağlık riski raporları,
  - Öz bakım merkezine erişim,
  - Bir klinisyen eşliğinde birebir eğitim merkezleri,
  - Slayt gösterileri.
- **Alkol kullanımını azaltmak için kısa tarama ve rehberlik**
  - Ek bir çalışma kitabı veya kendi kendine yardım materyalleri eşliğinde alkol tüketiminin azaltılması konusunda bir sağlık uzmanı tarafından bilgilendirme veya danışmanlık yapılması, takip ziyaretleri veya telefon görüşmeleri (Stuart, 2013).

**Sekonder Önleme:** Sekonder önleme çabaları, hafif-orta dereceli içki içme sorunları olanlara yöneliktir. İçme davranışını durdurmak için basit tavsiyelerden; erken tanılama, değerlendirme bulgularının sunumu, eğitim, kişisel sorumluluğu vurgulayan içki içme ihtiyacının azaltılmasına ilişkin tavsiyeler, kendi kendine yardım el kitapları ve periyodik takibe kadar geniş kapsamlı programları kapsar. DUI nedeniyle suçlanan hafif-orta şiddette içki içme sorunu olan insanlar mahkeme yoluyla tedavi programlarına yönlendirilmektedir (Stuart, 2013).

**Tersiyer Önleme:** Tersiyer önleme bağımlılığın komplikasyonlarını azaltabilir. Tıbbi ve psikiyatrik tedavi düzenlemeleri (daha güncel vaka yönetimi, toplumsal destek ve çifte tanı programları gibi), önemli bir role sahiptir. Politik yaklaşımlarda ise yasalar genellikle, uyuşturucunun kullanılmasından ziyade uyuşturucu kullanımının olumsuz sonuçlarını azaltmaya yöneliktir. Bu yaklaşıma **zarar azaltma (harm reduction)** adı verilir. Otomobil kazaları, boğulma ve aile içi uyuşmazlıklar gibi sarhoşluğun kullanıcı ve başkaları üzerindeki etkilerini azaltma çabalarını içerir (Stuart, 2013).

Ayrıca, Beşinci ve altıncı sınıf öğrencilerinde polisler tarafından verilen DARE (Madde Kötüye Kullanıma Diren) ve direnme eğitimini birleştiren programların, geniş çapta reklamları yapılmasına rağmen hiç etkili olmadıkları belirtilmektedir. Gençlerin alkol ve madde kullanımına başlamasını önlemek amacıyla Iowa'da 'Lowa Aileleri Düzeltme Programı' ve beş oturumdan oluşan 'Maddesiz Yıllara Hazırlanma Programı' kurulmuştur. 2012 yılında FDA, sigara paketlerinin üzerinde sigaranın yol açtığı sağlık sorunlarına ilişkin grafikleri içeren yeni uyarıların bulunmasını önermiştir. Ancak bu öneriyi engellemek için açılmış davalar sürmektedir. Genç bireylerin sigara kullanımını önlemeyi hedef alan okul temelli programların genel anlamda başarılı oldukları görülmektedir. Bu programların tamamı etkili olmamakla birlikte bu programların bazı ortak bileşenleri;

- Akran Baskısına Direnme Eğitimi
- İnançların ve Beklentilerin Düzeltilmesi
- Kitle İletişim Araçlarından Gelen Mesajlara Karşı Aşılama
- Akran Liderliği şeklindedir (Kring, Johnson, Davison, & Neale, 2017).

Dört Alman federal eyalette yapılan randomize kontrollü bir çalışmada, bir okul temelli eğitim programı aracılığı ile 5. ve 6. sınıf öğrencilerinin genel yaşam becerilerini arttırarak madde kullanımı ve bağımlılığın önlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, madde kullanımına yönelik okul öncesi bir önleme programının etkililiğini değerlendirmek amaçlanmıştır. Almanya'nın dört federal eyaletinden 3000'den fazla öğrenci içeren çalışmada önleme programının, genel yaşam becerileri, reddetme becerileri ve madde kullanımı hakkındaki bilginin artmasına yol açacağı hipotezi ileri sürülmüştür. Önleme programına katılımın ergenlerin sigara ve alkolden kaçınmaya veya en azından daha sorumlu bir tüketime yol açacağı beklenmiştir. Ayrıca öğrencilerin reddetme becerileri ile duygular, stres ve sorunlarla başa çıkma becerilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ortalama yaşları 10.37 olan (SD = 0.59) 45 okul, 172 sınıf ve 3444 öğrenci çalışmaya katılmıştır. 81 sınıftan 1685 öğrenci müdahale grubuna, 91 sınıftan 1759 öğrenci ise kontrol grubuna alınmıştır. Eğitim programı; psikologlar, spor bilimciler ve pedagoğlardan oluşan disiplinlerarası bir ekip tarafından tasarlanmıştır. Çalışmada, okul temelli önleme programlarının, ergen madde kullanımını önlemeye stratejiler içinde en uygun olanlardan biri olduğu belirlenmiştir (Hansen, Hanewinkel, Maruska, & Isensee, 2011).

Kapsamlı okul tabanlı dayanıklılık müdahalelerinin, ergenlerin tütün, alkol veya yasadışı madde kullanımının düşürülmesinde etkili olup olmadığını değerlendirmek ve karakteristik alt gruplara göre bu etkiyi tanımlamak amacıyla yapılan bir meta-analiz çalışmasında; 5-18 yaş aralığındaki katılımcıları içeren, tütün kullanımı, alkol tüketimi veya yasadışı uyuşturucu kullanımı sonuçlarına yönelik raporlar ile iç (benlik saygısı gibi) ve dış (okul bağlılığı gibi) dayanıklılık faktörlerini teşvik etmek amacıyla tasarlanmış okul temelli uygulamaları içeren çalışmalar dahil edilmiştir. 1994 ve 2015 yılları arasındaki randomize kontrollü çalışmaların sistematik bir

gözden geçirmesi yapılmıştır. 16.619 kayıttan 19 çalışmanın uygun olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, kapsamlı okul tabanlı dayanıklılık müdahalelerinin, ergenlerin uyuşturucu kullanımını azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca sonuçlar, adölesanların yasadışı madde kullanımını azaltmak için koruyucu faktörleri ele alan kapsamlı okul tabanlı müdahalelerin uygulanmasını desteklemektedir; ancak, tütün ve alkol kullanımı için alternatif yaklaşımlar gerektiğini ileri sürmektedir (Hodder, et al., 2017).

### **3. ULUSLARARASI ÖNLEME ÇALIŞMALARI**

Çalışmanıza ilişkin bulguları bu kısma yazınız. Eğer çalışmanızda tablo ve şekil kullanacaksanız aşağıda verilen örneklerle göre düzenleyiniz.

Avrupa Uyusturucu ve Uyusturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi (EMCDDA) 2017 Raporu'na göre ülkelerin uyuşturucu kullanımını önleme politikaları aşağıdaki gibidir (<http://www.emcdda.europa.eu/countries>. Erişim Tarihi:18.10.2017):

#### **3.1. Avusturya**

Avusturya Bağımlılığı Önleme Stratejileri, yasal ve yasadışı maddeleri kapsayan bütüncül ve geniş bir yaklaşıma duyulan gereksinimi vurgulayan önleme amaçlı faaliyetlerin ana ilkelerini belirtmektedir. Son yıllarda, önleme çalışmaları genellikle madde dışı bağımlılık davranışlarını ve şiddet olaylarını önleme ve sağlığı geliştirme yönündeki müdahaleler ile birleştirilmiştir. Avusturya'nın önleme politikasının ana hedefleri ve özellikleri, önleme tedbirlerini özellikle gençlerle ilgili olan sosyal hayatın daha geniş alanlarına yaymaktır. Önleme faaliyetleri ağırlıklı olarak İl Bağımlılık Önleme Merkezleri rehberliğinde yerel ve bölgesel düzeyde düzenlenmekte ve uygulanmaktadır.

#### **3.2. Belçika**

Önleme müdahaleleri tamamlayıcı olan geniş bir yaklaşım yelpazesini kapsar. Çevresel ve kapsamlı stratejiler tüm popülasyonları hedefler. Seçici önleme, uyuşturucu kullanım problemleri geliştirme riski taşıyan savunmasız grupları hedeflemektedir. Belçika'da tütün ve alkolün bulunabilirliğini ve ulaşılabilirliğini azaltmak, halen çevresel korumanın odak noktasıdır. Geniş kapsamlı önleme faaliyetleri ağırlıklı olarak okul tabanlı programlar aracılığıyla uygulanmaktadır. İlkokul düzeyindeki önleme faaliyetleri, yakın zamanda daha yaygın hale gelen yasal maddelere odaklanmaktadır.

#### **3.3. Bulgaristan**

Geniş kapsamlı koruma, esas olarak eğitim sistemi aracılığıyla yapılmakta ve Eğitim ve Bilim Bakanlığı tarafından koordine edilmektedir. Okul temelli önlemenin başlıca hedefleri, bilgi eksikliğini gidermek ve koruyucu bir okul ortamı yaratmaktır. Okullarda uygulanan sağlık eğitim programlarının çoğu yaşam becerileri ve akran eğitimini birleştirir; ancak, ebeveynleri hedefleyen bazı programlar da mevcuttur. Aileler, önleme faaliyetlerine giderek daha fazla katılmaktadır. Seçici önleme, çoğunlukla risk altındaki çocukları ve aileleri

hedef almakla birlikte genellikle bilgi sağlanmasına dayanır ve birebir eğitim modelleri de kullanılır. 2012'de Sofya'da bağımlılık sorunlarıyla ilgili çocuklara, gençlere ve ebeveynlere danışmanlık hizmeti veren bir merkez açılmıştır.

### **3.4. Hırvatistan**

2012-17 için Uyuşturucu İstismarıyla Mücadele Ulusal Stratejisi, etkili ve kanıta dayalı önleme programlarının uygulanmasını vurgulamaktadır. Önleme müdahaleleri tamamlayıcı olan geniş bir yaklaşım yelpazesini kapsar. Önleme çalışmaları, ağırlıklı olarak bakanlıklar gözetimindeki eğitim sistemi dahilinde organize edilmekte ve uygulanmaktadır; ayrıca modül temelli sağlık eğitimi müfredatını izlemektedir. Okul temelli önleme, öncelikli olarak gençlerin sağlıklı yaşam biçimlerini benimsemesini, öz saygı ve sosyal becerilerini geliştirmeyi, boş zamanlara alternatif etkinlikler sunmayı ve sonunda gençlerin psikoaktif maddelerle ilgili deneyime olan ilgisini azaltmayı hedefler. Son yıllarda, Hırvatistan'da Yaşam Becerileri Eğitim Programı, Alternatif Düşünme Stratejilerini Destekleme Programı gibi saygın uluslararası programlar uygulanmaya başlanmıştır.

### **3.5. Kıbrıs**

2015 yılında, toplam 28 önleme programı akredite edilmiştir. Programların çoğu ulusal düzeyde uygulanmıştır. Temel bileşenleri, yasal psikoaktif maddeler hakkında bilgi; kişisel gelişim; benlik saygısını güçlendirmek; direncin artırılması; tutum değişimi; iletişimin güçlendirilmesi ve öğretmenlerin eğitimi idi. Hedef grubun yaş aralığı ise 6-22 idi.

### **3.6. Çek Cumhuriyeti**

Çek Cumhuriyeti'nde, çevresel önleme faaliyetleri, 18 yaşından küçükler için tütün ve alkol kullanımını ve bunlara erişimi azaltmayı amaçlamaktadır. Avrupa Birliği Uyuşturucu Suistimali Önleme pilot projesi, 2006-2010 yılları arasında pilot çalışma olarak Çek Cumhuriyeti'nde yürütüldü.

### **3.7. Danimarka**

Geniş kapsamlı önleme müdahaleleri eğitim kurumlarında giderek daha fazla uygulanmakta ve hem yasal hem de yasadışı maddeleri kapsamaktadır. Okul temelli müdahalelerin şekli, içeriği ve kapsamı hakkında az sayıda ulusal yönerge bulunmaktadır, kılavuz tabanlı önleme programları nadiren uygulanmaktadır. Danimarka Sağlık Kurumu, Danimarka'nın en büyük müzik festivali Roskilde Festivali de dahil olmak üzere, müzik festivalleri ve müzik salonlarında, '*Music Against Drugs*' adlı senelik bir kampanya başlattı. Kopenhag'da, 25 yaşın altındaki uyuşturucu (çoğunlukla esrar) kullanıcılarına hizmet sunan bir önleme ve erken teşhis merkezi kurulmuştur.

### **3.8. Fransa**

Mevcut Fransız Hükümeti'nin uyuşturucu önleme planı, özellikle çocuk mahkemesi sistemi ile temas halinde olan gençlere, hamile kadınlara, uyuşturucu kullanımı olan kadınlara ve coğrafi ya da sosyal olarak bakıma ulaşamayan bireylere öncelik verir. Alkol ve tütün konusundaki çevresel stratejiler iyi gelişmiştir ve önemli



politik destekleri vardır. 2008'de Ulusal Önleme ve Sağlık Eğitimi Enstitüsü, okul ortamlarında sağlık ve riskli davranışları konu edinen en iyi uygulama kılavuzlarını yayınladı. Seçici önleme esas olarak uzmanlaşmış sivil toplum örgütlerinin sorumluluğundadır ve çoğunlukla okul ortamının dışında yapılır. Uygulamalar, bir semtte, eğlenceli ortamlarda ve risk altındaki ailelere yönelik olarak düzenlenir. Belirtilen önleme konusunda Fransa genelinde yaklaşık 550 danışma noktasında "erken tarama ve müdahale" yapmak üzere genç bireylere yönelik ayaktan tedavi sunan 260 bağımlılık polikliniği açılmıştır.

### **3.9. Almanya**

Almanya'da çevresel önleme tedbirleri genel olarak, kamuya açık yerlerde sigara içilmesini kısıtlamaya, küçüklere tütün ürünleri ve alkol satışını yasaklamaya, psikoaktif maddelerin etkisi altında sürüş yapmanın cezalandırılmasına ve yasadışı uyuşturucuların bulundurulmasını azaltmak için güvenlik önlemleri alınmasına odaklanır. Almanya'da belirtilmiş önleme programları, davranış bozukluğu olan çocuk ve ergenler ile bağımlılıktan etkilenen ailelerdeki çocuklara yöneliktir.

### **3.10. Yunanistan**

Yunanistan'da çevresel koruma faaliyetleri, alkol ve tütüne erişimi düzenlemeyi amaçlamaktadır. Son yıllarda, risk altındaki grupları ve bireyleri hedef alan seçici önleme müdahaleleri geliştirilmiştir. Icarus Önleme Birimi (KETHEA) genç suçluları, uyuşturucu deneyimleyen gençleri, göçmenleri, mültecileri, engelli çocukları, işlevsiz ortamlarda yaşayan çocukları, risk altındaki aileleri ve bakım kurumlarında yaşayan çocukları hedef alan müdahaleler tasarlar ve uygular. 2010'da KETHEA, suçlu davranış sergileyen ve uyuşturucu kullanım sorunları olan sosyal olarak dışlanmış ailelerin gençleri ile çalışmak üzere Atina'da bir toplum müdahale merkezi açmıştır.

### **3.11. İrlanda**

Toplumda önleme programları, gençlik kulüpleri ve gençlik kafeleri gibi çeşitli ortamlarda ve yasal, gönüllü ve toplumsal sektörler tarafından sağlanan saptırma faaliyetleri aracılığıyla uygulanmaktadır. Bu sektör, gençlerin ihtiyaçlarına cevap veren ve güvenliklerini sağlamak için tasarlanmış kaliteli, etkili programlara erişmesini sağlamayı amaçlayan Ulusal Gençlik Stratejisi 2015-20'nin başlatılmasıyla daha da güçlenmiştir.

### **3.12. İtalya**

İtalya'da yasal ve yasadışı maddelere odaklanan kapsamlı önleme faaliyetleri okullarda düzenli olarak uygulanmaktadır. Ancak çoğunlukla bilgi sağlayıp farkındalığı arttırırken, daha etkileşimli yöntemler veya birebir faaliyetler konusunda sınırlı kalmaktadır. Mevcut bilgilere göre, aile katılımı İtalya'daki tüm önleme çabalarının merkezinde kabul edilir ve hemen hemen tüm bölgelerde aileleri, öğretmenleri ve akranları hedef alan kapsamlı önleme projeleri vardır.

### 3.13. Hollanda

Hollanda'da çevresel koruma faaliyetleri, esasen, kuralları tanımlamada önemli bir role sahip olan belediyelerle birlikte alkol ve tütünün mevcudiyetinin düzenlenmesi ve kontrol edilmesi ile ilgilidir.

### 3.14. İspanya

İspanya'da kapsamlı önleme ağırlıklı olarak eğitim sektöründe uygulanmaktadır ve kişisel ve ailesel bazda yetenek ve becerilerin geliştirilmesine odaklanmıştır. Sağlık merkezleri tarafından organize edilen toplum temelli önleme programları, okullarda giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır ve esas olarak çeşitli destek materyalleri aracılığıyla bilgi sağlama üzerine odaklanmaktadır. Okullar ebeveynlere yönelik eğitim görüşmeleri yapar, materyaller dağıtır, oryantasyon ve rehberlik hizmetleri ile kurslar sunar. Ebeveynlere uyuşturucular hakkında bilgi veren ve ebeveynlik becerileri konusunda tavsiyeler veren on-line 'ebeveyn okulları' sayısı artmaktadır.

### 3.15. Romanya

Romanya'da, okullar kapsamlı önleme faaliyetleri için birincil ortamdır. Standart bilgi faaliyetleri, uyuşturucu kullanımının önlenmesinde önemli bir rol oynamaya devam etmektedir. Bununla birlikte, kişisel beceri geliştirme ve akran temelli eğitim yöntemleri önleme faaliyetlerine giderek daha fazla dahil edilmektedir.

## 4. ULUSAL ÖNLEME ÇALIŞMALARI

Madde kullanımı/bağımlılığı ve bunlarla ilgili bozukluklar ulusal bir sağlık problemidir (Videbeck, 2004). Türkiye'de yapılan temel önleme faaliyetleri, insanların uyuşturucu konusundaki farkındalığını artırmaya ve bilginin yaygınlaştırılmasına odaklanmaktadır. Gençler arasında bireysel ve sosyal becerileri artırmayı amaçlayan bazı girişimler ve savunmasız popülasyonlar arasında uyuşturucu madde alımını engelleyebilecek destek ortamları kısa süre önce başlatılmıştır. Türk okullarında uyuşturucu önleminin uygulanmasından doğrudan Milli Eğitim Bakanlığı sorumludur. Gençleri hedef alan önleme müdahaleleri sivil toplum örgütleri tarafından da desteklenmektedir. Kullanılan yöntemler danışmanlık desteği, seminerler, tartışma panelleri ve konferansları içerir. Manuel olarak hazırlanmış programlar nadirdir. Bazı ailelere yönelik önleme projeleri, okul danışma merkezleriyle işbirliği içinde yürütülür. Toplum düzeyinde, önleme faaliyetleri esas olarak bilgi verme üzerine kuruludur. Mevcut az sayıdaki seçici önleme faaliyetleri ise farkındalık yaratma ve bilgi sağlama üzerine yoğunlaşır (<http://www.emcdda.europa.eu/countries>).

TUBİM'in 2016 Ulusal Raporu'na göre;

- 2015 yılında Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı okullarda madde bağımlılığı ile mücadeleyle yönelik düzenlenen (seminer, toplantı, film, tiyatro gibi) etkinliklere ve çalışmalara katılan çok sayıda öğrenci, veli ve öğretmene bilgilendirme yapılmış, madde bağımlılığı ile mücadeleyle ilişkin farkındalık ve tutum kazandırılmaya çalışılmıştır.

- Türkiye Yeşilay Cemiyeti ile MEB arasında imzalanan ‘Bağımlılıkla Mücadele Eğitim Protokolü’ aracılığı ile veli, öğretmen ve öğrenci eğitimleri yapılmıştır.
- Bağımlılık ve bağımlılıkla mücadele konusunda antrenörlere, gençlere ve yurtlarda kalan öğrencilere eğitimler verilmiştir.
- Diyanet İşleri Başkanlığı ile Türkiye Diyanet Vakfı işbirliği ile 2015’te ilk defa 10 günlük ‘Umre Programı’ düzenlenmiştir (AMATEM’lerde bağımlılık tedavisini tamamlamış gençlere yönelik).
- AMATEM bulunan bazı illerde madde bağımlılığı tedavisini tamamlamış kişilere yönelik Ramazan ayında iftar programları gerçekleştirilmiştir.
- Diyanet TV’de yayınlanan ‘Çılgılık’ programında madde bağımlısı bir gencin ve ailesinin yaşadıklarına yer verilerek uzman görüşleri alınmış ve dönemsel açıdan evlat yetiştirmenin önemi vurgulanmıştır.
- Diyanet İşleri Başkanlığı ile Türkiye Yeşilay Cemiyeti arasında imzalanan protokol kapsamında ‘Bağımlılıkla Mücadele Koordinatör Din Görevlisi’ olarak görev yapan personele ilişkin ‘Türkiye Bağımlılıkla Mücadele Eğitim Programı’ düzenlenmiştir.
- 81 ilden vaiz, Din Hizmetleri Uzmanı, Eğitim Uzmanı, Kur’an Kursu öğreticisi ve İmam Hatiplerin de aralarında olduğu din görevlilerine bağımlılık ile mücadele konularında dersler verilerek tecrübeler paylaşılmıştır.
- Türkiye İş Kurumu tarafından uyuşturucu madde bağımlılarına iş ve meslek danışmanlığı hizmetleri, meslek edindirme kursları, işbaşı eğitimleri, girişimcilik eğitimleri ve işe yerleştirme hizmetleri sunulmaktadır.
- TRT radyo ve televizyon kanallarında konu ile ilgili 33 adet yayın yapılmış ve 18 farklı kamu spotu yayınlanmıştır.
- Genel Kurmay Başkanlığı tarafından er/erbaşa bağımlılık ile mücadele eğitimi verilmiştir.
- Adalet Bakanlığı Denetimli Serbestlik Müdürlüklerinde çalışan uzmanlar tarafından bireysel görüşmeler ve grup çalışmaları yapılmıştır.
- Adalet Bakanlığı tarafından SAMBA, Öfke Kontrol Programı, Hayat İçin Değişim, Genç SAMBA ve diğer konularda 49 eğitim ve çalıştay düzenlenmiştir. Ayrıca “Hayır” Diyebilme, Duyguları Tanıma, Düşünce Tarzları, Stresle Başa Çıkabilme, Aile İçi İletişim, Ebeveyn Tutumları, Bağımlılık, Öfkeyi Tanıma, İletişim Becerileri, Çatışma Çözme, Motivasyon konuları ile ilgili seminerler düzenlenmiştir (<http://www.narkotik.pol.tr/TUBIM/Documents/TURKIYE%20UYUSTURUCU%20RAPORU%202016.pdf>).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Madde bağımlılığının önlenmesi, yalnızca bireysel değil toplumsal bir sorumluluk gerektiren çok boyutlu bir halk sağlığı meselesidir. Ulusal ve uluslararası veriler incelendiğinde, okul temelli yaşam becerileri programları, aile katılımı ve çevresel düzenlemelerin bir arada uygulandığı bütüncül yaklaşımların en etkili sonuçları verdiği görülmektedir. Psikiyatri hemşireleri bu süreçte birincil önlemeden üçüncül rehabilitasyona uzanan geniş bir yelpazede kritik roller üstlenmektedir. Bu doğrultuda ruh sağlığı ve psikiyatri hemşireleri ile okul hemşireleri yalnızca sağlık hizmetleri sunmakla kalmayıp kanıta dayalı önleme programlarının tasarımı ve uygulamasında aktif rol üstlenmelidir. Önleme çalışmaları bilgi aktarımının ötesine geçerek akran baskısıyla başa çıkma, duygusal düzenleme ve reddetme becerileri gibi uygulamalı yetkinlikleri kapsamalıdır. Türkiye'de mevcut önleme faaliyetlerinin büyük ölçüde farkındalık odaklı kaldığı göz önünde bulundurulduğunda, etkileşimli ve bireyselleştirilmiş müdahale modellerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Risk altındaki gruplara yönelik seçici önleme programları güçlendirilmeli; aile, okul ve toplum iş birliğine dayalı multidisipliner ekip çalışması teşvik edilmelidir. Son olarak hemşirelik eğitim müfredatında madde bağımlılığının önlenmesine ayrılan yer genişletilmeli ve hemşireler bu alanda politika geliştirme süreçlerine dahil edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Amin, U., Malla, A. M., Amin, I., & Jan, R. (2023). Substance abuse: A public health concern. *Indian Journal of Psychiatric Nursing*, 20(2), 168-178. [https://doi.org/10.4103/iopn.iopn\\_25\\_23](https://doi.org/10.4103/iopn.iopn_25_23)
- Beeber L. S. (2019). Mental health issues and substance use in the United States: Pulling the power levers. *Journal of the American Psychiatric Nurses Association*, 25(1), 19–26. <https://doi.org/10.1177/1078390318811572>
- Degenhardt, L., Stockings, E., Patton, G., Hall, W. D., & Lynskey, M. (2016). The increasing global health priority of substance use in young people. *The Lancet Psychiatry*, 3(3), 251–264. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(15\)00508-8](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(15)00508-8)
- Hansen, J., Hanewinkel, R., Maruska, K., & Isensee, B. (2011). The 'Eigenständig werden' prevention trial: a cluster randomised controlled study on a school-based life skills programme to prevent substance use onset. *BMJ open*, 1(2), e000352. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2011-000352>
- Hodder, R. K., Freund, M., Wolfenden, L., Bowman, J., Nepal, S., Dray, J., et al. (2017). Systematic review of universal school-based 'resilience' interventions targeting adolescent tobacco, alcohol or illicit substance use: A meta-analysis. *Preventive Medicine*, 100, 248-268. [http://eos.aeo.org.tr/userfiles/files/230\\_2014-Turkiye-Uyusturucu-Raporu-Hakkinda.pdf](http://eos.aeo.org.tr/userfiles/files/230_2014-Turkiye-Uyusturucu-Raporu-Hakkinda.pdf) Erişim Tarihi:18.10.2017.

<http://www.emcdda.europa.eu/countries> Erişim Tarihi:18.10.2017. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction. (n.d.). *Countries*. Retrieved October 18, 2017, from <https://www.emcdda.europa.eu/countries>

Jenkins, E., Currie, L. M., Hirani, S., Garrod, E., Goodyear, T., McGuinness, L., David, A., & Bonnie, K. (2022). Enhancing nurses' capacity to provide concurrent mental health and substance use disorder care: A quasi-experimental intervention study. *Nurse Education Today*, 117, 105483. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2022.105483>

Kring, A. M., Johnson, S. L., Davison, G., & Neale, J. (2017). *Anormal Psikolojisi* (p. 285-330). Çev. Ed: M. Şahin. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.

Stuart, G. W. (2013). *Principles and Practice of Psychiatric Nursing* (p. 433-476). China: Elsevier.

T.C. İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü Narkotik Suçlarla Mücadele Daire Başkanlığı. (2017). *EMCDDA 2016 ulusal raporu (2015 verileri): Reitox ulusal temas noktası Türkiye*. Türkiye Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi (TUBİM). [http://eos.aeo.org.tr/userfiles/files/230\\_2014-Turkiye-Uyusturucu-Raporu-Hakkinda.pdf](http://eos.aeo.org.tr/userfiles/files/230_2014-Turkiye-Uyusturucu-Raporu-Hakkinda.pdf)

## SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPILAR İÇİN HARÇSIZ GEÇMELİ GEOPOLİMER TUĞLA TASARIMI VE PROTOTİP ÜRETİMİ

Ferhat SUNGUR<sup>1/</sup> Erinç Başar CANBAZ<sup>2/</sup> Beste KUNT<sup>3/</sup> Ayşenur EREN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[ferhatsungur@hotmail.com](mailto:ferhatsungur@hotmail.com), ORCID: 0000-0003-2350-1628

<sup>2</sup> Eskisehir Fatih Science High School, Türkiye,  
[canbaz2023@gmail.com](mailto:canbaz2023@gmail.com), ORCID: 0009-0009-4589-2106

<sup>3</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[bestekuntt@gmail.com](mailto:bestekuntt@gmail.com), ORCID: 0009-0009-6341-4175

<sup>4</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[erennurayse@gmail.com](mailto:erennurayse@gmail.com), ORCID: 0009-0008-4261-1156

### Özet

Geleneksel yığma yapı sistemleri, yüksek enerji yoğunluklu çimento esaslı harç kullanımına ve zaman alıcı işçilik süreçlerine dayanmaktadır. Küresel iklim krizi ve artan inşaat maliyetleri, yapı sektörünü hem çevresel sürdürülebilirliği destekleyen hem de inşaat hızını artıran yenilikçi çözümlere yöneltmektedir. Bu çalışma, sürdürülebilir yapılar için endüstriyel atık katkılı, harçsız geçmeli bir geopolimer tuğla tasarımı ve prototip üretim sürecini kapsamaktadır. Çalışma kapsamında, ilk olarak tuğlaların birbirine mekanik olarak kilitlenmesini sağlayan, yatay ve düşey yer değiştirmeleri kısıtlayan "erkek-dişi" geometrik konfigürasyonu tasarlanmıştır. Tasarlanan geometrinin fiziksel hassasiyetini doğrulamak amacıyla 3D yazıcı teknolojisi kullanılarak ölçekli modeller üretilmiş; köşe birleşimleri, kapı ve pencere boşlukları gibi fonksiyonel detaylar modüler bir sistem içerisinde çözümlenmiştir. Malzeme bazında ise çevresel etkiyi minimize etmek amacıyla Portland çimentosuna alternatif olarak, cam ve kiremit tozu gibi endüstriyel atıkların alkali aktivasyonu ile elde edilen geopolimer bağlayıcılar tercih edilmiştir. Prototip üretim aşamasında, karmaşık geometrik formların yüksek doğrulukla elde edilebilmesi için 3D yazıcı ile üretilen negatif kalıplar kullanılarak döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar geliştirilen harçsız geçmeli sistemin geleneksel yığma yapılara kıyasla inşaat süresini ve işçilik hatalarını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Ayrıca, bloklar arasındaki kuru derzlerin sürtünme mekanizması sayesinde sistemin sismik sarsıntılar altında enerji sönmüleme kapasitesinin arttığı ve daha sünek bir davranış sergilediği öngörülmektedir. Bu çalışma, endüstriyel atıkların katma değerli yapı elemanlarına dönüştürülmesi ve düşük karbonlu, depreme dayanıklı modern konut sistemlerinin geliştirilmesi açısından stratejik bir model sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Harçsız geçmeli tuğla, geopolimer, sürdürülebilir yapılar, endüstriyel atıklar



## DESIGN AND PROTOTYPE PRODUCTION OF MORTARLESS INTERLOCKING GEOPOLYMER BRICKS FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION

Ferhat SUNGUR<sup>1</sup>/ Erine Başar CANBAZ<sup>2</sup>/ Beste KUNT<sup>3</sup>/ Ayşenur EREN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[ferhatsungur@hotmail.com](mailto:ferhatsungur@hotmail.com), ORCID: 0000-0003-2350-1628

<sup>2</sup> Eskisehir Fatih Science High School, Türkiye,  
[canbaz2023@gmail.com](mailto:canbaz2023@gmail.com), ORCID: 0009-0009-4589-2106

<sup>3</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[bestekuntt@gmail.com](mailto:bestekuntt@gmail.com), ORCID: 0009-0009-6341-4175

<sup>4</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[erennurayse@gmail.com](mailto:erennurayse@gmail.com), ORCID: 0009-0008-4261-1156

### Abstract

Traditional masonry systems rely on energy intensive cement based mortars and time consuming labor processes. The global climate crisis and rising construction costs are driving the industry toward innovative solutions that support environmental sustainability and accelerate construction speed. This study covers the design and prototype production of an industrial waste-added, mortarless interlocking geopolymer brick for sustainable structures. Within the scope of the study, a "male-female" (protrusion-indentation) geometric configuration was designed to ensure mechanical interlocking and restrict lateral and vertical displacements. To verify the physical precision of the proposed geometry, scaled models were produced using 3D printing technology; functional details such as corner junctions, door, and window openings were resolved within a modular system. In terms of materials, geopolymer binders obtained through the alkaline activation of industrial wastes like glass and tile powder were preferred as an alternative to Portland cement to minimize environmental impact. In the prototype production stage, casting was performed using negative molds produced by 3D printers to achieve high geometric accuracy. The results indicate that the developed mortarless interlocking system significantly reduces construction time and labor errors compared to traditional masonry. Furthermore, it is anticipated that the systems energy dissipation capacity under seismic tremors increases and exhibits a more ductile behavior due to the friction mechanism of the dry joints between blocks. This study presents a strategic model for converting industrial waste into value added structural components and developing low carbon, earthquake resistant modern housing systems.

**Key words:** Interlocking brick, geopolymer, sustainable construction, industrial wastes

## 1. INTRODUCTION

Traditional masonry techniques rely heavily on the use of cement mortar, which is both energy intensive and labor oriented. However, contemporary global challenges such as climate change and resource scarcity have compelled the construction industry to seek alternative systems with a lower carbon footprint. In this context, interlocking mortarless block systems emerge as a significant solution that maximizes sustainability without compromising structural integrity (Edwards et al., 2010). The fundamental mechanism of mortarless systems is based on the principle of bricks locking into one another through specialized geometric forms, which ensures that vertical and lateral loads are transferred through mechanical friction and geometric interlocking rather than a mortar bed (Al Fakih et al., 2018). From a structural perspective, the interlocking shapes play a decisive role in the overall stability of the system. Experimental and numerical investigations have shown that the compressive properties and the cyclic behavior of these joints vary significantly depending on the interlocking geometry (Shi et al., 2021; Liu et al., 2016). Furthermore, when these systems are reinforced, they exhibit enhanced performance under demanding conditions. Recent studies have focused on the response of reinforced mortarless interlocking brick walls under seismic and cyclic loading, demonstrating their potential for resilient infrastructure (Xie et al., 2022; Xie et al., 2023). The efficiency of interlocking blocks is not limited to structural performance; it also encompasses the speed of construction. Accelerated masonry construction techniques provide a promising future for rapid housing development by minimizing the need for highly skilled labor and reducing the construction timeline (Ramamurthy & Kunhanandan Nambiar, 2004). This efficiency makes the system particularly attractive for both low cost housing and high performance structural applications, such as reinforced interlocking block columns (Lee et al., 2017). Different types of interlocking blocks and their applications are shown in Figure 1. Despite these advantages, achieving a balance between ease of production and mechanical reliability remains a key challenge. General reviews of the development of interlocking masonry suggest that while the technology has matured, there is still a need for optimized designs that facilitate sustainable prototype production (Khan & Deshmukh, 2015). This study aims to address these needs by focusing on the design and prototype production of a new generation of mortarless interlocking bricks, integrating structural efficiency with sustainable material practices to support the next generation of eco friendly construction.



**Figure 1.** Types of interlocking blocks and defence application (Khan, 2015; Defence Turkey Magazine)

## 2. STRUCTURAL AND SEISMIC BEHAVIOR OF INTERLOCKING MORTARLESS MASONRY

One of the most prominent seismic advantages of interlocking mortarless systems is their high energy dissipation capacity, which stands in stark contrast to the rigid and brittle nature of traditional mortared walls. While conventional structures tend to fail abruptly under seismic loads through severe cracking, the "dry joints" between interlocking bricks act as micro seismic isolators. During an earthquake, the micro level sliding and friction between the blocks allow a significant portion of the seismic energy to be dissipated as heat. This frictional mechanism reduces the total seismic demand on the structure and helps the system achieve a more ductile character (Liu et al., 2016). When utilized as infill walls within reinforced concrete (RC) frame systems, these units exhibit a more compatible interaction with the load bearing frame. The heavy diagonal "X shaped" cracks observed in traditional infill walls which uncontrollably increase structural stiffness are replaced in mortarless systems by controlled movements distributed across the joints. The brick units themselves generally maintain their structural integrity, with damage primarily confined to the interfaces between blocks. This minimizes excessive stress on RC columns and beams and mitigates undesirable structural defects such as the "short column" effect, thereby supporting the overall safety of the frame (Xie et al., 2023). In masonry construction, the critical risk factor of out of plane wall collapse is largely restrained by the geometric interlocking features of the bricks. The locking mechanism, composed of protrusions and indentations (keys),

ensures that the wall acts as a cohesive unit and prevents individual blocks from being displaced. As highlighted in the studies by Lee et al. (2017) and Xie et al. (2022), the integration of vertical reinforcement and grout into the brick cavities allows the system to function as a monolithic panel, creating immense resistance against overturning moments. Figure 2 shows how a conventional wall and a wall made of interlocking bricks behave under seismic loads.

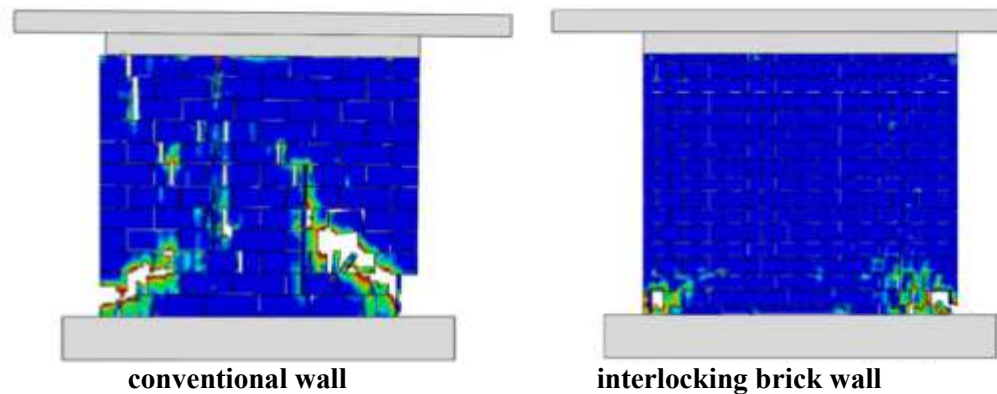


**Figure 2.** Simulation of wall failure under seismic load (Xie et al., 2022)

Interlocking mortarless brick systems demonstrate superior performance in terms of post earthquake repairability and "self centering" capability. Following low to moderate intensity tremors, blocks that have shifted due to friction in the dry joints often return to a position near their original state, aided by the effects of gravity. While a traditional wall would require complete demolition and reconstruction after an earthquake, mortarless systems may only necessitate the mechanical realignment of shifted blocks or the replacement of a limited number of damaged units (Edwards et al., 2010). This characteristic holds strategic importance for the rapid restoration of housing needs and the reduction of economic losses following a disaster.

### **3. BENEFITS OF GEOPOLYMER BINDERS IN MORTARLESS BLOCK PRODUCTION**

The use of geopolymers significantly enhances the environmental sustainability of the project by substantially reducing the high carbon dioxide emissions associated with traditional Portland cement (OPC) production. This technology, which allows for the high level recycling of industrial by products such as marble powder, fly ash, and ground granulated blast furnace slag within the binder matrix, supports the circular economy model in waste management. Furthermore, unlike the energy intensive process required for burning clinker, the ability of geopolymers to harden at room temperature or through low temperature curing minimizes the carbon footprint of the production process. In terms of mechanical performance, geopolymers provide the high early strength and dimensional stability required by the interlocking "key" structures, which are the most critical components of mortarless systems. Geopolymer blocks, which exhibit lower drying shrinkage compared to traditional cementitious systems, maintain their geometric tolerances with precision after production. This dimensional

stability ensures a perfect fit between blocks, thereby increasing the total stability of the wall and maximizing the mechanical interlocking advantages of the mortarless design. Regarding durability, the amorphous polymeric structure of geopolymers renders the blocks more resistant to harsh environmental conditions. Unlike Portland cement based materials, geopolymers exhibit superior resistance to sulfate attacks and acidic environments, thereby extending the service life of the structural elements. Additionally, due to their inorganic nature, these blocks possess excellent fire resistance, maintaining their structural integrity for longer periods under high temperatures and contributing directly to the fire safety of buildings. The pore structure and low thermal conductivity of geopolymer materials, when combined with the air gaps provided by the mortarless design, offer enhanced thermal insulation performance in structures. This synergy increases the energy efficiency of sustainable buildings, leading to significant savings in heating and cooling costs. The use of an eco friendly binder combined with high insulation capacity makes these blocks an ideal structural component for modern green building standards.

#### 4. INTERLOCKING BRICK DESING

The geometric configuration of interlocking bricks is the most critical factor determining the structural integrity and self-alignment capability of mortarless masonry. In this study, a new generation of interlocking brick was designed with a focus on maximizing mechanical interlocking and facilitating ease of assembly. As shown in Figure 3, the design features a male-female (protrusion and indentation) coupling system on the top and bottom surfaces, respectively. This configuration ensures that the blocks are constrained against lateral displacements, while the vertical cavities are designed to allow for the integration of reinforcement and grout if necessary.

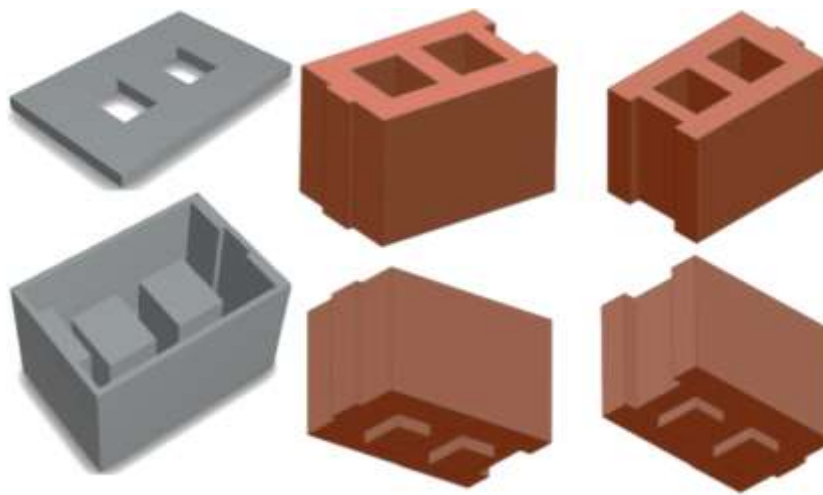


**Figure 3.** Interlocking brick and mold design





**Figure 4.** Interlocking brick models produced with a 3D printer

To evaluate the physical feasibility of the proposed geometry, initial models were produced using 3D printing technology. Figure 4 illustrates the various interlocking brick models generated through additive manufacturing. These 3D-printed models allowed for the verification of the tolerances between the interlocking keys, ensuring that the blocks could be assembled smoothly without excessive gaps. Furthermore, the design was expanded to include specialized units for functional structural elements. As depicted in Figure 5, detailed designs for door and window openings, as well as corner junctions, were developed to provide a complete modular system for building construction.





**Figure 5.** Door, window and corner details

## 5. PROTOTYPE PRODUCTION

Following the finalization of the geometric design, the transition from digital models to physical prototypes was conducted using geopolymer technology. The production process began with the fabrication of high precision molds. As illustrated in Figure 6, 3D printing was utilized to create the negative molds, ensuring that the complex interlocking features were captured with high accuracy. This method provides a cost effective and rapid alternative to traditional steel or timber mold fabrication, especially for research scale prototype development.



**Figure 6.** Mold production using a 3D printer

The material used for the prototype production was a geopolymer composite, selected for its environmental benefits and superior mechanical properties. The geopolymer paste was prepared by activating industrial by products with an alkaline solution, achieving a workable consistency suitable for casting. Figure 7 demonstrates the geopolymer production phase and the subsequent placement of the fresh mix into the 3D printed prototype molds. During the casting process, vibration was applied to ensure full compaction and to eliminate air voids, particularly around the interlocking keys. Following the controlled curing process, the prototypes were removed from the mould and became ready to use, sustainable, interlocking blocks.



**Figure 7.** Geopolymer production and placement into a prototype mold

## 6. CONCLUSION

This study successfully demonstrated the design and prototype production of a sustainable, mortarless interlocking geopolymer brick system. The integration of geopolymer technology with interlocking masonry offers a multifaceted solution to the environmental and structural challenges of the modern construction industry. The following results were obtained in this study:

- The use of geopolymer binders, particularly those incorporating industrial waste such as glass powder, significantly reduces the carbon footprint compared to traditional Portland cement based blocks. This approach supports circular economy principles by repurposing waste into high value structural components.
- The male-female interlocking mechanism eliminates the need for bedding mortar, which not only accelerates the construction process but also reduces labor costs. The 3D printing technology used in the mold and prototype phase allowed for high geometric precision, ensuring a perfect fit between units.
- The "dry-joint" nature of the system provides superior energy dissipation during seismic events. Through friction and controlled micro sliding between the blocks, the system acts as a natural dampener, enhancing the ductility and overall stability of the structure compared to rigid, brittle conventional masonry.
- The modular design, including specialized units for corners and openings, proves that this system is ready for real world architectural applications. The self aligning nature of the blocks ensures quality control even with less specialized labor.

In conclusion, the developed interlocking geopolymer bricks represent a viable, eco-friendly, and resilient alternative for the next generation of green buildings. Future studies will focus on the large scale mechanical testing and long term durability assessment of these prototypes under various environmental conditions.

## REFERENCES

- Al Fakih, A., Mohammed, B. S., Nuruddin, F., & Nikbakht, E. (2018). Development of interlocking masonry bricks and its' structural behaviour: A review paper. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 140, No. 1, p. 012127). IOP Publishing.
- Edwards, J., Gayed, M., Pyra, M., & Rodriguez, T. (2010). Design and construction of interlocking mortarless block masonry. In Proceedings of the 2nd Masonry Mini Symposium. University of Alberta, Edmonton, Alberta (pp. 4 30).
- Khan, S. S., & Deshmukh, A. S. (2015). Mortarless masonry with interlocking blocks. International Journal of Research in Engineering, Science and Technologies, 1(8), 314 319.
- Lee, Y. H., Shek, P. N., & Mohammad, S. (2017). Structural performance of reinforced interlocking blocks column. Construction and Building Materials, 142, 469 481.
- Liu, H., Liu, P., Lin, K., & Zhao, S. (2016). Cyclic behavior of mortarless brick joints with different interlocking shapes. Materials, 9(3), 166.
- Ramamurthy, K., & Kunhanandan Nambiar, E. K. (2004). Accelerated masonry construction review and future prospects. Progress in Structural Engineering and Materials, 6(1), 1 9.
- Shi, T., Zhang, X., Hao, H., & Chen, C. (2021). Experimental and numerical investigation on the compressive properties of interlocking blocks. Engineering Structures, 228, 111561.
- Xie, G., Zhang, X., Hao, H., Bi, K., & Lin, Y. (2022). Response of reinforced mortar less interlocking brick wall under seismic loading. Bulletin of Earthquake Engineering, 20(11), 6129 6165.
- Xie, G., Zhang, X., Hao, H., Shi, T., Cui, L., & Thomas, J. (2023). Behaviour of reinforced mortarless interlocking brick wall under cyclic loading. Engineering Structures, 283, 115890.

## ATIK CAM VE KİREMİT TOZU ESASLI GEOPOLİMERLERİN MEKANİK PERFORMANSINDA CAM ELYAF TAKVİYESİNİN ROLÜ

Ferhat SUNGUR<sup>1</sup>/ Erinç Başar CANBAZ<sup>2</sup>/ Ayşenur EREN<sup>3</sup>/ Beste KUNT<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[ferhatsungur@hotmail.com](mailto:ferhatsungur@hotmail.com), ORCID: 0000-0003-2350-1628

<sup>2</sup> Eskisehir Fatih Science High School, Türkiye,  
[canbaz2023@gmail.com](mailto:canbaz2023@gmail.com), ORCID: 0009-0009-4589-2106

<sup>3</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[erennurayse@gmail.com](mailto:erennurayse@gmail.com), ORCID: 0009-0008-4261-1156

<sup>4</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[bestekunt@gmail.com](mailto:bestekunt@gmail.com), ORCID: 0009-0009-6341-4175

### Özet

Bu çalışmada, atık cam tozu ( $\text{SiO}_2$  kaynağı) ve atık kiremit tozu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaynağı) kullanılarak üretilen geopolimer bağlayıcıların mekanik performansının, %2 oranında mikro sentetik elyaf ilavesi ile geliştirilmesi amaçlanmıştır. Referans karışımlarda olduğu gibi farklı NaOH aktivatör oranları kullanılarak hazırlanan numunelere, çekme mukavemeti 625 MPa ve elastisite modülü 5 GPa olan, 6 mm uzunluğunda mikro sentetik elyaflar ilave edilmiştir. Elyafların düşük yoğunluğu ( $0.91 \text{ g/cm}^3$ ), yüksek uzama kapasitesi (%14) ve kimyasal dayanımı, geopolimer matris ile uyumlu bir takviye mekanizması sağlamaktadır. Üretilen numuneler üzerinde 28 günlük kür sürelerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme, basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, elyaf ilavesinin özellikle çekme ve eğilme dayanımı üzerinde belirgin bir iyileşme sağladığını göstermiştir. Elyaflar, çatlak ilerlemesini sınırlandırarak yük altında enerji yutma kapasitesini artırmış ve daha sünek bir kırılma davranışı oluşmasına katkı sağlamıştır. Basınç dayanımı üzerinde ise sınırlı ancak genel olarak olumlu bir etki gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, %2 oranında mikro sentetik elyaf ilavesinin, atık temelli geopolimerlerin mekanik performansını özellikle çekme ve eğilme davranışı açısından iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, elyaf takviyeli geopolimerlerin yapı malzemesi olarak kullanım potansiyelini artırmakta ve çatlak kontrolü gerektiren uygulamalar için uygun bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Geopolimer, atık cam tozu, kiremit tozu, elyaf takviyesi

## THE ROLE OF GLASS FIBER REINFORCEMENT ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF WASTE GLASS AND TILE POWDER BASED GEOPOLYMERS

Ferhat SUNGUR<sup>1</sup>/ Erine Başar CANBAZ<sup>2</sup>/ Ayşenur EREN<sup>3</sup>/ Beste KUNT<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[ferhatsungur@hotmail.com](mailto:ferhatsungur@hotmail.com), ORCID: 0000-0003-2350-1628

<sup>2</sup> Eskisehir Fatih Science High School, Türkiye,  
[canbaz2023@gmail.com](mailto:canbaz2023@gmail.com), ORCID: 0009-0009-4589-2106

<sup>3</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[erennurayse@gmail.com](mailto:erennurayse@gmail.com), ORCID: 0009-0008-4261-1156

<sup>4</sup> Eskisehir Bursa Istanbul Science High School, Türkiye,  
[bestekuntt@gmail.com](mailto:bestekuntt@gmail.com), ORCID: 0009-0009-6341-4175

### Abstract

In this study, the effect of 2% micro synthetic fiber reinforcement on the mechanical performance of geopolymer binders produced using waste glass powder ( $\text{SiO}_2$  source) and waste tile powder ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  source) was investigated. Similar to the reference mixtures, samples were prepared with different NaOH activator ratios, and micro synthetic fibers with a tensile strength of 625 MPa, elastic modulus of 5 GPa, and length of 6 mm were incorporated into the mixtures. The fibers exhibit low density ( $0.91 \text{ g/cm}^3$ ), high elongation capacity (14%), and excellent chemical resistance, providing compatibility with the geopolymer matrix. Physical and mechanical tests, including unit weight, ultrasonic pulse velocity, flexural strength, compressive strength, and splitting tensile strength, were conducted at curing ages of 28 days. The results indicate that fiber addition significantly improves the flexural and tensile strength of geopolymer composites. The fibers effectively control crack propagation, enhance energy absorption capacity, and contribute to a more ductile failure behavior. The effect on compressive strength was limited but generally positive. Overall, the incorporation of 2% micro synthetic fibers improves the mechanical performance of waste-based geopolymers, particularly in terms of tensile and flexural behavior. These findings highlight the potential use of fiber-reinforced geopolymers as structural and non-structural building materials with enhanced crack resistance.

**Keywords:** Geopolymer, waste glass powder, tile powder, fiber reinforcement

## 1. INTRODUCTION

The escalating demand for construction materials globally has intensified the reliance on Portland cement, a process inherently linked to high energy consumption and significant carbon dioxide emissions (Jalal et al., 2025). To mitigate these environmental impacts, geopolymer technology has emerged as a sustainable, low-carbon alternative to traditional binders (Li, 2026). The utilization of industrial and urban mineral wastes as aluminosilicate sources in geopolymer production is crucial for advancing circular economy principles (Nodehi et al., 2026). Specifically, the integration of waste glass powder, characterized by its high silica ( $\text{SiO}_2$ ) content, alongside alumina-rich ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) waste tile and brick powders, serves a dual purpose: it addresses waste management challenges and leverages the pozzolanic reactivity of these materials (Chen et al., 2025). The hybrid use of these precursors optimizes the chemical composition of the geopolymer matrix, facilitating the development of a denser and more robust microstructure (Abdulkareem et al., 2023).

While geopolymers exhibit superior properties such as high compressive strength and excellent thermal resistance, they are characterized by a ceramic-like brittle fracture behavior (Davidovits, 2017). This inherent brittleness leads to sudden failure under tensile and flexural stresses, thereby limiting their practical structural applications (Maaz et al., 2023). To overcome this limitation and impart ductility to the matrix, the incorporation of various micro and macro fibers as reinforcement has become a focal point of research (Farooq et al., 2019). Synthetic fibers, in particular, are highly compatible with geopolymer matrices due to their high tensile strength, low density, and exceptional chemical resistance in alkaline environments (Azevedo et al., 2021). The homogeneous distribution of micro fibers within the matrix effectively controls micro crack propagation through bridging mechanisms, significantly enhancing the material's energy absorption capacity and overall toughness (Li et al., 2024).

This study focuses on improving the mechanical performance of geopolymer binders synthesized from a combination of waste glass and tile powders. The originality of this research lies in the comprehensive analysis of the effects of 2% micro-synthetic fiber reinforcement on crack control and ductility within a matrix derived entirely from waste-based precursors. Within this scope, the influence of varying sodium hydroxide (NaOH) activator ratios and the contribution of fibers to physical and mechanical properties including ultrasonic pulse velocity, compressive, flexural, and splitting tensile strengths—were evaluated at a curing age of 28 days. The primary objective of this research is to modify the brittle nature of waste-based geopolymers to develop a new generation of eco-friendly composite materials with enhanced crack resistance suitable for both structural and non-structural building applications.



## 2. METHOD

The binder phase of the geopolymer composites was synthesized using two distinct industrial waste streams: waste glass powder (WGP) and waste tile powder (WTP). To ensure high pozzolanic reactivity, both precursors were ground to a fine particle size of less than 45  $\mu\text{m}$  (Figure 1).



**Figure 1.** (a) Brick powder, (b) glass powder, and (c) sodium hydroxide (d) micro-synthetic fiber

The chemical compositions, as detailed in Table 1, highlight the high silica content of WGP and the alumina-rich nature of WTP.

**Table 1.** Chemical properties of used waste materials

| Component        | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  |
|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|
| Tile powder (%)  | 63.29            | 18.29                          | 4.32                           | 4.46 |
| Glass powder (%) | 71.30            | 2.18                           | 0.60                           | 9.8  |

The geopolymerization process was initiated using a sodium hydroxide ( $\text{NaOH}$ ) solution as the sole alkaline activator. This selection was strategically made to balance the chemical system, as the inherent silica in the glass powder compensated for the absence of sodium silicate. For the reinforced series, micro-synthetic fibers characterized by a tensile strength of 625 MPa and an elastic modulus of 5 GPa were incorporated into the matrix at a constant dosage of 2% by volume. The technical properties and physical appearance of these fibers are presented in Table 2 and Figure 1d, respectively.

**Table 2.** Properties of micro fiber

| tensile strength | elastic modulus | length | density, $\text{kg/dm}^3$ |
|------------------|-----------------|--------|---------------------------|
| 625 MPa          | 5 GPa           | 6 mm   | 0.91                      |

The mixture proportions, optimized for both workability and mechanical performance, are summarized in Table 3. The preparation process began with the dissolution of  $\text{NaOH}$  in tap water to reach the target molarity. The precursor powders (WGP and WTP) were then dry-mixed before the gradual addition of the alkaline activator to achieve a homogeneous paste. For the fiber-reinforced mixtures, the micro-synthetic fibers were introduced during the final mixing stage and dispersed thoroughly to prevent agglomeration and ensure a uniform distribution within the matrix.

**Table 3.** Mixture proportions

| Na, %                     | 3    | 6    | 9    | 3     | 6     | 9     |
|---------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| waste tile powder/binder  | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40  | 0.40  | 0.40  |
| waste glass powder/binder | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60  | 0.60  | 0.60  |
| caustic soda/binder       | 0.04 | 0.08 | 0.12 | 0.04  | 0.08  | 0.12  |
| water/binder              | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30  | 0.30  | 0.30  |
| fiber/binder              | 0    | 0    | 0    | 0.015 | 0.015 | 0.015 |

Following the mixing procedure, the fresh geopolymer mortars were cast into standard 4x4x16 cm prismatic steel molds (Figure 2) in accordance with TS EN 196-1. Compaction was facilitated using a vibrating table to eliminate entrapped air. After a 24-hour ambient setting period, the specimens were demolded and subjected to a thermal curing cycle at 60 °C for 3 hours. Subsequently, the samples were kept under laboratory conditions until the designated testing ages.



**Figure 2.** (a) Fresh mixture, (b) prismatic molds (4 × 4 × 16 cm)

The physical and mechanical evolution of the geopolymer composites was systematically evaluated at 7, 14, and 28 days to monitor the strength development and structural integrity over time. Initially, non-destructive testing was performed, including unit weight measurements and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) analysis (Figure 3a, 3b) to assess the unit weight, internal homogeneity, and potential void content of the specimens. Following these physical assessments, the mechanical performance was determined starting with the flexural strength via a three-point bending test (Figure 3c). In strict accordance with TS EN 196-1 protocols, the prism halves resulting from the flexural failure were subsequently utilized for compressive strength and splitting tensile strength evaluations (Figure 3d, 3e). For the compression tests, 4x4 cm steel plates were positioned on the specimen surfaces to ensure a uniform distribution of the applied load. The splitting tensile tests were particularly emphasized to quantify the efficacy of the 2% micro-synthetic fiber reinforcement in enhancing the post-cracking capacity and ductility of the inherently brittle geopolymer matrix. All experimental procedures

were conducted on at least three identical specimens for each condition, and the results were reported as the arithmetic mean to ensure statistical consistency and minimize experimental variability..



**Figure 3.** (a) ultrasonic pulse tests, (b) unit weight (c) flexural, (d) compressive, (e) splitting tensile,

### 3. DISCUSSION

The experimental results for the unit weight of the geopolymer composites, as illustrated in Figure 4, reveal a dual dependency on the alkaline activator dosage and the presence of fiber reinforcement. It is observed that increasing the Na concentration from 3% to 9% significantly enhances the density of the geopolymer matrix; specifically, the reference mixtures experienced a total increase of 8.5%, rising from 1,753 kg/m<sup>3</sup> to 1,902 kg/m<sup>3</sup>. This upward trend can be attributed to the more effective dissolution of the aluminosilicate precursors (waste glass and tile powder) at higher alkalinity, which promotes a more extensive geopolymerization process and results in a more compact, less porous microstructure. However, the incorporation of 2% micro-synthetic fibers consistently led to a slight reduction in unit weight across all activator ratios compared to the reference samples. For instance, at 3% Na, the fiber-reinforced geopolymer showed a 3.9% decrease (1,684 kg/m<sup>3</sup>) relative to its reference, while at 9% Na, the reduction was approximately 1.2% (1,879 kg/m<sup>3</sup>). This decline is primarily due to the significantly lower specific gravity of the synthetic fibers (0.91 g/cm<sup>3</sup>) compared to the mineral precursors, coupled with the potential for fibers to introduce minor air voids into the matrix during the mixing process. Despite this slight reduction, the overall density remained high, indicating that the fibers were well-integrated and that the densification effect of the alkaline activator remained the dominant factor in the composite's physical structure.

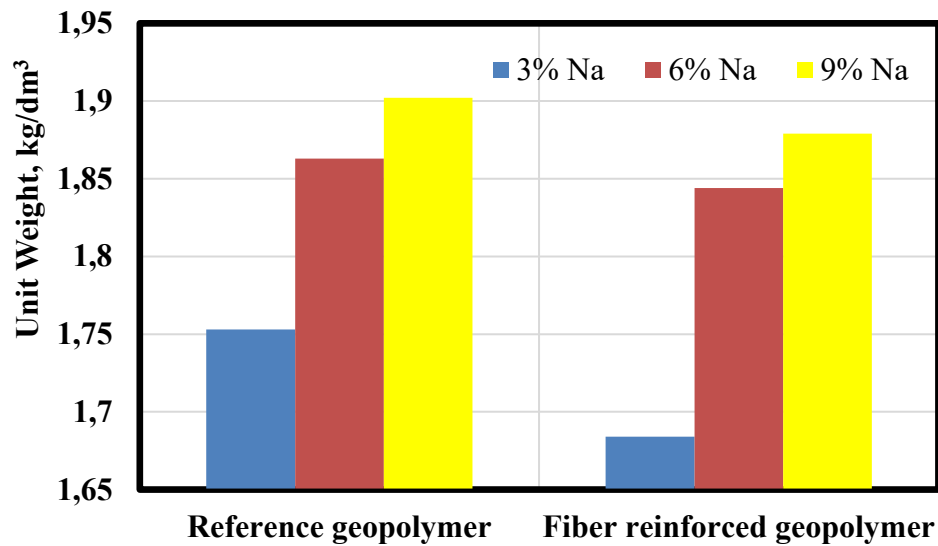


**Figure 4.** Variation of geopolymer unit weight

The internal homogeneity and structural integrity of the geopolymer composites were evaluated through Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) measurements, as presented in Figure 5. Contrary to the unit weight trends, an increase in Na concentration from 3% to 9% led to a gradual decline in UPV values for both groups. In the reference geopolymers, the velocity decreased by approximately 10.4%, dropping from 2.59 km/s to 2.32 km/s. This reduction suggests that while higher alkalinity promotes a more extensive chemical reaction, it may also lead to the formation of micro-scale discontinuities or a change in the pore solution's chemistry that slightly hinders wave propagation. A significant finding is that the incorporation of 2% micro-synthetic fibers consistently improved the UPV values compared to the reference mixtures. At 3% Na, the fiber-reinforced samples exhibited a velocity of 2.616 km/s, representing a slight increase over the reference. This effect became more pronounced at higher activator dosages; at 9% Na, the fiber-reinforced geopolymer reached 2.422 km/s, which is 4.4% higher than its corresponding reference (2.32 km/s). This improvement indicates that the synthetic fibers act as effective "bridges" across the micro-voids and interfaces within the geopolymer matrix, facilitating a more continuous path for the ultrasonic waves. Furthermore, the higher UPV values in the reinforced series suggest that the fibers assist in maintaining the internal integrity of the composite, potentially compensating for the micro-structural defects that occur at higher Na concentrations.

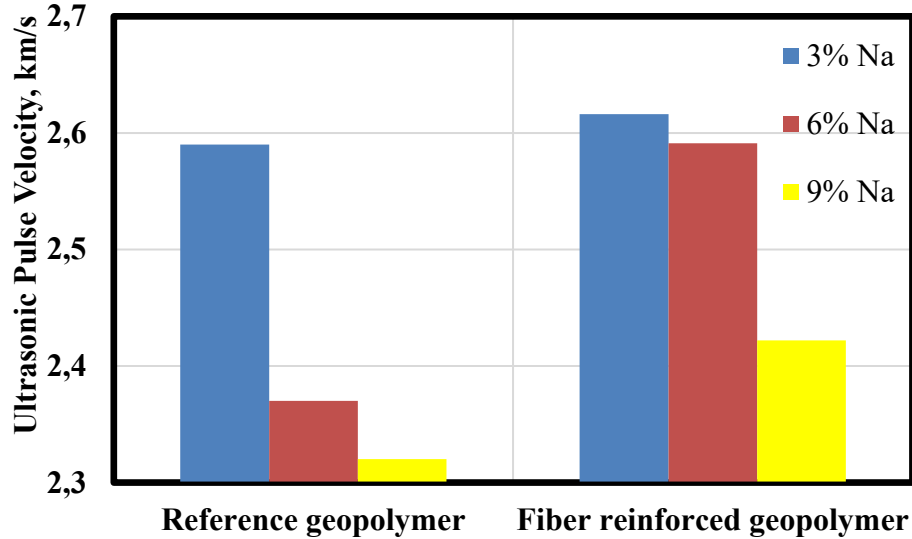


**Figure 5.** Variation of geopolymer ultrasonic pulse velocity

The flexural strength results of the geopolymer composites, depicted in Figure 6, demonstrate a marginal influence of the Na concentration but a significant enhancement through fiber reinforcement. For the reference geopolymer series, the strength values remained relatively stable across different activator ratios, fluctuating slightly around 5.9 MPa, with the highest value recorded at 9% Na (5.911 MPa). In contrast, the incorporation of 2% micro-synthetic fibers resulted in a substantial and consistent improvement in flexural capacity. Specifically, at 3% Na, the fiber-reinforced specimens achieved a strength of 6.31 MPa, marking a 7.1% increase over the reference. This improvement reached its peak at 9% Na with a value of 6.37 MPa, representing a 7.8% enhancement compared to the unreinforced counterpart. The primary mechanism behind this strength gain is the "crack-bridging" effect provided by the micro-synthetic fibers. While the geopolymer matrix synthesized from waste glass and tile powder is inherently brittle and prone to sudden failure under tension, the fibers intersect micro-cracks during the loading process. By arresting crack propagation and transferring stresses across the fracture surfaces, the fibers transform the failure mode from a brittle collapse to a more ductile behavior. Furthermore, the high tensile strength (625 MPa) and excellent chemical resistance of the fibers ensure a strong interfacial bond with the geopolymer matrix, particularly at higher alkalinity where the geopolymerization is more complete. These results confirm that the 2% fiber dosage effectively compensates for the tensile deficiencies of the waste-based geopolymer, enhancing its overall structural resilience.



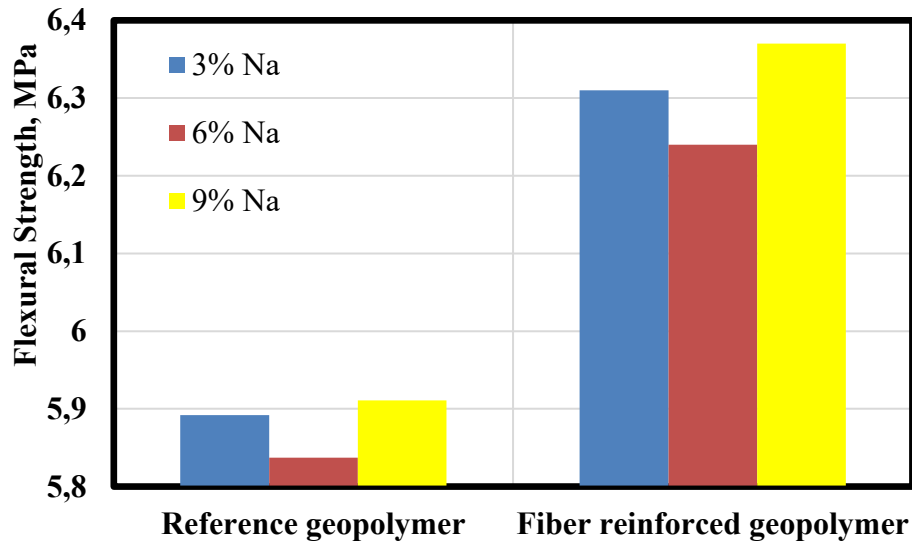


**Figure 6.** Variation of geopolymer flexural strength

The compressive strength of the geopolymer composites, as illustrated in Figure 7, was influenced more significantly by the alkaline activator concentration than by the fiber reinforcement. For both groups, the strength exhibited an initial increase as the Na concentration rose from 3% to 6%, followed by a slight decline at 9%. In the reference series, the compressive strength peaked at 6% Na with a value of 30.67 MPa, representing an 11.5% increase over the 3% Na mixture (27.5 MPa). This trend indicates that a 6% Na concentration provides an optimal alkaline environment for the dissolution of waste glass and tile powders, leading to a more complete geopolymerization and a denser binder matrix. However, the subsequent decrease to 28.25 MPa at 9% Na suggests that excessive alkalinity may cause a "leaching" effect or precipitate salt formations that disrupt the matrix continuity. The addition of 2% micro-synthetic fibers resulted in a generally positive but limited impact on the compressive performance. At the optimal 6% Na concentration, the fiber-reinforced samples reached a strength of 30.813 MPa, which is nearly identical to the reference. The most notable improvement was observed at the 9% Na level, where the reinforced series achieved 29.625 MPa, a 4.8% increase over its corresponding reference (28.25 MPa). While fibers are primarily intended to improve tensile and flexural properties, these results suggest they also provide a degree of lateral confinement under axial loading, thereby delaying the onset of longitudinal cracking. Overall, the findings confirm that while the matrix strength is governed by the chemical activator ratio, the 2% fiber reinforcement maintains the stability of the composite without compromising its load-bearing capacity.



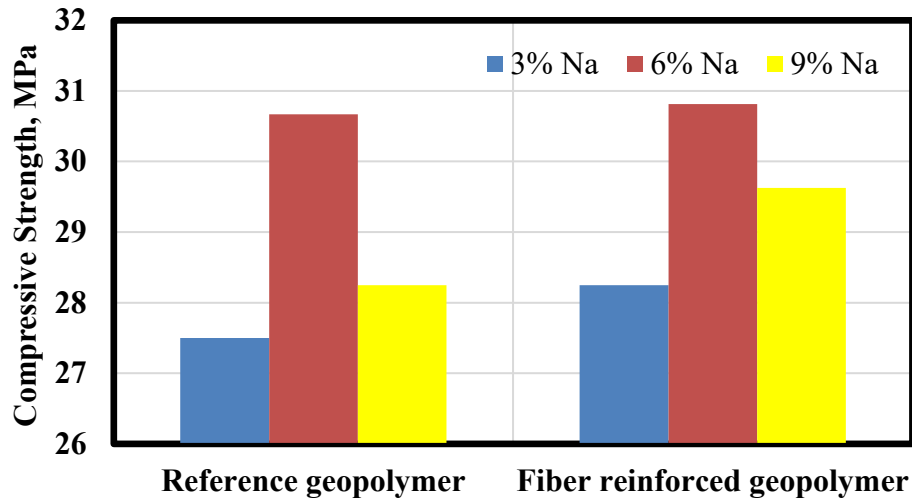


**Figure 7.** Variation of geopolymer compressive strength

The splitting tensile strength results, as presented in Figure 8, highlight the most significant contribution of the 2% micro-synthetic fiber reinforcement to the geopolymer composites. In the reference series, the tensile strength exhibited a fluctuating trend, reaching its highest value of 3.93 MPa at 3% Na and slightly decreasing at 6% Na (3.625 MPa). This behavior reflects the inherent weakness of the unreinforced geopolymer matrix when subjected to indirect tensile stresses, where the brittle nature of the waste glass and tile powder-based binder leads to rapid crack initiation and propagation. In contrast, the incorporation of micro-synthetic fibers led to a substantial and consistent increase in splitting tensile strength across all activator levels. At 3% Na, the fiber-reinforced samples achieved 4.58 MPa, representing a 16.5% improvement over the reference. The most remarkable performance was observed at 9% Na, where the tensile strength reached 4.63 MPa, marking an 18.3% increase compared to the unreinforced counterpart (3.915 MPa). This significant enhancement is directly attributed to the high tensile strength (625 MPa) of the fibers and their ability to act as internal bridges across the splitting plane. As the matrix begins to fail under tension, the fibers dissipate energy and transfer the load across the cracks, preventing the catastrophic collapse seen in the reference samples. The results confirm that the 2% fiber dosage effectively shifts the material behavior from a brittle state to a more resilient composite, making it highly suitable for applications where tensile resistance is a critical requirement.

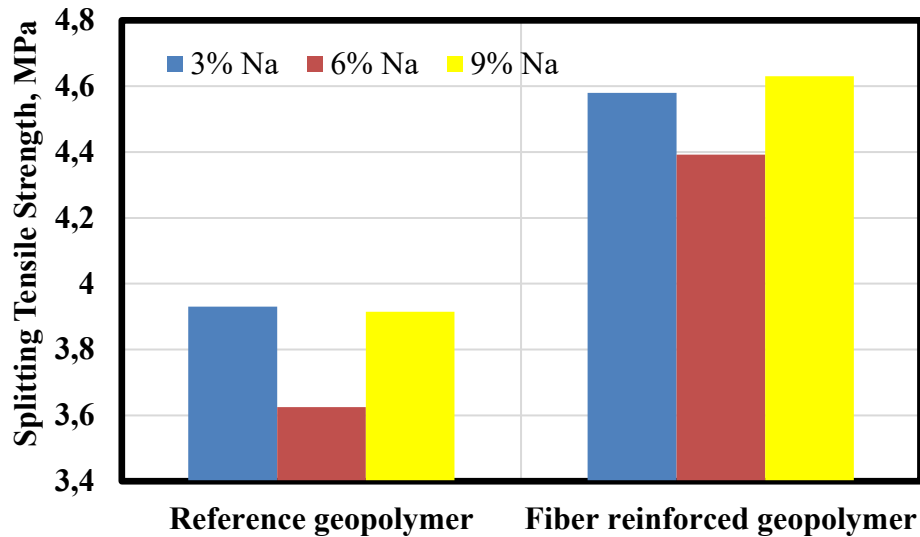


**Figure 8.** Variation of geopolymer splitting tensile strength

#### 4. CONCLUSION

This study investigated the mechanical performance and physical properties of geopolymer binders synthesized from waste glass and tile powders reinforced with 2% micro-synthetic fibers. Based on the experimental results and analyses, the following conclusions can be drawn:

- The combination of silica-rich waste glass powder and alumina-rich waste tile powder proved to be a viable precursor system for sustainable geopolymer production. An increase in Na concentration from 3% to 9% generally enhanced the unit weight (up to 8.5%), indicating a more compact microstructure due to improved geopolymerization.
- The incorporation of 2% micro-synthetic fibers slightly reduced the unit weight due to the low density of the fibers (0.91 g/cm<sup>3</sup>). However, UPV results showed that fibers improved internal homogeneity, especially at 9% Na where reinforced samples exhibited 4.4% higher velocity than the reference, suggesting that fibers effectively bridge micro-structural defects.
- The most significant impact of fiber reinforcement was observed in flexural and splitting tensile strengths. Fiber addition provided a consistent improvement of approximately 7-8% in flexural strength and up to 18.3% in splitting tensile strength. The fibers' high tensile strength (625 MPa) transformed the brittle geopolymer failure into a more ductile behavior through effective crack-bridging mechanisms.
- Compressive strength was primarily governed by the alkaline activator ratio, peaking at 6% Na (30.8 MPa). While the contribution of fibers to compressive strength was limited (maximum 4.8% improvement at 9% Na), they provided lateral confinement that helped maintain structural integrity during peak loading.

- The findings demonstrate that fiber-reinforced waste-based geopolymers offer superior crack resistance and energy absorption compared to unreinforced versions. These eco-friendly composites hold great potential for structural and non-structural applications in the construction industry, contributing to both carbon footprint reduction and effective waste management.

Regarding the optimal mixture design, this study suggests that a 6% Na concentration is the most effective activator dosage for waste glass and tile powder-based geopolymers. At this level, the compressive strength reaches its peak (~30.8 MPa), indicating a balanced chemical environment that maximizes precursor dissolution without the detrimental leaching effects observed at higher alkalinity. For future research and practical applications, it is recommended to explore the durability performance of these composites, particularly their resistance to aggressive chemical environments and long-term creep behavior, given the high silica content of the glass powder. Furthermore, investigating different fiber geometries or hybrid fiber combinations (e.g., micro-synthetic and natural fibers) could potentially enhance the energy absorption capacity even further, paving the way for the use of these sustainable binders in high-performance structural elements and seismic-resistant modular building components.

## REFERENCES

- Abdulkareem, M., Komkova, A., Havukainen, J., Habert, G., & Horttanainen, M. (2023). Identifying optimal precursors for geopolymer composite mix design for different regional settings: a multi-objective optimization study. *Recycling*, 8(2), 32.
- Chen, X. F., Zhang, X. C., & Peng, Y. (2025). Recycled clay brick powder as a dual-function additive: Mitigating the alkali-silica reaction (ASR) and enhancing strength in eco-friendly mortar with hybrid waste glass and clay brick aggregates. *Materials*, 18(12), 2838.
- Davidovits, J. (2017). Geopolymers: Ceramic-like inorganic polymers. *J. Ceram. Sci. Technol*, 8(3), 335-350.
- de Azevedo, A. R., Cruz, A. S., Marvila, M. T., de Oliveira, L. B., Monteiro, S. N., Vieira, C. M. F., ... & Daironas, M. (2021). Natural fibers as an alternative to synthetic fibers in reinforcement of geopolymer matrices: a comparative review. *Polymers*, 13(15), 2493.
- Farooq, M., Bhutta, A., & Banthia, N. (2019). Tensile performance of eco-friendly ductile geopolymer composites (EDGC) incorporating different micro-fibers. *Cement and Concrete Composites*, 103, 183-192.
- Jalal, P. S., Srivastava, V., & Tiwari, A. K. (2025). Portland Cement at the Crossroads: Environmental Imperatives and Pathways to Sustainable Production. *J. Mech. Civ. Eng*, 22(4), 1-10.
- Li, H., Jin, P., Yan, C., Zhang, N., & Li, L. (2024). Impact of polyethylene fiber and microsilica on fracture properties of high strength high toughness geopolymer concrete (HSHTGC). *Developments in the Built Environment*, 18, 100399.
- Li, Z. (2026). Toward low-carbon construction: A review of red mud utilization in cementitious materials and geopolymers for sustainability and cost benefits. *Buildings*, 16(2), 362.
- Maaz, M., Khan, R. A., & Sharma, R. (2023). Fatigue and fracture behaviour of geopolymer concrete. *Materials Today: Proceedings*, 93, 163-169.
- Nodehi, M., & Taghvaei, V. M. (2022). Alkali-activated materials and geopolymer: a review of common precursors and activators addressing circular economy. *Circular Economy and Sustainability*, 2(1), 165-196.

## DÜNYADA LYME HASTALIĞI VE BÖLGELER ARASI KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARININ RETROSPEKTİF DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Sabriye ÇEÇEN SULARI / Doç. Dr. Canan DEMİR2

<sup>1</sup>Van YYÜ Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, [sabriyecencensular@yyu.edu.tr](mailto:sabriyecencensular@yyu.edu.tr),

ORCID: 0000-0002-1339-0373

<sup>2</sup>Van YYÜ Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, [canandemir@yyu.edu.tr](mailto:canandemir@yyu.edu.tr),

ORCID:0000-0002-4204-9756

### Özet

Lyme hastalığı veya Lyme borreliyozu, *Ixodes* türü keneler ile taşınan kuzey yarım kürede özellikle Avrupa’da ve Amerika Birleşik Devletleri’nde görülen en yaygın zoonotik hastalıklardandır. Türkiye’de çeşitli bölgelerde seroprevalans çalışmaları ve bazı olgu bildirimleri mevcuttur ancak geniş epidemiyolojik araştırma bulunmamaktadır. *Ixodes* kenelerin ısırmasıyla insanlara bulaşan *Borrelia burgdorferi* bakterileri deri yoluyla vücuda girerek üç farklı klinik tablo meydana getirirler. Hastalığın ilk klinik evresi "erken lokalize hastalık" evresidir. Tek veya multipl sayıda tipik eritema migrans lezyonlarıyla karakterizedir ve grip benzeri semptomlar görülür. İkinci klinik evre "erken diseminasyon" veya "erken yaygın hastalık" dönemidir. Bu evrede multipl eritema migrans, kardit ve kranial nöropatiler, aseptik menenjit, ensefalit ve radikülönöropati gibi santral sinir sistemi tutulumları görülür. Hastalığın üçüncü dönemi "geç başlangıçlı hastalık" evresidir. Bu son evrede ise artrit ön planda olmakla birlikte ensefalopati, nörokognitif anormallikler ve polinöropati izlenmektedir. İlk evre haricinde klinik tanı genellikle serolojik testlerle desteklenir ve tedavide doksisisiklin, amoksisilin ve seftriakson ilk tercih edilen antibiyotiklerdir. Erken teşhis ve hastalığın kliniğine uygun tedaviyle Lyme hastalığının prognozu oldukça iyidir. Lyme hastalığının erken tanı, tedavi ve kontrolü için, özellikle hastalığın endemik olduğu bölgelerin tespit edilmesi, toplum ve hekimler arasında farkındalık faaliyetlerin artırılmasına ihtiyaç vardır. Mevcut çalışmamızda 2015 yılında bildirilen istatistik verileri kullanılarak dünyanın pek çok ülkesinde görülen Lyme hastalığına ve hastalığın olduğu bölgelere dikkat çekilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Ixodes* türleri, Lyme hastalığı, *Borrelia burgdorferi*, kene taşıyıcılığı

## RETROSPECTIVE EVALUATION OF LYME DISEASE GLOBALLY AND INTER-REGIONAL COMPARISON RESULTS

### Abstract

Lyme disease, or *Lyme borreliosis*, is one of the most common zoonotic diseases in the northern hemisphere, particularly in Europe and the United States, transmitted by *Ixodes* ticks. Seroprevalence studies and some case reports exist in various regions of Turkey, but there is no extensive epidemiological research. The *Borrelia burgdorferi* bacteria, transmitted to humans through the bite of *Ixodes* ticks, enter the body through the skin and cause three different clinical presentations. The first clinical stage is the "early localized disease" stage. It is characterized by single or multiple typical erythema migrans lesions and flu-like symptoms. The second clinical stage is the "early disseminated" or "early widespread disease" stage. In this stage, central nervous system involvement such as multiple erythema migrans, carditis and cranial neuropathies, aseptic meningitis, encephalitis, and radiculoneuropathy occurs. The third stage of the disease is the "late-onset disease" stage. In this final stage, arthritis is the primary symptom, but encephalopathy, neurocognitive abnormalities, and polyneuropathy are also observed. Except for the initial stage, clinical diagnosis is usually supported by serological tests, and doxycycline, amoxicillin, and ceftriaxone are the first-choice antibiotics for treatment. With early diagnosis and treatment appropriate to the clinical presentation, the prognosis for Lyme disease is quite good. Early diagnosis, treatment, and control of Lyme disease require identifying endemic regions and increasing awareness campaigns among the public and physicians. Our current study uses statistical data reported in 2015 to draw attention to Lyme disease, which is seen in many countries around the world, and the regions where the disease is present.

**Keywords:** *Ixodes* species, Lyme disease, *Borrelia burgdorferi*, tick-borne disease.



## 1. GİRİŞ

Kenelerin vektör rolünü aldığı hastalıklar geçmişten günümüze birçok dönemde bilim insanlarının ilgi odağı haline gelmiştir. İklim değişikliği, habitat yapısındaki bozulmalar ve vahşi rezervuar hayvanlardaki artış ve turizm seyahatleri, daha önce etkilenmemiş bölgelerdeki vektör ve patojenlerin genişlemesine neden olmuştur(İnci vd., 2013; Pantchev vd., 2015). Lyme hastalığı zoonoz öelliğiyle insan nüfusu için ciddi bir risk oluşturmaktadır. Hastalık, Ixodes cinsi sert kenelerde bulunan *Borrelia* cinsi spiroketlerin neden olduğu birçok sistemi etkileyen inflamatuvar bir hastalıktır. *B. burgdorferi*, *Spirochetes* sınıfı, *Spirichaeataceae* ailesi ve *Borrelia* cinsi üyesi bir bakteridir. Karanlık alan mikroskopuyla görülebilen bu bakteriler 0,2-0,3 µm genişliğinde ve 20-30 µm uzunluğuyla, 3-10 adet kirpikleri ile hareketli bir yapıya sahiptirler(Polat ve ark., 2010). Hastalığının meydana gelebilmesi için öncelikle enfekte bir Ixodes kenesinin insana tutunması gerekmektedir(Steer, 2001). Ixodes spp. türü kenelerle bulaşan lyme hastalığı Kuzey Amerika başta olmak üzere Asya ve Avrupa'nın uygun bölgelerinde sık rastlanır(Bacon ve ark., 2008).

Ixodes türü kenelerin bağırsaklarında taşınan *Borrelia* türleri, kenelerin tükrük bezlerine yayılır ve kan emme sırasında konağı enfekte eder. Bakteri önce deriye yönelir, sonra kan dolaşımına geçer. *Borrelia* türüne göre, diğer organlara yayılım da olabilmektedir(Steere ve ark., 2004; Stanek ve ark., 2012). Konaklar enfekte olduğunda ilk olarak doğal ve kazanılmış immün yanıt tarafından immün cevap meydana gelir. Her iki immün yanıtla rağmen bazı durumlarda immün yanıt baskılanır , bakteriler deriden sonra diğer organlara yerleşip kronikleşebilen ve tekrarlayabilen ataklara neden olmaktadır(Rosa, 2005; Stanek ve ark., 2012).

### 1.1. Lyme Hastalığının Kliniği

Lyme hastalığında birbirinden farklı üç evre vardır. Bu farklar, evreler arasındaki klinik belirtiler, laboratuvar bulguları, tanı, tedavi ve hastalığın prognozu ile ilgili büyük farklardır. Hastalık yaklaşık %11'lik bir hasta grubunda asemptomatik seyir göstermektedir. Hastalık 7-14 günlük kuluçka döneminden sonra başlar. Etkenlere göre klinik belirtiler değişkenlik göstermektedir(Sanchez, 2015).

#### 1.1.1. Erken Lokalize Hastalık Dönemi (1. Evre)

Kene ısırıldıktan 3-30 gün sonraki süreci kapsar. Bu dönemin en karakteristik belirtisi olarak bir adet eritema migrans (EM) deri lezyonu genellikle ısırık bölgesinde görülür. Başlangıçta kırmızı makül veya papül şeklinde olan lezyon daha sonra anüler forma geçer, çapı 5-30 cm olan daire ya da oval şekilde olabilir. Yara, az kaşıntılı ve deriden hafif kabarıktır. Bazı vakalarda lezyonun ortasında kenenin ısırığının neden olabildiği düşünülen bir delik görülebilir. Bu nedenle boğa gözü döküntüsü benzetmesi yapılır. Gezici ağrılar, 37.6°C ve üstünde ateş, halsizlik, ense sertliği, gözde kızarıklık ve gözyaşındaki artış diğer belirtiler arasındadır. Hastada kene ısırığı hikayesi yoksa özgül olmayan belirtiler soğuk algınlığını düşündürebilir. EM, herhangi bir yerde gelişebildiği

gibi, sıklıkla kalça, kasık ve aksilla bölgelerinde görülmektedir(Feder ve ark., 2006; Stanek ve ark., 2012; Meyerhoff ve ark., 2015).

### 1.1.2. Erken Dissemine Hastalık Dönemi (2. Evre)

Erken yaygın hastalık evresi dönemi de denir. Erken evrenin tipik lezyonu görüldükten sonra *B. burgdorferi* etkeninin vücuda yayılması ile birlikte cilt lezyonları gözlenir. Bunlar şekil olarak EM'ye benzer fakat daha küçük ve sayıları fazladır. Lezyonlar kene ısırığından daha uzak yerlerde görülür çünkü, spiroketler hematolojik ya da lenfatik yolla çok uzak noktalara dağılım gösterir, bir ya da daha çok organ veya sistem etkilenebilir. Kas-iskelet, kardiyak ve sinir sistemine ait semptomlar en yaygın olanlarıdır(Bhate ve Schwartz, 2011). Tedavisiz olguların yaklaşık %10-15'inde görülen merkezi sinir sistemi tutulumları arasında dalgalanmalar gösteren lenfositik menenjit, ensefalit, kraniyal nöropati (tek veya çift taraflı fasiyal paralizi, en sık gözlenen nörolojik tutulumdur), retikülopatiler, serebellar ataksi veya miyelit, osteomyelit, miyozit, pannükilit ve fasiit sayılabilir (Pachner ve Steere, 1985). Çocuk hastalarda optik sinirin etkilenmesi sonucu körlük de gelişebilir(Steere, 2001).

### 1.1.3. Geç Başlangıçlı Hastalık Evresi (3. Evre)

Lyme hastalığı, başlangıç enfeksiyonundan aylar hatta yıllar sonra, bazen de bir latent dönemden sonra ortaya çıkabilir(Stanek ve ark.,2012). *B.burgdorferi* etkenine maruz kalan lyme hastaları, antibiyotik tedavisi almadıkları takdirde hastaların yaklaşık %60'ında, özellikle diz gibi büyük eklemleri tutan lyme artriti görülebilir. Lyme artriti, yavaş seyirlidir, ataklarla devam eder ve bazı hastalarda kronikleşebilir(Vincent ve ark., 1998). Lyme artriti ile beraber ya da sonrasında bazı hastalarda kronik aksonal nöropati, kronik ensefalomyelit, lyme ensefalopatisi gibi nörolojik tutulumlar ve deri lezyonları da görülebilir( Mülleger, 2004).

## 1.2. Lyme Hastalığında Tanı ve Tedavi

Hastalık tanısında kene ısırığı hikayesi önemlidir. Kan biyokimyası ve hemogram değerleri genellikle normaldir bu yüzden tanıya yardımcı değildir(Bratton ve ark., 2008). Tanı koymak için altın standart birçok enfeksiyon hastalığında olduğu gibi mikroorganizmanın izolasyonu ile mümkündür. Bunun için spesifik besiyerlerine ihtiyaç vardır.Ayrıca biyopsi örneklerinde, plazma örneklerinde ve BOS örneklerinde etken saptanabilmektedir. Moleküler ve serolojik yöntemlere kesin tanı için gerek duyulmaktadır(Polat ve ark., 2010).

Lyme hastalığı tedavi edilmese bile kendiliğinden gerileyebilir, ancak hastalığın yayılmasının önlenmesi ve daha sonra gelişebilecek geç komplikasyonların önlenmesi için tedavi edilmesi gerekmektedir. Lyme hastalığının etkenine göre meydana gelen birçok klinik formda oral antibiyoterapi ile yapılan tedavi başarıyı getirmektedir(Stanek ve ark., 2011).

## 2. YÖNTEM

Çalışmada uygulama materyali olarak, ücretsiz veri erişim sitesi Kaggle uygulamasından sağlanan LYME hastalığı veri seti kullanıldı (06.03.2026).

### 2.1. İstatistik Analiz

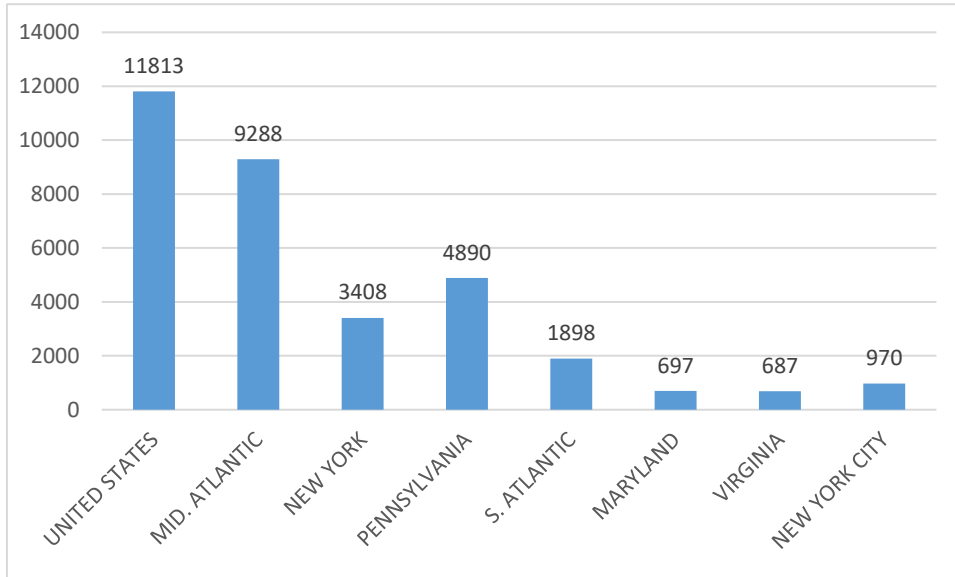
Üzerinde durulan özelliklerden sürekli değişkenler için tanımlayıcı istatistikler; Minimum, Maksimum, Ortalama ve standart sapma, kategorik değişkenler için sayı ve yüzde olarak ifade edilmiştir. Analizler için SPSS istatistik yazılım versiyonu 19.0 (SPSS Inc, Chicago, III, ABD) paketi ve excel kullanılmıştır.

## 3. BULGULAR

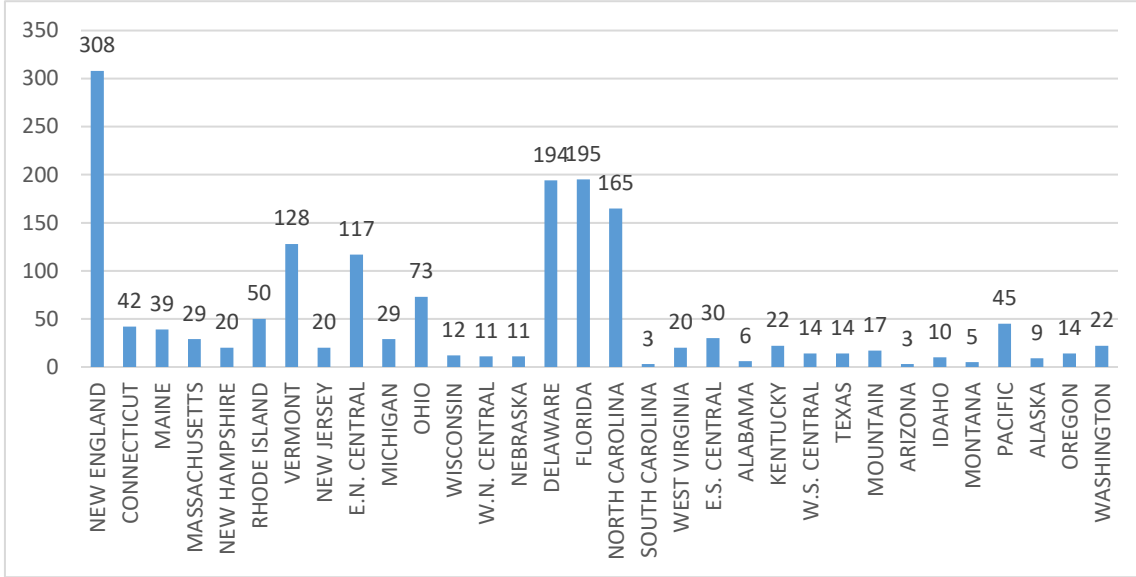
Kullandığımız veri setinde, 2015 yılında NNDSS(Ulusal Bildirimi Zorunlu Hastalıklar Sürveyans Sistemi)'ye üye 68 ülkenin istatistiki verileri yer almaktadır. Veri setinde 28 ülkede hiç vaka tespit edilmezken 40 ülkede lyme hastalığı vakası tespit edilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde bildirilen vaka sayısı en düşük 3, en yüksek 11813 olup, ortalama  $883.2 \pm 2459.3$ 'tür. Şekil 1 ve şekil 2 incelendiğinde 40 ülke arasında lyme hastalığının en fazla görüldüğü ülke Amerika Birleşik Devletleri iken en az vaka ile Güney Carolina son sırayı almaktadır.

**Tablo 1.** Tanımlayıcı istatistikler

|      | n  | Minimum | Maximum  | Ortalama | Std. sapma |
|------|----|---------|----------|----------|------------|
| Lyme | 40 | 3.00    | 11813.00 | 883.2000 | 2459.34692 |



**Şekil 1.** Ülkeler ve bildirilen Lyme hastalığı dağılımı



**Şekil 2.** Ülkeler ve bildirilen Lyme hastalığı dağılımı

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Dünyada farklı dağılım gösteren, Türkiye’de de özellikle Trakya ve Karadeniz bölgesinde tespit edilen *Ixodes* türü pek çok kene lyme hastalığı etkenini taşımaktadır. *Ixodes ricinus* türü keneler ülkemizde Trakya Bölgesi’nde *B. burgdorferi sensu lato* grubundaki türlerden *B. burgdorferi sensu stricto*, *Borrelia garinii*, *Borrelia afzelii*, *Borrelia lusitania* ve *Borrelia valaisiana*’yı taşıdığı ve hastalık etkenlerini bulaştırdığı saptanmıştır( Hatipoğlu ve Turhan, 2016). Lyme borreliozisi, dünyanın özellikle ılıman bölgelerinde ortaya çıkan artropodlardan olan kenelerle bulaşan spiroketlerin sebep olduğu bir hastalıktır. Hastalık belirtileri başta deri olmak üzere, eklemler, sinir sistemi ve kalpte görülmektedir(Baranton, 1990). 2022 yılında yapılan bir diğer çalışmada tekrarlayan ateş semptomuyla karakterize olan *Borrelia miyamotoi* gibi türlerin keşfinin halk sağlığı için giderek artan bir tehdit oluşturduğu üzerinde durulmuştur. Çalışmada bu türlerin küresel dağılımı ve ilişkili risk yükü belirsizliğine değinilmiştir(Steinbrink ve ark., 2022). Lyme borreliozisinde erken belirtileri olan hastaları antibiyotik ile hızlı tedavi etmek geç sekelleri önleyebilmektedir(Seltzer ve ark., 2000).

Kenelerin Dünya genelinde birçok patojenin aktarılmasından sorumlu olduğu unutulmamalıdır. Lyme hastalığının erken tanı, tedavi ve kontrolü için, hastalığın endemik olduğu bölgelerin belirlenmesine, toplum ve hekimler arasında duyarlılığı artırıcı faaliyetlerin uygulanmasına ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

1. Bacon, R.M., Kugeler, K.J., Mead, P.S., 2008. Surveillance for Lyme disease-United States, 1992-2006. MMWR Surveill Summ. 57, 1-9.
2. Baranton G. (1990). Lyme Borreliosis. Comp. Immun. Microbiol. Infect. Dis .. 13(3): 111-117.
3. Bhate, C., Schwartz, R.A., 2011. Lyme disease: Part I. Advances and perspectives. J. Am. Acad. Dermatol. 64, 619-636.
4. Bratton, R.L., Whiteside, J.W., Hovan, M.J., Engle, R.L., Edwards, F.D., 2008. Diagnosis and treatment of Lyme disease. Mayo Clin. Proc. 83, 566-571.
5. Feder HM, Jr., Abeles M, Bernstein M, Whitaker-Worth D, Grant-Kels JM. Diagnosis, treatment, and prognosis of erythema migrans and Lyme arthritis. Clin Dermatol. 2006;24:509-20.
6. Hatipoğlu M., Turhan V. (2016). Lyme Hastalığı. Mediterr J Infect Microb Antimicrob 2016;5:3. DOI: 10.4274/mjima.2016.3
7. İnci, A., Yazar, S., Tuncbilek, A.S., Canhilal, R., Doganay, M., Aydin, L., Aktas, M., Vatansever, Z., Ozdarendeli, A., Ozbel, Y., Yildirim, A. & Duzlu, O. (2013). Vectors and vector-borne Diseases in Turkey. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 60, 281296.
8. İnci, A., Ica, A., Yildirim, A., Vatansever, Z., Cakmak, A., Albaskan, H., Cam, Y., Atasever, A., Sariozkan, S. & Duzlu, O. (2007). Economical impact of tropical theileriosis in the Cappadocia region of Turkey. Parasitol Research, 101, 171174.
9. Meyerhoff JO, Zaidman GW, Steele RW. Lyme Disease: Medscape; 2015 [updated 21.01.2015; cited 2016 21.01.2016]. Available from: <http://emedicine.medscape.com/article/330178-overview>.
10. Müllegger, R.R., 2004. Dermatological manifestations of Lyme borreliosis. Eur. J. Dermatol. 14, 296-309
11. Pachner, A.R., Steere, A.C., 1985. The triad of neurologic manifestations of Lyme disease: Meningitis, cranial neuritis, and radiculoneuritis. Neurology. 35, 47.
12. Pantchev, N., Schnyder, M., Vrhovec, M.G., Schaper, R. & Tsachev, I. (2015). Current surveys of the seroprevalence of *Borrelia burgdorferi*, *Ehrlichia canis*, *Anaplasma phagocytophilum*, *Leishmania infantum*, *Babesia canis*, *Angiostrongylus vasorum* and *Dirofilaria immitis* in dogs in Bulgaria. Parasitology Research, 114, 117-130.
13. Polat E, Turhan V, Aslan M, Musellim B, Onem Y, Ertugrul B. [First report of three culture confirmed human Lyme cases in Turkey]. Mikrobiyol Bul. 2010;44:133-9.
14. Rosa P. Lyme disease agent borrows a practical coat. Nat Med. 2005;11:8312.
15. Sanchez JL. Clinical Manifestations and Treatment of Lyme Disease. Clin Lab Med. 2015;35:765-78.
16. Seltzer EG, Gerber MA, Cartter ML, Freudigman K, Shapiro ED. Long-term outcomes of persons with Lyme disease. Journal of the American Medical Association. 2000;283 (5): 609-616.
17. Stanek G, Wormser GP, Gray J, Strle F. Lyme borreliosis. Lancet. 2012;379:46173.
18. Steere, A.C., 2001. Lyme disease. New Engl. J. Med. 345, 115-125.
19. Steere AC., Coburn J, Glickstein L. The emergence of Lyme disease. J Clin Invest. 2004;113:1093-101.
20. Steinbrink, A., Brugger, K., Margos, G., Kraiczy, P., & Klimpel, S. (2022). The evolving story of *Borrelia burgdorferi* sensu lato transmission in Europe. *Parasitology Research*, 121(3), 781-803.
21. Vincent, M.S., Roessner, K., Sellati, T., Huston, C.D., Sigal, L.H., Behar, S.M., Radolf, J.D., Budd, R.C., 1998. Lyme arthritis synovial gd T cells respond to *Borrelia burgdorferi* lipoproteins and lipidated hexapeptides. J. Immunol. 161, 5762-5771.

## SARKOPTİK UYUZUN İNSAN VE HAYVAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Öğr. Gör. Sabriye ÇEÇEN SULARI / Doç. Dr. Canan DEMİR2

<sup>1</sup>Van YYÜ Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, [sabriyecensular@yyu.edu.tr](mailto:sabriyecensular@yyu.edu.tr),  
ORCID: 0000-0002-1339-0373

<sup>2</sup>Van YYÜ Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, [canandemir@yyu.edu.tr](mailto:canandemir@yyu.edu.tr),  
ORCID:0000-0002-4204-9756

### Özet

Sarkoptik uyuz veya *Sarcoptes scabiei bovis*, enfekte olmuş ve enfekte olmamış büyükbaş hayvanlarda doğrudan temas yoluyla veya kontamine olmuş malzemeler yoluyla geçen oldukça bulaşıcı bir hastalıktır. Hayvanlarda görülen uyuzun birkaç çeşidi vardır. Bunlar; psoroptik uyuz, [karioptik uyuz(bacak uyuzu, ayak ve kuyruk uyuzu, simbiyotik uyuz, ahır kaşıntısı), demodektik uyuz(foliküler uyuz, sığır demodikozu) ve psorergatik uyuz(kaşıntı akarı)]olmak üzere dört gruba ayrılır. *S. scabiei bovis*, büyükbaş hayvanların farklı vücut bölgelerinde ciddi tepkilere hatta deride oyuklara yol açabilmektedir. Bu oyukları açan akarın neden olduğu lezyonlar baş, boyun ve omuzlarda başlar ve vücudun diğer bölgelerine de yayılabilmektedir ve birkaç hafta içinde tüm vücut etkilenebilir. Kaşıntı, akar sayısına bağlı olarak şiddetli olabilir ve papüller kabuk bağlar; deri kalınlaşarak büyük kıvrımlar oluşturabilmektedir. Hastalığı teşhis etmek için, derin deri kazıntıları yapmak gerekebilir. Deri biyopsisi bir diğer teşhis yöntemidir. Tedaviye verilecek yanıt ile de doğru teşhis mümkün olabilmektedir. *S. scabiei bovis*'ten korunmak önemlidir çünkü insanlara bulaşabilir. Bulaşma gerçekleşen kişilerde geçici veya kendiliğinden iyileşebilen bir dermatite neden olabilir. Tedavide ivermectin ve türevleri hem hayvan bulaşmalarında hem de insanın etkilendiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu çalışma, özellikle ineklerde görülen paraziter hastalıklardan olan uyuzun güncel durumunu, tanı yöntemlerini, saha koşullarına uyarlanabilir çözüm yaklaşımlarını ve bilimsel gelişmeleri bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koyma amacıyla hazırlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Sarkoptik uyuz, *Sarcoptes scabiei bovis*, ahır kaşıntısı, demodikoz



## THE EFFECTS OF SARCOPTIC SCABIES ON HUMAN AND ANIMAL HEALTH

### Abstract

Sarcoptic mange, or *Sarcoptes scabiei bovis*, is a highly contagious disease transmitted through direct contact or contaminated materials in both infected and uninfected cattle. Several types of mange occur in animals, classified into four groups: psoroptic mange, chorioptic mange (leg mange, foot and tail mange, symbiotic mange, barn itch), demodectic mange (follicular mange, bovine demodicosis), and psorergatic mange (itch mite). *S. scabiei bovis* can cause severe reactions and even burrows in the skin in different body regions of cattle. The lesions caused by the mite that creates these burrows begin on the head, neck, and shoulders and can spread to other parts of the body, affecting the entire body within a few weeks. Itching can be severe depending on the number of mites, and papules can crust over; the skin can thicken and form large folds. Deep skin scrapings may be necessary to diagnose the disease. Skin biopsy is another diagnostic method. Accurate diagnosis is also possible based on the response to treatment. Protection against *S. scabiei bovis* is important because it can infect humans. In those infected, it can cause temporary or spontaneously resolving dermatitis. In treatment, ivermectin and its derivatives are used in both animal infections and human cases. This study was prepared with the aim of presenting the current status of scabies, a parasitic disease particularly seen in cows, its diagnostic methods, adaptable solution approaches to field conditions, and scientific developments from a holistic perspective.

**Keywords:** Sarcoptic mange, *Sarcoptes scabiei bovis*, barnyard itch, demodicosis

## 1. GİRİŞ

Büyükbaş hayvancılık, dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de hem ekonomik hem de sosyo-kültürel açıdan stratejik bir önem taşımaktadır. Son yıllardaki iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, hayvansal üretimde maliyetlerin artması, yeni ortaya çıkan paraziter hastalıklar ve enfeksiyon kökenli hastalıklar, hayvan sağlığına ilişkin beklentilerin yükselmesi, inek, dana vb. yetiştiriciliğini doğrudan etkilemektedir. Epidemiyolojik çalışmalar, büyükbaş hayvan türlerinde özellikle viral ve paraziter hastalıklara karşı artan duyarlılık, hastalıkların yayılım hızındaki iklimsel değişkenlik ve hayvan hareketliliği nedeniyle daha öngörülemez hale geldiğini göstermektedir(Ayvazoğlu ve Akyüz, 2025).

Parazitik akarların birçoğu yaşam döngülerini ektoparazit olarak tamamlar ancak, bazıları kulak, akciğer, burun veya diğer iç dokuları istila ederek endoparazite dönüşmüştür. Deride tünel açan ektoparazit *S. scabiei* (Hay, 2004), insanlar da dahil olmak üzere birçok farklı memelide uyuzun etkenidir (Heukelbach & Feldmeier 2006). *S. scabiei* belirli ölçüde konağa uyum sağlamış varyeteler oluşturur ve köpekgyiller, kedigiller ve toynaklıları enfekte eder; bununla birlikte birçok farklı hayvan grubunda da enfeksiyon bildirilmiştir (Pence ve Ueckerman 2002).

### 1.1. Sığır Sarkoptik Uyuz

*Sığır uyuzuna sarkoptik uyuz adı verilir ve Sarcoptes scabiei bovis* adı verilen bir parazit neden olur. Sarkoptik uyuz epidermise yerleşerek aktif olarak stratum corneum'a nüfuz eden ve Astigmata takımından Sarcoptidae familyasına ait bir akar olan *S. scabiei*'nin neden olduğu, klinik olarak belirtileri şiddetli seyreden, tipik olarak baş, boyun ve omuzlarda başlar ve kalınlaşmış, kıvrımlı bir deriyle sonuçlanan oldukça bulaşıcı bir deri hastalığıdır (Arlian ve Morgan, 2017). Enfekte hayvanlardaki semptomlar şiddetine göre değişiklik gösterir; kaşıntılı papüller, eritem, kepeklenme, kabuklanma ve alopesi ile karakterizedir. kronik formlarda tablo birz ağırlaşarak hiperkeratoz ve/veya eksüdatif kabuk oluşumu meydana gelir (Cardells vd., 2021; Rahman vd., 2010).

### 1.2. Sığırlarda Psoroptik Uyuz

*Deri yüzeyinde yaşayan ve deriye nüfuz etmeyen bir akar türü olan Psoroptes ovis'in* neden olduğu enfestasyondan kaynaklanır . Bu uyuz türünde akarlar öncelikle enfekte hayvanların sırt ve yan kısımlarında lokalize olur. *Psoroptes ovis* akarları bulundukları dokuyu delip oluşturdukları yaradan salgılanan serum ve diğer sıvılarla beslenir. Klinik belirtiler akar istilasından sonraki bir hafta içinde ortaya çıkar. Dermatit gelişir ve saç dökülmesi yaygındır. Hayvanın omuzlarında ve kalçalarında papüller, kabuklanma, sıyrıklar ile birlikte yoğun kaşıntı başlar ve neredeyse tüm vücudu kaplayacak şekilde yayılır(K. Ketziş ve Abuelo, 2024).

### 1.3. Sığırlarda Koryoptik Uyuz

*Chorioptes bovis* veya *C. texanus* enfestasyonundan kaynaklanır ve dünyanın her yerinde evcil geviş getiren hayvanlarda, atlarda görülebilir. *Koryoptik* türleri, deri yüzeyinde yaşar, kontamine olmuş eşyalar ve barınaklarla temas yoluyla sığırlara bulaşabilir. Akarlar alerjik, eksüdatif, hafif kaşıntılı, pullu bir dermatite neden olabilir. Genellikle bilekten başlayıp bacaklara, memeye, skrotuma, kuyruğa ve perineye yayılan nodüller, papüller, kabuklanmalar ve ülserler bulunur. Hayvalarda kendine zarar verme ve tüy dökülmesi görülebilir. Lezyonlar ve klinik belirtiler çoğunlukla kış sonlarında ortaya çıkar ve yaz aylarında kendiliğinden geriler. Koryoptik uyuz, sığırlarda sarkoptik veya psoroptik uyuza nisbeten daha az patojenik özellik gösterir(Öktem ve Dik, 2023).

### 1.4. Sığırlarda Demodektik Uyuz

Sığırları enfekte eden bu hastalığa üç *Demodex* türü neden olur. Bunlardan ilki *D. bovis*'tir, sığırların kıl köklerini istila eden en yaygın türdür. İkincisi, *D. ghanensis*'tir, daha çok Gana'daki sığırların meibomian bezlerine bulaştığı bilinmektedir. Üçüncü tür ise *D. tauri*'dir, Çekoslovakya'daki sığırların kıl foliküllerinden ve yağ bezlerinden izole edilmiştir. Sığırlardaki *demodex* türleri konakçıya özgüdür ve hayvanlardan insanlara bulaşmaz. Özellikle omuz, boyun, sırt ve yan bölgelerde foliküler papül ve nodüllerden oluşan klinik belirtiler görülür, kaşıntı yoktur. Genellikle kendiliğinden iyileşir; bu nedenle, tedaviye nadiren ihtiyaç duyulur(Rosen, 2011; K. Ketziş ve Abuelo, 2024).

### 1.5. Sığırlarda Psorergatik Uyuz

Psorergatik uyuz hastalığına neden olan bu küçük akar, sığır derisinin yüzeysel katmanlarında yaşar. Genellikle patojenik değildir ve az sayıda sığırdaki enfestasyonun klinik belirtileri görülür. Enfestasyonda nadir durumlarda, hafif kaşıntı, saç dökülmesi ve yalamada artma ve sürtünme görülebilir(Arlan ve Morgan, 2017).

### 1. 6. İnsan Sağlığı Açısından Önemi

Sarkoptik uyuz, insanlara kolayca bulaşabilen bir zoonotik hastalık olması nedeniyle dikkat çekicidir. Sarkoptik uyuz (hayvan uyuzu, yalancı uyuz), çeşitli yabani, evcil ve çiftlik hayvanlarını etkileyebilen, son derece bulaşıcı bir cilt hastalığıdır. *S. scabiei* uyuz akarı, enfekte evcil hayvanlarla yakın temas yoluyla insanlara bulaşır ve akarlar ile bunların salgıları nedeniyle ortaya çıkan aşırı duyarlılık reaksiyonları sonucu şiddetli kaşıntı ve tahrişe yol açar(Valia ve Valia, 2008). Hastalık, bağışıklık fonksiyonlarının zayıf olduğu bilinen kişilerde, immünoşüpresanlarla tedavi gören hastalarda ve küçük çocuklarda uzun süreli bir seyir izler. Enfestasyonlar, tipik olarak kendiliğinden sınırlı olsa da, şiddetli kaşıntı ve rahatsızlık verebilir. İnsanlarda kendiliğinden düzelmeyen ve kontrol altına alınması için aylarca tedavi gerektiren sarkoptik uyuz vakaları bildirilmiştir(Bandi ve SaiKuMar, 2012; Taplin ve ark., 1991). Hastaya uyuz ilacı tedavisi uygulanır. Hastaya topikal %5 permetrin krem (boyundan ayak parmaklarına kadar gece boyunca uygulanacak şekilde), antihistamin tabletleri(üç gün

süreyle) ve ivermektin tabletleri(iki hafta aralıkla 2 doz) reçete edilebilmektedir. Yeniden enfeksiyonu önlemek amacıyla hayvanlarla yakın temastan kaçınması ve ineklerin gecikmeden bir veteriner hekime götürülerek tedavi ettirilmesi tavsiye edilmektedir. Genellikle bir ay sonra yapılan kontrollerde lezyonun tamamen kaybolduğu görülmektedir (Engelman ve ark., 2020).

## 2. YÖNTEM

Çalışmada uygulama materyali olarak, ücretsiz veri erişim sitesi Kaggle uygulamasından sağlanan inek uyuz hastalığı veri seti kullanıldı (06.03.2026). Veri setinde yaş, cinsiyet, kaşıntı, saç dökülmesi, ciltte kabuk ve laboratuvar test sonuçları yer almaktadır.

### 2.1. İstatistik Analiz

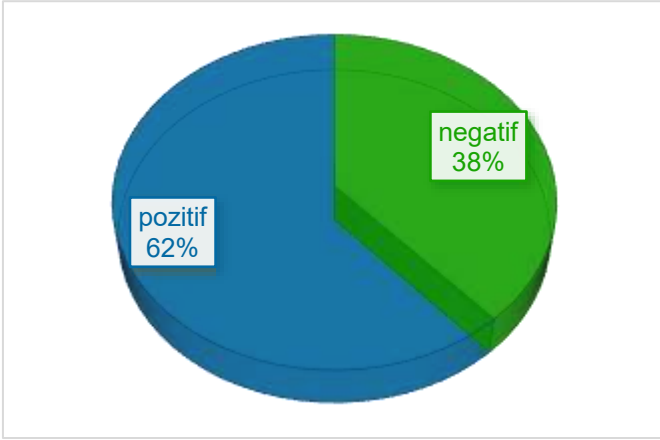
Çalışmada kullanılan inek uyuz hastalığı veri setinde bulunan kategorik değişkenler sayı ve yüzde olarak ifade edilmiştir. İstatistiksel anlamlılık düzeyi  $p < 0.05$  olarak alınmış ve analizler için SPSS istatistik yazılım versiyonu 19.0 (SPSS Inc, Chicago, III, ABD) paketi kullanılmıştır.

## 3.BULGULAR

Tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde bir yaşında olan ineklerin oranı %36.2, iki yaşında olanların oranı %30.1, üç yaşında olanların oranı %33.7’dir. Bunların yarısı dişi yarısı erkektir. Kaşıntısı olanların oranı %49.3, saç dökülmesi olanların oranı %51.7, ciltte kabuk bulunanların oranı %51.7’dir. İneklerin %38.3’ünün test sonuçları negative iken, %61.7’sinin test sonuçları pozitifdir (Şekil 1).

**Tablo1.** Tanımlayıcı istatistikler

|                      |         | sayı | %    |
|----------------------|---------|------|------|
| <b>Yaş</b>           | 1.00    | 217  | 36.2 |
|                      | 2.00    | 181  | 30.1 |
|                      | 3.00    | 202  | 33.7 |
| <b>Cinsiyet</b>      | dişi    | 300  | 50.0 |
|                      | erkek   | 300  | 50.0 |
| <b>Kaşıntı</b>       | evet    | 296  | 49.3 |
|                      | hayır   | 304  | 50.7 |
| <b>Saç Dökülmesi</b> | evet    | 310  | 51.7 |
|                      | hayır   | 290  | 48.3 |
| <b>Ciltte Kabuk</b>  | evet    | 310  | 51.7 |
|                      | hayır   | 290  | 48.3 |
| <b>Lab. Sonuç</b>    | negatif | 230  | 38.3 |
|                      | pozitif | 370  | 61.7 |



**Şekil 1.** Laboratuvar sonuçlarına göre ineklerin dağılımı

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Uyuz hastalığı, nedeni bilinen en eski insan hastalıklarından biridir. İnsan ve diğer birçok memelinin derisinin epidermisinde yuva yapan *S. scabiei* akarı tarafından neden olunur. Uyuz enfeksiyonunu tespit etmek için tanısal bir kan testi ve duyarlı popülasyonları enfekte olmaktan korumak veya en azından hastalığın bulaşmasını sınırlamak için bir aşı geliştirilmesine yönelik ilerlemeler de sunulmaktadır (Arlan ve Morgan, 2017). Benzer şekilde, sığırlarda rekombinant alt birim aşılarda üzerinde yapılan diğer bir çalışmada, özellikle mite glutathion S-transferazı (muGST) ve majör allerjenler Pso o 1–2 içeren üçlü rekombinant formülasyonun, koyunlarda şimdiye kadarki en güçlü koruyucu etkinliği sağladığı ve sığırlarda da benzer etkiler göstereceği bildirilmektedir (Burgess ve ark., 2016). Daha sonra yapılan başka çalışmalarda da, kısmen saflaştırılmış protein fraksiyonları yardımıyla yapılan aşılama denemelerinde de kısmi koruma görüldüğü bildirilmiştir (Smith & Pettit, 2004). Akar, enfekte hayvanlarla yakın temas yoluyla insanlara bulaşabilir. İnsanlarda görülen hayvan uyuzunun klinik tablosu, *Sarcoptes scabiei var. hominis* (insan uyuz akarı) enfeksiyonunun yol açtığı tablodan tamamen farklıdır. Her akar türü belirli bir konak türünü tercih eder ve tercih ettiği konaktan uzakta uzun süre yaşayamaz veya üreyemez (Arlan, 1989; Charles ve Johnson, 1974; Davis ve Moon, 1990). Bu nedenle, insanların bu kaynaktan tam anlamıyla uyuz hastalığına yakalanması olası değildir. Kuluçka süresi daha kısadır, belirtiler geçicidir ve enfestasyon kendiliğinden sınırlıdır. Lezyonlar daha çok ön kolda, göğsün alt kısmında, karın bölgesinde, uyluklarda ve etkilenen hayvanlar taşındığında akarlar maruz kalan bölgelerde görülür. Parmak araları ve genital bölgeler genellikle etkilenmez. Karakteristik derin, uzun tüneller oluşmaz. Bu akarlar, kısa bir süre için yumurta bırakmak üzere deriye girerler ve kaşıntı ve şiddetli tahrişe neden olurlar; bu durum, *Streptococcus pyogenes* veya *Staphylococcus aureus* gibi piyogenik bakterilerle ikincil enfeksiyona yol açabilir ve akut post-streptokokal glomerülonefrit gibi enfeksiyon sonrası komplikasyonlara neden olabilir (Bandi ve SaiKuMar, 2012). Hayvan uyuzu, hayvanlarla doğrudan temas öyküsü olan kişilerde kaşıntılı deri lezyonlarının

ayırıcı tanısı olarak değerlendirilmelidir. İnsanlarda görülen hayvan uyuzunun lezyonları, dermatit, herpetiformis, egzama, kontakt dermatit, mantar enfeksiyonları ve böcek ısırıkları gibi çeşitli dermatolojik cilt hastalıklarını taklit edebilir. Uyuz tanısı için kullanılan geleneksel testlerin doğruluk oranı %50'nin altındadır. Güncel çalışmalar, rekombinant antijenler kullanılarak aktif uyuzlu bireylerde antikorların tanımlanmasını içermektedir(Walton ve Currie, 2007).

Bu çalışmada, büyükbaş hayvan sağlığının korunması, sürdürülebilir hayvancılığın geliştirilmesi ve hayvan yetiştiriciliğinin bilimsel temellerle güçlendirilmesi gerektiğinin önemi ve insan sağlığı üzerine etkileri vurgulanmıştır. Enfestasyon kaynağı hayvanların erken teşhisi ve tedavinin gecikmemesi gerekmektedir. Hayvanlarla temas ederken dikkatli olunmalıdır. Eldiven gibi koruyucu giysiler giyilmelidir. İnsanlardaki lezyonlar, bu ektoparaziter cilt hastalığı göz önünde bulundurularak teşhis edilmeli ve tedavi edilmelidir.



## KAYNAKLAR

1. Arlian LG. *Biology, Host Relations and Epidemiology of S.Scabiei*. *Annu RW entomol.* (1989). 34:139–61. doi: 10.1146/annurev.en.34.010189.001035.
2. Arlian, L. G., & Morgan, M. S. (2017). A review of *Sarcoptes scabiei*: Past, present and future. *Parasites & Vectors*, 10, 1-22. <https://doi.org/10.1186/s13071017-2234-1>
3. Ayvazoğlu A., Akyüz E. (2025). Koyun ve Keçilerde Sıklıkla Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri 1. İktisad Yayınları, ISBN: 978-625-378-512-3. s:1-5.
4. Bandi, K. M., & SaiKuMar, C. (2012). Sarcoptic mange: a zoonotic ectoparasitic skin disease. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*, 7(1), 156.
5. Burgess, S. T. G., Nunn, F., Nath, M., Frew, D., Wells, B., Marr, E. J., & Nisbet, A. J. (2016). A recombinant subunit vaccine for the control of ovine psoroptic mange (sheep scab). *Veterinary Research*, 47(1), 26.
6. Cardells, J., Lizana, V., Martí-Marco, A., Lavín, S., Velarde, R., Rossi, L., & Moroni, B. (2021). First description of sarcoptic mange in an Iberian hare (*Lepus granatensis*). *Current Research in Parasitology & Vector-Borne Diseases*, 1, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.crpvbd.2021.100021>.
7. Charles Worth EN, Johnson JL. *An epidemic of canine scabies in man*. *Arch Derm.* 1974;110:572.
8. Davis DP, Moon RD. *The dynamics of the swine mange: a critical review of the literature*. *J Med Entomol.* 1990;27:727–37. doi: 10.1093/jmedent/27.5.727.
9. Engelman, D., Yoshizumi, J., Hay, R. J., Osti, M., Micali, G., Norton, S., ... & Fuller, L. C. (2020). The 2020 international alliance for the control of scabies consensus criteria for the diagnosis of scabies. *British Journal of Dermatology*, 183(5), 808-820.
10. Hay, R. J. (2004). Scabies – learning from the animals. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 18, 129–130.
11. Heukelbach, J., & Feldmeier, H. (2006). Scabies. *The Lancet*, 367, 1767–1774.
12. Öktem Ö, Dik B.(2023). İzmir, Aydın ve Muğla Yörelerindeki Sığırlarda Görülen Ektoparazitlerin ve Yaygınlık Oranlarının Belirlenmesi Üzerine Çalışmalar. *Türkiye Parazitoloj Derg* 2023;47(4):244-8. DOI: 10.4274/tpd.galenos.2023.18209.
13. K. Ketzis j., Abuelo A. ( 2024). Sığırlarda Uyuz. *MSD Klavuzu Veteriner El Kitabı* s; 3-15. <https://www.msdevetmanual.com/integumentary-system/mange/mange-in-cattle>
14. Pence, D. B., & Ueckermann, E. (2002). Sarcoptic mange in wildlife. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 21, 385–398.
15. Rahman, M. M., Lecchi, C., Fraquelli, C., Sartorelli, P., & Ceciliani, F. (2010). Acute phase protein response in Alpine ibex with sarcoptic mange. *Veterinary Parasitology*, 168(3-4), 293-298. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.12.001>
16. Rosen, L. B. (2011). Dermatologic manifestations of zoonotic diseases in exotic animals. *J Exot Pet Med*, 20, 9-13.
17. Smith, W. D., and D. M. Pettit. "Immunization against sheep scab: preliminary identification of fractions of *Psoroptes ovis* which confer protective effects." *Parasite Immunology* 26.6-7 (2004): 307-314.
18. Taplin D, Porcelain SL, Meinking TL, et al. *The community control of scabies: a model which is based on use of the permethrin cream*. *Lancet*. 1991;337:1016–18. doi: 10.1016/0140-6736(91)92669-s.
19. Valia, R. G., & Valia, A. R. (2008). *IADV Textbook of dermatology*. Mumbai: Bhalani Publishing House, 25, 749-760.
20. Walton, S. F., & Currie, B. J. (2007). Problems in diagnosing scabies, a global disease in human and animal populations. *Clinical microbiology reviews*, 20(2), 268-279.

## FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN ELEŞTİREL DÜŞÜNME EĞİLİMLERİ VE KLİNİK UYGULAMA SINAV BAŞARILARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Özge ÖZKUTLU<sup>1/</sup> Araş. Gör., Buse BİRBİR<sup>2</sup>, Prof. Dr. Necmiye ÜN YILDIRIM<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi, Nörolojik Fizyoterapi-Rehabilitasyon ABD, ozge.coban@sbu.edu.tr, 0000-0002-0979-7613

<sup>2</sup> Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi, Pediatrik Rehabilitasyon ABD, fzt.busekorkmaz@gmail.com, 0000-0003-1769-6166

<sup>3</sup> Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi, Ortopedik Fizyoterapi ve Rehabilitasyon ABD, necmiyeu@yahoo.com adresi, 0000-0002-5527-4290

### Özet

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, fizyoterapi ve rehabilitasyon bölümü 4. sınıf öğrencilerinin eleştirel düşünme eğilimleri ile klinik uygulama sınav başarıları arasındaki ilişkinin incelenmesidir.

**Yöntem:** Bu çalışma tanımlayıcı, kesitsel tipte tasarlanmıştır. Araştırmaya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi'nde öğrenim gören 71 dördüncü sınıf öğrencisi dahil edilmiştir. Veriler; kişisel bilgi formu, Eleştirel Düşünme Eğilimi Ölçeği (EDEÖ) ve klinik uygulama sınavı puanları aracılığıyla toplanmıştır. Klinik uygulama sınavı teorik ve pratik olmak üzere iki bileşen halinde değerlendirilmiştir. Verilerin analizinde Spearman korelasyon analizi kullanılmış, anlamlılık düzeyi  $p<0.05$  olarak kabul edilmiştir.

**Bulgular:** EDEÖ toplam puanı ile klinik uygulama sınavının pratik bileşeni arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ( $\rho=0.325$ ,  $p=0.006$ ). Alt boyutlar incelendiğinde; üst biliş ( $\rho=0.275$ ,  $p=0.020$ ), sistematiklik ( $\rho=0.298$ ,  $p=0.012$ ) ile azim ve sabır ( $\rho=0.331$ ,  $p=0.005$ ) alt boyutları ile pratik sınav puanları arasında anlamlı pozitif ilişkiler saptanmıştır. Esneklik ve açık fikirlilik alt boyutu ile pratik sınav puanları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ( $p>0.05$ ). Teorik sınav puanları ile EDEÖ toplam puanı ve alt boyutları arasında ise anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ( $p>0.05$ ).

**Sonuç:** Bulgular, eleştirel düşünme eğiliminin özellikle klinik uygulamanın pratik boyutu ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, fizyoterapi eğitiminde eleştirel düşünme becerilerinin geliştirilmesine yönelik yaklaşımların klinik performansı artırmada önemli olabileceğini düşündürmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Eleştirel düşünme, öğrenciler, klinik yeterlilik, eğitimde ölçme ve değerlendirme

## INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PHYSOTHERAPY AND REHABILITATION STUDENTS' CRITICAL THINKING DISPOSITIONS AND THEIR CLINICAL PRACTICE EXAMINATION PERFORMANCE

### Abstract

**Aim:** The aim of this study was to examine the relationship between critical thinking dispositions and clinical practice examination performance among fourth-year students in the Department of Physiotherapy and Rehabilitation.

**Methods:** This study was designed as a descriptive, cross-sectional study. A total of 71 fourth-year students enrolled at the Faculty of Physiotherapy and Rehabilitation, University of Health Sciences Gülhane, were included. Data were collected using a personal information form, the Critical Thinking Disposition Scale (CTDS), and clinical practice examination scores. The clinical practice examination was evaluated in two components: theoretical and practical. Spearman correlation analysis was used for data analysis, and the level of significance was set at  $p < 0.05$ .

**Results:** A positive and significant correlation was found between the total CTDS score and the practical component of the clinical practice examination ( $\rho = 0.325$ ,  $p = 0.006$ ). When sub-dimensions were analyzed, significant positive correlations were identified between the practical examination scores and the sub-dimensions of metacognition ( $\rho = 0.275$ ,  $p = 0.020$ ), systematicity ( $\rho = 0.298$ ,  $p = 0.012$ ), and perseverance and patience ( $\rho = 0.331$ ,  $p = 0.005$ ). No significant relationship was found between the flexibility and open-mindedness sub-dimension and practical examination scores ( $p > 0.05$ ). Furthermore, no significant relationship was observed between theoretical examination scores and the total CTDS score or its sub-dimensions ( $p > 0.05$ ).

**Conclusion:** The findings indicate that critical thinking disposition is particularly associated with the practical component of clinical practice. This suggests that approaches aimed at enhancing critical thinking skills in physiotherapy education may play an important role in improving clinical performance.

**Keywords:** Critical thinking, students, clinical competence, educational measurement

## 1. GİRİŞ

Eleştirel düşünme, bireyin bir argümanı analiz ederek mantıklı sonuçlara ulaşmasını veya bir probleme etkili çözüm üretmesini sağlayan, biliş üstü (metakognitif) süreçler ve bilişsel eğilimlerden oluşan çok boyutlu bir beceri olarak tanımlanmaktadır (1). Eğitim alanında önemli bir öğrenme çıktısı olarak kabul edilen eleştirel düşünme (2), bireyin mevcut bilgiyi daha derin ve çok yönlü bir şekilde anlamasını (3), daha doğru yargılarda bulunmasını ve karar verme süreçlerini (4) geliştirmesini sağlamaktadır. Ayrıca, bilişsel yanılığların azaltılmasında da kritik bir rol oynamaktadır (5). Bu özellikleri nedeniyle eleştirel düşünme, özellikle klinik karar verme süreçlerinin temelini oluşturan sağlık bilimleri eğitiminde önemli bir yer tutmaktadır.

Sağlık profesyonelleri açısından eleştirel düşünme, klinik uygulamalarda doğru değerlendirme yapma, uygun müdahaleyi seçme ve hasta yönetiminde etkili kararlar verme süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda eleştirel düşünme becerisinin, klinik uygulama performansını artıran temel bilişsel yeterliklerden biri olduğu kabul edilmektedir. Günümüzde yapay zekâ ve dijital teknolojilerin sağlık alanında giderek yaygınlaşması, bu becerinin önemini daha da artırmıştır (6). Yapay zekâ destekli sistemlerin klinik iş akışlarına entegre edilmesi sürecinde, sağlık profesyonellerinin çıktıları eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirebilmesi ve klinik karar süreçlerinde sorgulayıcı bir yaklaşım sergilemesi gerekmektedir.

Literatürde hemşirelik alanında vaka temelli (7), senaryo temelli (8) ve sanal gerçeklik uygulamalarının (9) eleştirel düşünme becerisi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, fizyoterapi ve rehabilitasyon alanına özgü araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmalar, eleştirel düşünmenin yalnızca öğrencilik döneminde değil, mesleki yaşamda da önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim fizyoterapistlerle yapılan bir çalışmada, iş doyumu ve mesleki deneyimin eleştirel düşünme eğilimi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (10). Ayrıca fizyoterapi pratiğine uyarlanmış eleştirel düşünme ölçme araçlarının geliştirilmesi, bu becerinin mesleki bağlamda değerlendirilmesine yönelik artan ihtiyacı göstermektedir.

Bu kuramsal temel doğrultusunda eleştirel düşünme, fizyoterapi ve rehabilitasyon eğitiminde yalnızca akademik başarıyı değil, aynı zamanda klinik performansı da etkileyen temel bir yeterlik olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle öğrencilerin eleştirel düşünme eğilimleri ile klinik uygulama performansları arasındaki ilişkinin incelenmesi, fizyoterapi eğitiminde kanıta dayalı öğretim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

### 1.1. Kuramsal Çerçeve

Sağlık bilimleri eğitiminde eleştirel düşünme, özellikle klinik karar verme süreçlerinin temel belirleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Klinik uygulama sürecinde öğrencilerin yalnızca teorik bilgiyi hatırlamaları değil, aynı zamanda bu bilgiyi vaka bağlamında analiz ederek uygun müdahale kararlarını verebilmeleri beklenmektedir (11). Bu nedenle eleştirel düşünme eğiliminin, klinik performans ile doğrudan ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Bilişsel öğrenme teorileri ve klinik muhakeme yaklaşımları, bireyin problem çözme kapasitesinin arttıkça karmaşık klinik durumları daha etkin yönetebileceğini ortaya koymaktadır. Eleştirel düşünme eğilimi yüksek olan öğrencilerin, vaka temelli klinik uygulama sınavlarında daha sistematik değerlendirme yapmaları, alternatif çözümler üretebilmeleri ve daha doğru klinik kararlar verebilmeleri beklenmektedir. Bu durum, eleştirel düşünmenin yalnızca akademik bir beceri değil, aynı zamanda klinik performansı etkileyen bir yeterlik olduğunu göstermektedir (12).

Literatürde eleştirel düşünmenin sağlık bilimleri öğrencilerinde klinik yeterlilik, problem çözme becerisi ve mesleki performans ile ilişkili olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (13-14). Ancak fizyoterapi ve rehabilitasyon öğrencilerinde eleştirel düşünme eğilimi ile vaka temelli klinik uygulama performansı arasındaki ilişkiyi doğrudan inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Bu bağlamda eleştirel düşünme eğilimi ile klinik uygulama başarısı arasındaki ilişkinin açıklanması önemli bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu kuramsal temel doğrultusunda, öğrencilerin “Eleştirel Düşünme Eğilim Ölçeğinden aldıkları toplam puanlar ile vaka temelli “Klinik Uygulama Sınavı” puanları arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu varsayılmaktadır.

## 2. YÖNTEM

Araştırma, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi’nde yürütülmüştür. Araştırmanın evrenini, ilgili dönemde “Klinik Uygulama Sınavı’na giren ve ilgili dersi alan 71 öğrenci oluşturmaktadır. Örneklem seçimine gidilmemiş, belirtilen zaman aralığında çalışmaya katılmayı gönüllü olarak kabul eden ve dahil edilme kriterlerini karşılayan tüm öğrencilere ulaşılması hedeflenmiş olup bu doğrultuda evren-tabanlı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, tanımlayıcı, kesitsel ve ilişkisel (korelasyonel) bir araştırma olarak tasarlanmıştır.

Veri toplama araçları üç bölümden oluşmuştur:

1. Kişisel Bilgi Formu: Araştırmacılar tarafından hazırlanmış olup öğrencilerin yaş, cinsiyet ve sınıf gibi demografik bilgilerini içermiştir.
2. Eleştirel Düşünme Eğilimi Ölçeği: Ölçeğin Türkçe geçerlilik ve güvenilirliği Semerci ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir. Ölçek 49 maddeden ve üst biliş, esneklik, sistematiklik, azim/sabır ve açık fikirlilik olmak üzere 5 alt boyuttan oluşmaktadır. Maddeler “Tamamen katılıyorum (5), Çoğunlukla katılıyorum (4), Kısmen katılıyorum (3), Çoğunlukla katılmıyorum (2), Hiç katılmıyorum (1)” şeklinde Likert tipi olarak puanlanmıştır (15).
3. Klinik Uygulama Sınavı Puanları: Öğrencilerin ilgili dersten elde ettikleri, vaka temelli değerlendirme ve tedavi planlamasını içeren ve 100 puan üzerinden hesaplanan sınav notları kullanılmıştır.

Araştırma öncesinde, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane İlaç ve Tıbbi Cihaz Dışı Girişimsel Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 2025/03 toplantı numarası ve 2025-077 proje/karar numarası ile etik kurul onayı alınmıştır. Çalışmaya dahil edilen tüm öğrencilere araştırmanın amacı, yöntemi ve kapsamı hakkında ayrıntılı bilgi verilmiş, katılımın gönüllülük esasına dayandığı açıklanmıştır. Katılımcılardan yazılı aydınlatılmış onam alınmış olup, istedikleri herhangi bir zamanda çalışmadan çekilebilecekleri belirtilmiştir. Araştırma süreci boyunca katılımcı bilgilerinin gizliliği korunmuş ve elde edilen veriler yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılmıştır. Onam veren öğrencilere, ders saatleri dışında uygun bir zaman diliminde Kişisel Bilgi Formu ve Eleştirel Düşünme Eğilimi Ölçeği'nin basılı formu uygulanmıştır. Klinik Uygulama Sınavı puanları ise sınav dönemi tamamlandıktan sonra ilgili bölüm başkanlığı/öğretim elemanlarından resmi olarak temin edilmiştir. Veriler SPSS 25.0 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Demografik veriler ve ölçek puanları için tanımlayıcı istatistikler (sayı, yüzde, ortalama ve standart sapma) kullanılmıştır. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Eleştirel düşünme eğilimi ölçeği puanları ile klinik uygulama sınav puanları arasındaki ilişki, verilerin normal dağılım göstermemesi nedeniyle Spearman korelasyon analizi ile incelenmiştir. İstatistiksel anlamlılık düzeyi  $p < 0.05$  olarak kabul edilmiştir.

### 3. BULGULAR

Eleştirel Düşünme Eğilimi Ölçeği (EDEÖ) toplam puanı ile klinik uygulama sınavının pratik bileşeni arasında yapılan korelasyon analizinde, istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki saptanmıştır ( $\rho=0.325$ ,  $p=0.006$ ). Bu sonuç, öğrencilerin eleştirel düşünme eğilimi arttıkça pratik klinik performanslarının da arttığını göstermektedir.

Alt boyutlar incelendiğinde, EDEÖ'nün üst biliş ( $\rho=0.275$ ,  $p=0.020$ ), sistematiklik ( $\rho=0.298$ ,  $p=0.012$ ) ve azim ve sabır ( $\rho=0.331$ ,  $p=0.005$ ) alt boyutları ile pratik sınav puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı, pozitif yönlü ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, özellikle klinik durumları planlı değerlendirme, bilişsel farkındalık ve süreç boyunca kararlılıkla ilerleme eğiliminin pratik klinik performans üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

Buna karşın, esneklik ve açık fikirlilik alt boyutları ile pratik sınav puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ( $p>0.05$ ). Bu durum, klinik uygulama sınavındaki performansın daha çok sistematik düşünme ve bilişsel süreç yönetimi ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Teorik sınav puanları ile EDEÖ toplam puanı ve tüm alt boyutları arasında yapılan analizlerde ise istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ( $p>0.05$ ). Bu bulgu, eleştirel düşünme eğiliminin teorik bilgi düzeyinden ziyade, vaka temelli uygulamalarda ortaya çıkan klinik performans ile daha yakından ilişkili olabileceğine işaret etmektedir.



**Tablo 1.** Eleştirel düşünme eğilimi ölçeği ve klinik uygulama sınavı puanları

|                               |                 | <b>Puan [medyan (min-mak)]</b> |
|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| <b>EDEÖ</b>                   | Üst biliş       | 57 (38-70)                     |
|                               | Esneklik        | 44 (31-55)                     |
|                               | Sistematiklik   | 51 (28-65)                     |
|                               | Azim ve sabır   | 31 (17-40)                     |
|                               | Açık fikirlilik | 12 (7-15)                      |
|                               | Total           | 195 (130-244)                  |
| <b>KLİNİK UYGULAMA SINAVI</b> | Pratik sınav    | 70 (16-100)                    |
|                               | Teorik sınav    | 64 (44-80)                     |

EDEÖ: Eleştirel düşünme eğilimi ölçeği, min-mak: minimum-maksimum

**Tablo 2.** EDEÖ ile klinik uygulama sınavı arasındaki ilişki

| <b>Değişken</b>        | <b>Pratik Sınav (rho)</b> | <b>p değeri</b> | <b>Teorik Sınav (rho)</b> | <b>p değeri</b> |
|------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| <b>EDEÖ Toplam</b>     | 0.325                     | <b>0.006*</b>   | -,005                     | >0.05           |
| <b>Üst biliş</b>       | 0.275                     | <b>0.020*</b>   | -,050                     | >0.05           |
| <b>Sistematiklik</b>   | 0.298                     | <b>0.012*</b>   | -,017                     | >0.05           |
| <b>Azim ve sabır</b>   | 0.331                     | <b>0.005*</b>   | ,058                      | >0.05           |
| <b>Esneklik</b>        | 0.166                     | >0.05           | -,052                     | >0.05           |
| <b>Açık fikirlilik</b> | 0.211                     | >0.05           | ,119                      | >0.05           |

EDEÖ: Eleştirel düşünme eğilimi ölçeği, rho: spearman kat sayısı

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada fizyoterapi ve rehabilitasyon bölümü dördüncü sınıf öğrencilerinin eleştirel düşünme eğilimleri ile klinik uygulama sınav başarıları arasındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen bulgular, eleştirel düşünme eğilimi toplam puanı ile klinik uygulama sınavının pratik bileşeni arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Buna karşın teorik sınav puanları ile eleştirel düşünme eğilimi arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

Çalışmamızın en önemli bulgusu, eleştirel düşünme eğiliminin özellikle pratik klinik performans ile ilişkili olmasıdır. Bu sonuç, fizyoterapi öğrencilerinde klinik uygulama performansı ile eleştirel öz-yansıtma becerileri arasında orta düzeyde anlamlı ilişki bildiren Brooks ve ark.'nın çalışması ile paralellik göstermektedir. Söz konusu çalışmada klinik stajlardaki performansları ile eleştirel öz değerlendirme yeteneği arasında orta düzeyde pozitif korelasyon ( $r = 0.411$ ,  $p < 0.001$ ) saptanmış ve eleştirel yansıtma becerisinin klinik performansın anlamlı bir yordayıcısı olduğu bildirilmiştir (16).

Benzer şekilde literatürde klinik muhakemenin fizyoterapistlerin klinik yeterliliğinin temel bileşenlerinden biri olduğu vurgulanmaktadır. Cruz ve ark., klinik muhakemenin fizyoterapide yalnızca bilgiye dayalı değil, aynı zamanda bağlama özgü, analitik ve karar verme süreçlerini içeren çok boyutlu bir yeterlik olduğunu belirtmiştir (17). Özellikle fizyoterapi pratiğinde öğrencinin hastayı bütüncül değerlendirmesi, uygun değerlendirme yöntemlerini seçmesi ve tedavi planını vaka özelliklerine göre şekillendirmesi eleştirel düşünme becerileri ile yakından ilişkilidir.

Çalışmamızda özellikle eleştirel düşünmenin alt boyutlarını oluşturan üst biliş, sistematiklik ile azim ve sabır bileşenlerinin pratik sınav puanları ile anlamlı ilişki göstermesi, klinik uygulama başarısının yalnızca teorik bilgi düzeyiyle açıklanamayacağını düşündürmektedir. Klinik muhakeme sürecinin öğrencilerin problem çözme, değerlendirme sonuçlarını yorumlama ve uygun müdahale seçimi becerileri ile yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir. Bu bağlamda eleştirel düşünme eğilimi yüksek olan öğrencilerin klinik vaka analizlerinde daha sistematik yaklaşım sergilemeleri beklenen bir durumdur (18).

Teorik sınav puanları ile eleştirel düşünme eğilimi arasında anlamlı ilişki bulunmaması ise dikkat çekicidir. Bu durum, teorik sınavların çoğunlukla bilgi hatırlama ve kavramsal bilgi düzeyini ölçmesine karşın, klinik uygulama sınavlarının bilgi transferi, klinik muhakeme ve karar verme süreçlerini daha fazla yansıtması ile açıklanabilir. Literatürde de klinik muhakemenin özellikle uygulama ortamında gelişen ve performansa yansıyan bir yeterlik olduğu belirtilmektedir (18).

Çalışmanın bir diğer önemli yönü, fizyoterapi alanında bu konuda sınırlı sayıda araştırma bulunmasıdır. Bu nedenle mevcut bulgular, fizyoterapi eğitiminde eleştirel düşünmenin klinik başarı üzerindeki rolünü ortaya koyması açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Araştırmanın tek merkezde ve yalnızca dördüncü sınıf öğrencileri ile yürütülmüş olması sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Ayrıca kesitsel tasarım nedeniyle nedensel ilişki kurulamamaktadır. Gelecekte çok merkezli, daha geniş örneklemlili ve uzunlamasına çalışmaların yapılması önerilmektedir.

## Sonuç

Bu çalışma, fizyoterapi ve rehabilitasyon öğrencilerinde eleştirel düşünme eğiliminin özellikle klinik uygulama sınavının pratik boyutu ile anlamlı düzeyde ilişkili olduğunu göstermiştir. Özellikle üst biliş, sistematiklik ile azim ve sabır alt boyutlarının klinik performans üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Elde edilen bulgular, fizyoterapi eğitiminde eleştirel düşünmeyi geliştirmeye yönelik öğretim stratejilerinin öğrencilerin klinik yeterliliklerini artırmada önemli bir role sahip olabileceğini düşündürmektedir.

## Öneriler

- Fizyoterapi lisans eğitim programlarında eleştirel düşünmeyi destekleyen vaka temelli öğrenme, problem temelli öğrenme ve simülasyon uygulamalarına daha fazla yer verilmelidir.
- Klinik uygulama derslerinde öğrencilerin klinik muhakeme süreçlerini açıklamalarını gerektiren değerlendirme yöntemleri kullanılmalıdır.
- Eleştirel düşünme eğiliminin zaman içindeki değişimini incelemek amacıyla uzunlamasına çalışmalar planlanmalıdır.
- Farklı üniversitelerden öğrencilerin dahil edildiği çok merkezli araştırmalar yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Dwyer, C. P., Hogan, M. J., & Stewart, I. (2014). An integrated critical thinking framework for the 21st century. *Thinking Skills and Creativity*, 12, 43–52.
2. Ennis, R. H. (2018). Critical thinking across the curriculum: A vision. *Topoi*, 37(1), 165–184.
3. Dwyer, C. P., Hogan, M. J., & Stewart, I. (2012). An evaluation of argument mapping as a method of enhancing critical thinking performance in e-learning environments. *Metacognition and Learning*, 7(3), 219–244.
4. Turan, U., Fidan, Y., & Yıldırım, C. (2019). Critical thinking as a qualified decision-making tool. *Journal of Human and Culture Studies*, 8(4).
5. Facione, N. C., & Facione, P. A. (2001). Analyzing explanations for seemingly irrational choices. *International Journal of Applied Philosophy*, 15(2), 267–268.
6. Woo, B. F. Y., Song, J., Middleton, E., Fijačko, N., & Cato, K. (2025). Teaching critical thinking in the age of AI: Safeguarding clinical reasoning in healthcare documentation. *Journal of Nursing Scholarship*, 72(3), e70102.
7. Obeagu, G., Marudhar, T. M., & Turkur, M. (2025). An update on the impact of case-based learning on critical thinking in clinical decision making in Uganda nursing education: A narrative review. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 6(1), 1–8.

8. Abdel Fattah, S. H., Shazly, M. M., & Saad, N. F. (2025). Effect of scenario-based training on nurse interns' critical thinking dispositions. *SAGE Open Nursing*, 11, 23779608251383419.
9. Gabr, M. A. M., Sleem, W. F., & El-Wkeel, N. S. (2025). Effect of virtual reality educational program on critical thinking disposition among nursing students in Egypt: A quasi-experimental pretest–posttest design. *BMC Nursing*, 24(1), 874.
10. Polat, K., Hareket, S., Uçurum, S. G., & Kaya, D. Ö. (2025). Effects of job satisfaction and work experience on critical thinking and mindfulness of physiotherapists: A cross-sectional study. *International Journal of Contemporary Studies in Behavioral and Functional Development*, 10(1), 75–80.
11. Weidman, B., & Salisbury, H. (2020). Critical thinking in health sciences and how it pertains to sonography education: A review of the literature. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 36(3), 244-250.
12. Smith, M., Higgs, J., & Ellis, E. (2008). Characteristics and processes of physiotherapy clinical decision making: a study of acute care cardiorespiratory physiotherapy. *Physiotherapy research international : the journal for researchers and clinicians in physical therapy*, 13(4), 209–222.
13. Kanbay, Y., & Okanlı, A. (2017). The effect of critical thinking education on nursing students' problem-solving skills. *Contemporary nurse*, 53(3), 313–321.
14. Ge, W. L., Zhu, X. Y., Lin, J. B., Jiang, J. J., Li, T., Lu, Y. F., Mi, Y. F., & Tung, T. H. (2025). Critical thinking and clinical skills by problem-based learning educational methods: an umbrella systematic review. *BMC medical education*, 25(1), 455.
15. Semerci, N. (2016). Eleştirel düşünme eğilimi (EDE) ölçeğinin geliştirilmesi: geçerlik ve güvenirlik revize çalışması. *Turkish Studies*, 11(9), 725.
16. Brooks, S., Milne, N., Orr, R. M., & Terry, R. (2016). Is a students' ability to critically self-reflect, related to their performance on physiotherapy clinical placements?. *Australian Journal of Clinical Education*, 1(1), 1-16.
17. Cruz, E. B., Moore, A. P., & Cross, V. (2012). A qualitative study of physiotherapy final year undergraduate students' perceptions of clinical reasoning. *Manual Therapy*, 17(6), 549-553.
18. Abrandt Dahlgren, M., Valeskog, K., Johansson, K., & Edelbring, S. (2022). Understanding clinical reasoning: A phenomenographic study with entry-level physiotherapy students. *Physiotherapy theory and practice*, 38(13), 2817–2826. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.1976332>

## EPİLEPSİ HASTALARINDA UYGULANAN KETOJENİK DİYETİN ETKİLERİ

Öğr. Gör. Serkan Bentli / Öğrenci, Tuba Bağcı

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Öğrenci, [tubabgrc2@gmail.com](mailto:tubabgrc2@gmail.com) , 0009-0002-74699005

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Beslenme ve Diyetetik, [serkan.bentli@ozal.edu.tr](mailto:serkan.bentli@ozal.edu.tr),  
0000-0002-4029-7289

### ÖZET

Epilepsi, dünya genelinde milyonlarca bireyi etkileyen, tekrarlayan nöbetlerle karakterize seyreden kronik bir nörolojik hastalıktır. Farmakolojik tedaviler epilepsi yönetiminde temel yaklaşım olmakla birlikte, hastaların önemli bir kısmında ilaca dirençli nöbetler görülebilmektedir. Bu nedenle alternatif tedavi yöntemlerine olan ilgi artmıştır. Ketojenik diyet, yüksek yağ, düşük karbonhidrat ve yeterli protein içeriği ile metabolizmayı ketozis durumuna yönlendiren bir beslenme modelidir ve özellikle ilaca dirençli epilepsi olgularında etkinliği ile dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, ketojenik diyetin epilepsi üzerindeki etkileri güncel literatür doğrultusunda değerlendirilmiştir. Diyetin temel etki mekanizmasının, keton cisimciklerinin artışı ile nöronal uyarılabilirliğin azalması, nörotransmitter dengesinin düzenlenmesi ve enerji metabolizmasının iyileştirilmesi olduğu düşünülmektedir. Özellikle çocukluk çağı epilepsilerinde nöbet sıklığını azaltmada anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte erişkin hastalarda da olumlu etkiler bildirilmekle birlikte, uyum sorunları ve diyetin sürdürülebilirliği önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır.

Ketojenik diyetin uygulanması sırasında büyüme geriliği, gastrointestinal sorunlar ve mikronutrient eksiklikleri gibi potansiyel yan etkiler göz önünde bulundurulmalı ve bireyler multidisipliner bir ekip tarafından izlenmelidir. Sonuç olarak, ketojenik diyet ilaca dirençli epilepsi tedavisinde etkili bir tamamlayıcı yaklaşım olup, bireye özgü planlama ve yakın takip ile uygulanmalıdır. Gelecekte yapılacak daha geniş kapsamlı ve uzun süreli çalışmalar, diyetin etkinliği ve güvenilirliği hakkında daha güçlü kanıtlar sağlayacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Epilepsi, Ketojenik, Beslenme

## EFFECTS OF THE KETOGENIC DIET APPLIED IN PATIENTS WITH EPILEPSY

### ABSTRACT

Epilepsy is a chronic neurological disorder characterized by recurrent seizures, affecting millions of individuals worldwide. Although pharmacological treatments constitute the primary approach in epilepsy management, a significant proportion of patients experience drug-resistant seizures. Therefore, interest in alternative therapeutic strategies has increased. The ketogenic diet, characterized by high fat, low carbohydrate, and adequate protein content, induces a state of ketosis and has gained attention for its effectiveness, particularly in cases of drug-resistant epilepsy.

In this study, the effects of the ketogenic diet on epilepsy were evaluated in light of current literature. The primary mechanisms of action are thought to include a reduction in neuronal excitability through increased ketone bodies, regulation of neurotransmitter balance, and improvement in energy metabolism. Significant results have been reported in reducing seizure frequency, especially in pediatric epilepsy cases. Although positive effects have also been observed in adults, issues related to adherence and long-term sustainability remain important limitations.

During the implementation of the ketogenic diet, potential side effects such as growth retardation, gastrointestinal problems, and micronutrient deficiencies should be considered, and patients should be monitored by a multidisciplinary team. In conclusion, the ketogenic diet is an effective adjunctive approach in the treatment of drug-resistant epilepsy when applied with individualized planning and close monitoring. Future large-scale and long-term studies are needed to provide stronger evidence regarding its efficacy and safety.

**Keywords:** Epilepsy, Ketogenic, Nutrition



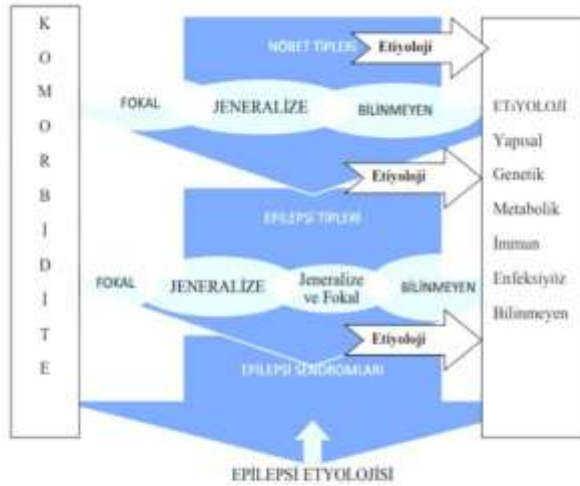
## GİRİŞ

Çocukluk çağında en sık rastlanan nörolojik problemlerin başında gelen epilepsi, ne zaman ortaya çıkacağı kestirilemeyen tekrarlayıcı nöbetler ile kendini gösteren bir sağlık durumudur. Epilepsinin dünya üzerinde yaklaşık 50–65 milyon insanı etkilediği tahmin edilirken, ülkemizdeki çocuklarda epilepsi prevalansının %0.8–1.7 arasında olduğu belirtilmektedir. (Gurhopur Turan, Fatma,& Dalgic, Ayşegül. (2020))

Uluslararası epilepsi ile savaş derneği (International League Against Epilepsy-ILAE) ‘e göre nöbet; beyindeki nöronların anormal, aşırı ve eş zamanlı olarak uyarılmasına bağlı olarak geçici belirti ve/veya bulguların ortaya çıkması olarak tanımlanmıştır. Epilepsi ise nükseden bu nöbetlere beynin eğilim gösterme durumudur. Nöbet geçiren bir bireyde epilepsi teşhisinin konulması üç şarta bağlıdır:

- 1) Aralarında en az 24 saatlik bir zaman dilimi bulunan, refleks nöbetler de dahil olmak üzere en az iki nöbetin gözlenmesi,
- 2) Bir tetiklenmiş ya da refleks nöbetin görülmesi veya tetiklenmemiş nöbetin ortaya çıkmasından sonra, bireyin benzer bir nöbetin geçirme olasılığı(önümüzdeki 10 yılda %60 veya
- 3) Bir epilepsi sendromu. (Günbey, c., & Turanlı, g. (2022))

## SINIFLANDIRMA



Şekil 1. ILAE'nin güncel epilepsi sınıflandırması (ILAE, 2017 kaynağından alınmıştır).

2017 ILAE sınıflandırma sistemi üç basamakta sunmuştur. Bu şekle göre sınıflandırma, epilepsi tanısının kesin olarak konulduğu varsayımıyla, nöbetin tipinin belirlenmesiyle başlar. Nöbet tipi fokal, jeneralize veya bilinmeyen başlangıçlı olarak sınıflandırılır. Ardından, epilepsi aşağıdaki dört tipten birine göre kategorize edilir: fokal, jeneralize, kombine jeneralize ve fokal veya bilinmeyen başlangıçlı. Daha sonra, spesifik sendromik tanıları kolaylaştırmak için, uygun olduğu durumlarda ilgili epilepsi sendromu belirlenir.

Nöbet ve epilepsi tiplerinin karakterizasyonu, çeşitli kaynaklardan elde edilen verilere dayanmaktadır; klinik öykü, semptom ve davranış tanımlarını detaylandırarak temel oluşturmaktadır. Öykü genellikle EEG sonuçları, olayların video kayıtları ve nörogörüntüleme çalışmalarıyla desteklenir. Mümkün olduğunca, üç ILAE sınıflandırma düzeyinin tamamını kapsayan kapsamlı bir değerlendirme yapmak, ilişkili eşlik eden hastalıkları dikkate almak ve epilepsinin altta yatan etiyolojisini belirlemek önemlidir. Bu yaklaşım, kaynak kullanılabilirliğindeki küresel varyasyonu dikkate alır ve sağlık çalışanlarının, ellerindeki kaynaklara bağlı olarak, epilepsiyi farklı özgülük derecelerinde sınıflandırmalarını sağlar.(Katyal R. (2025))

### 1. Nöbet Tipi

#### 2. Nöbetler başlangıç yerine göre üç gruba ayrılır:

- Fokal nöbetler: beynin tek bir hemisferinden başlar.
- Jeneralize nöbetler: beynin iki hemisferinde aynı anda başlar.
- Başlangıcı bilinmeyen nöbetler: nöbetin nereden başladığı belirlenemez. (Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020))

### 2. Epilepsi Tipi

Nöbet tipleri değerlendirildikten sonra epilepsi şu şekilde sınıflandırılır:

- Fokal epilepsi
- Jeneralize epilepsi
- Fokal ve jeneralize birlikte
- Bilinmeyen epilepsi(Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020))

### 3.Epilepsi Sendromu

Bazı hastalarda nöbet tipi, yaş, eeg bulguları ve klinik özellikler birlikte değerlendirilerek spesifik epilepsi sendromu tanısı konabilir. (Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, n. (2020))

### 4. Etiyoloji (şekil 1 ‘in sağ tarafı) ILAE 2017

Sınıflandırması ayrıca epilepsiyi nedenine göre de ayırır:

- Yapısal
- Genetik
- Metabolik
- İmmün
- Enfeksiyöz
- Bilinmeyen, bu nedenle görselde etiyoloji her aşamada değerlendirilmektedir.(Fisher R. S. (2017))

Farklı hastalıklar epilepsi nöbetlerine sebep olabilse de dünyada görülen vakaların yaklaşık olarak %50'sinde epilepsinin sebebi hala bilinmemektedir. Çocukluk dönemin epilepsi hastalığının en yaygın sebepleri merkezi sinir sistemi, enfeksiyonları, oksijen açısından yetersiz kalma (hipoksi) ve kafa travmalarıdır. Genel olarak genetik kökenlidir. (Kantarcı, K.B,(2025))

#### Genetik Nedenler

Genetik epilepsi, nöbetlerin ortaya çıkmasında bilinen ya da tahmin edilen bir genetik mutasyonun rol oynadığı epilepsi türünü ifade etmektedir. Bu gruptaki epilepsilerde çoğu zaman aile öyküsünde nöbet varlığı görülebilmekte ve elde edilen klinik bulgular elektroensefalografi (EEG) sonuçlarıyla desteklenebilmektedir. Down sendromu, Pitt–Hopkins sendromu, Klinefelter sendromu, Pallister–Killian sendromu, Miller–Dieker sendromu, Angelman sendromu ve Frajil X sendromu genetik kökenli epilepsilere örnek olarak gösterilmektedir. Ayrıca KCNQ2 ve KCNQ3 genlerinde meydana gelen mutasyonlar da genetik epilepsinin oluşumunda etkili olabilen faktörler arasında yer almaktadır. (Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020) , Kantarcı, K.B,(2025))

#### Yapısal Nedenler

Yapısal epilepsi, beyin dokusunda meydana gelen yapısal değişiklikler veya hasarlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu tür bozukluklar doğuştan gelen gelişim anomalilerinden kaynaklanabileceği gibi, yaşamın ilerleyen dönemlerinde oluşan beyin hasarları sonucunda da gelişebilmektedir. Beyin tümörleri, kortikal gelişim bozuklukları, travmatik beyin yaralanmaları, hipoksik-iskemik olaylar, vasküler malformasyonlar ve hipokampal skleroz epilepsinin yapısal nedenleri arasında sayılmaktadır. (Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020), Kantarcı, K.B,(2025))

#### Metabolik Nedenler

Metabolik süreçlerde meydana gelen bozukluklar sonucunda ortaya çıkan nöbetlerle karakterizedir. Metabolik hastalıklar, beyin fonksiyonlarını etkileyerek epileptik nöbetlerin gelişmesine zemin hazırlayabilmektedir. Bu tür epilepsilerde altta yatan metabolik sorunlar sinir sistemi üzerinde etkili olarak nöbet oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Kreatin metabolizması bozuklukları, mitokondriyal hastalıklar, biotinidaz eksikliği, GLUT-1 eksikliği ve serebral folat eksikliği metabolik kökenli epilepsi nedenleri arasında yer almaktadır.(Sarmast, S.T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020) , Kantarcı, k.b,(2025))

#### Enfeksiyöz Nedenler

Enfeksiyona bağlı epilepsiler, merkezi sinir sistemini etkileyen enfeksiyonlar sonucunda gelişen nöbetlerle ilişkilidir. Bu tür enfeksiyonlar beyin dokusunda hasara neden olarak epileptik nöbetlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilmektedir. Tüberküloz, bakteriyel menenjit ve meningoensefalit, serebral toksoplazmoz, viral

ensefalitler ile sitomegalovirüs (CMV) ve HIV enfeksiyonları enfeksiyon kaynaklı epilepsilere örnek olarak gösterilmektedir. (Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020) , Kantarcı, K.B,(2025))

#### İmmünolojik Nedenler

Bağışıklık mekanizmalarının nöronal yapılara karşı antikor üretmesiyle karakterize olan otoimmün reaksiyonlar, epilepsinin immünolojik kökenli nedenlerini oluşturur. Vücudun kendi savunma hücrelerinin sinir sistemine saldırması, nöbetlerin ortaya çıkışında kritik bir rol oynar. Bu grup içerisinde GAD-65 ve potasyum kanalı antikorlarının yanı sıra Anti-NMDA reseptör ensefaliti ve Rasmussen sendromu gibi spesifik klinik tablolar yer almaktadır. (Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020) , Kantarcı, K.B,(2025))

#### Bilinmeyen Nedenler

Bazı epilepsi vakalarında yapılan tüm değerlendirmelere rağmen altta yatan etiyolojik neden belirlenememektedir. Bu tür olgular bilinmeyen nedenli epilepsi olarak sınıflandırılmaktadır. Örneğin fires (febrile infection-related epilepsy syndrome) bu gruba dahil edilmektedir. Ayrıca çocukluk döneminde toksinlere maruz kalma, beyne oksijen gitmemesi ve bazı metabolik bozukluklar da epilepsinin olası nedenleri arasında yer alabilmektedir (Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020) , Kantarcı, K.B,(2025))

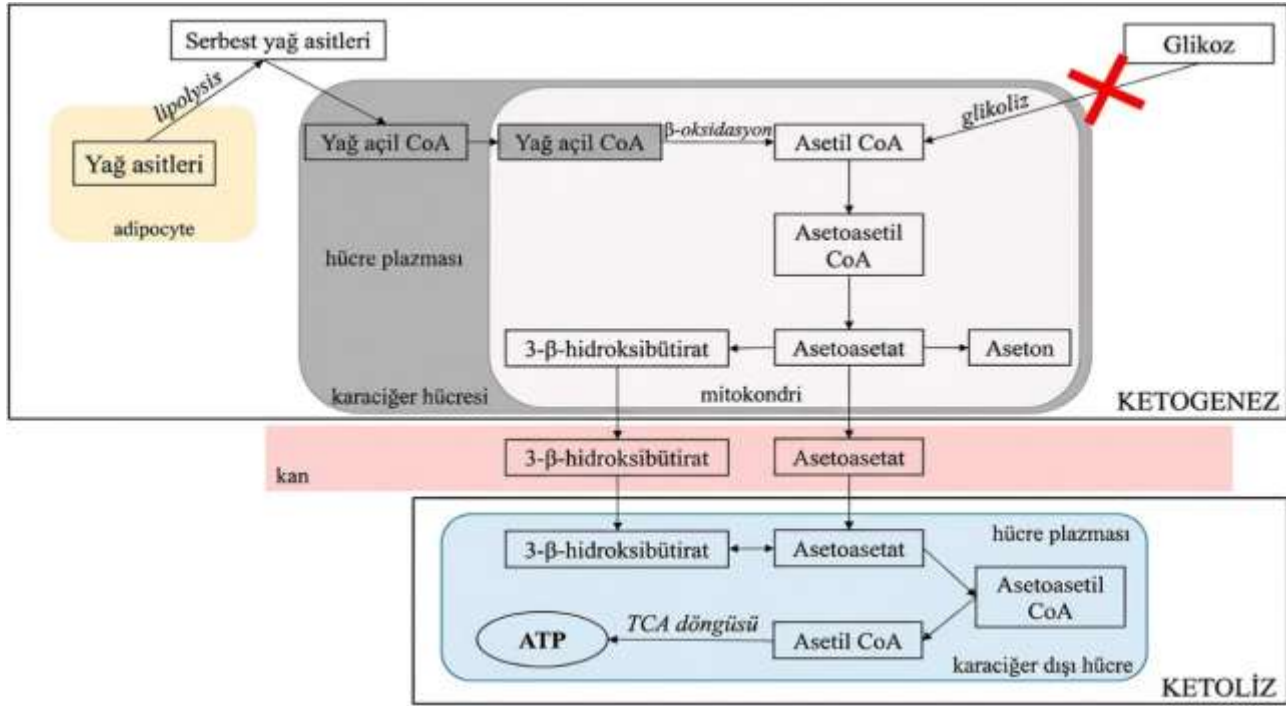
### **KETOJENİK DİYET**

İyi seçilmiş ve iyi dozlanmış iki antiepileptik ilaçla tedaviye yeterince yanıt vermeyen hastalar için ketojenik diyet düşünülmelidir. Bu nedenle, nörologlar genellikle hastalara daha iyi antiepileptik kontrol sağlamak için ketojenik diyet de dahil olmak üzere diyet gibi diğer tedavileri önermektedir. Ketojenik diyet, rutin ilaçlara dirençli epilepsili birçok çocuk, ergen ve yetişkin için son çare tedavisidir. Her yıl yeni antiepileptik ilaçların geliştirilmesine rağmen, daha önce de belirtildiği gibi, epilepsili hastaların yaklaşık üçte birinde tedavinin tam olarak etkili olmadığı kabul edilmelidir. (Ułamek-Kozioł ve ark., 2019). Ketojenik diyet, karbonhidratlarda sınırlama ve protein ve yağ oranında göreceli artış ile karakterize edilen bir diyet modelidir Çakal, K., & Korucu, C. (2025))

#### **Ketojenik Diyetin Fizyolojisi**

Ketojenik diyetin çalışma mekanizması, karbonhidrat alımını ciddi şekilde azaltıp, protein alımını normal düzede tutan, yağ alımı yüksek olan diyet modelidir. Bu diyetle karbonhidrat alımı genellikle günde 50 g'ın altına düşürülür. Karbonhidratın az olduğu durumda insülin salgılanması azalır ve vücuttaki glikojen depoları boşalır. Vücut farklı bir enerji kaynağı sağlamak için glukoneogenez ve ketogenezi aktive eder. Glukoneogenez ketojenik diyet uygulandığında üç güne kadar sürdürülebilir; ancak glukoz üretimi azaldığında endojen glikoz yıkımı yeterli enerji sağlayamaz. Metabolik gereksinimleri ve beynin enerji ihtiyacını karşılamak için ketogenez başlar ve keton cisimleri bir alternatif enerji kaynağı olarak kullanılır. Keton cisimleri karaciğerde acetoasetat ve  $\beta$ -hidroksibütirat şeklinde üretilir ve bunlar birincil enerji kaynağı olarak toplanıp kullanılır. Keton cisimleri

kalp, kas dokusu ve böbrekler tarafından enerji kaynağı olarak kullanılabilir ve kan-beyin bariyerini geçerek beyne alternatif enerji sağlayabilir. (Doğan, D., Okumuş, e., & Meydan, İ. (2025).



Şekil 2: Ketojenik diyetin fizyolojisi (Drabińska ve ark. 2021, ss. 28-38)

Keton cisimciklerini metabolize eden monokarboksilik asit taşıyıcı enzimlerin bebek ve çocuklardaki varlığının yetişkinlerden daha fazla olduğu ve yaşla birlikte bu enzim aktivitesinin azaldığı bildirilmektedir. Bu durum, ketojenik tıbbi beslenme tedavisinin pediatrik grupta yetişkinlere nazaran daha efektif sonuçlar vermesinin temel gerekçesi olarak görülmektedir. Ancak, büyüme ve gelişmenin en hızlı olduğu bebeklik ve çocukluk yıllarında (özellikle ilk 2 yaş) uygulanacak ketojenik protokollerin, olası riskleri minimize etmek adına uzman bir sağlık ekibi denetiminde ve büyük bir dikkatle yürütülmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. (Borowicz-Reutt, K., Krawczyk, M., & Czernia, J. (2024))

Bu durum, mekanizmaları, etkinliği ve tolere edilebilirliği üzerine daha fazla araştırma yapılmasını teşvik etmektedir. gebelik planlayan veya hamile olan epilepsi hastaları ile epilepsili çocukların ebeveynleri, ilaç tedavilerinin yaratabileceği yan etkiler ve doğumsal fonksiyon bozukluklarına yol açabilir. Riskler göz önünde bulundurulduğunda, bu tedaviye özellikle ilgi göstermektedir. Etik nedenlerle, ketojenik diyet her zaman ilaç tedavisine ek olarak başlatılmaktadır; ancak tedavi sürecinde ilaçlar azaltılabilir veya tamamen kesilebilir. (Şener, N., & Akbulut, G. (2021))

Tıbbi literatürde yayınlanmış beş tür ketojenik diyet türü vardır. Şu anda mevcut olan tüm türleri klasik ketojenik diyetin değiştirilmiş şeklidir. Makro besin oranı bu diyetler arasındaki en büyük farktır. Ketojenik

diyet, kalorilerin yaklaşık %5-10'unu karbohidratlardan, %20-25'ini proteinlerden ve %65-80'ini yağlardan sağlayan “çok düşük karbohidratlı diyetir”. (Toprak, M. S. (2024). Diyet türleri.)

## KETOJENİK DİYET TÜRLERİ

Günümüzde;

- Klasik ketojenik diyet (KKD),
- Modifiye atkins ketojenik diyeti (MAKD),
- Orta zincirli trigliserit ketojenik diyeti (MCTKD)
- Düşük glisemik indeks diyeti (DGID) (Ertaş Öztürk, Y., & Köken, M. (2023))
- Atkins diyeti ( Filiz, C., Yıldız, E., & Gürbüz, o. (2022)), olmak üzere uygulanan beş ketojenik diyet çeşidi bulunmaktadır.

### Klasik Ketojenik Diyet (KKD)

Klasik ketojenik diyet, yüksek yağlı, yeterli veya düşük proteinli ve düşük karbonhidratlı bir diyet rejimidir. Ketojenik oran genellikle 4:1, 3:1 veya 2:1 olarak belirlenir. Bu, toplamda her 4, 3 veya 2 g yağ için 1g protein ve karbonhidrat bulunduğu anlamına gelir. Klinik şartlarda en çok tercih edilen oran 4:1'dir; bu oran, toplam enerjinin %80'ini başta uzun zincirli trigliseritler olmak üzere yağdan, %15'ini proteinlerden ve %5'ini karbonhidratlardan sağlar. Gelişim çağına olan bebekler ve ergenler için en uygun oranın 3:1 olduğu görülmektedir. Proteinler ise büyüme için minimum düzeyde tutulmalıdır.(Borowicz-Reutt, K., Krawczyk, M., & Czernia, J. (2024))

### Modifiye Atkins Ketojenik Diyeti (MAKD)

Karbonhidrat alımının ciddi şekilde sınırlandırıldığı bir ketojenik diyet türüdür. Bu diyetle günlük karbonhidrat tüketimi genellikle 10–20 gram ile sınırlandırılırken, enerji, protein ve yağ alımı açısından belirgin bir kısıtlama uygulanmaz. Araştırmalar, bu beslenme modelinin epilepsi hastalarında nöbet sıklığının kontrol altına alınmasına katkı sağlayabildiğini göstermektedir. Özellikle iştahı yüksek olan bireylerde, poliklinik koşullarında hızlı bir diyet müdahalesine ihtiyaç duyulan durumlarda ve klasik ketojenik diyeti uygulamak için yeterli zaman veya kaynak bulunmadığında, ergenler ve yetişkinler için uygun bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Genellikle 1:1 veya 2:1 ketojenik oranla uygulanan Modifiye Atkins Diyeti, hastaların büyüme ve fiziksel gelişimlerini destekleyebilecek daha esnek bir beslenme modeli sunmaktadır. Bu diyet modelinde protein, yağ ve toplam enerji alımı büyük ölçüde serbest bırakılırken karbonhidrat tüketimi sınırlandırılmaktadır. Günlük karbonhidrat miktarı çocuklarda yaklaşık 10–20 gram, ergenlerde ise 15–25 gram arasında tutulmaktadır. (Köken, M., & Öztürk, Y. E. (2023) , Borowicz-Reutt, K., Krawczyk, M., & Czernia, J. (2024))



### Orta Zincirli Triglicerit (MCT) Diyeti

MCT diyeti, enerjinin yaklaşık %45-60'ını yağlardan karşılayan ve Klasik Ketojenik Diyet'in modifiye edilmiş bir formu olarak tanımlanan bir diyet türüdür. Orta zincirli yağ asitleri hücrelere kolayca taşındığı ve hızla metabolize edildiği için MCT'nin ketojenitesi KKD'den daha fazladır. Daha ketojenik olması nedeniyle, MCT daha düşük yağ içeriğine ve artırılmış günlük protein ve karbonhidrat alımına izin verir, bu da diyet modeli toleransını artırır ve gastrointestinal yan etkileri azaltır. (Köken, M., & Öztürk, Y. E. (2023), Borowicz-Reutt, K., Krawczyk, M., & Czernia, J. (2024))

### Düşük Glisemik İndeksi Diyeti (DGİT)

Glisemik indeksi 50'den düşük olan besinler tercih edilirdi diyetlerdir türüdür . Bu diyet tedavisi, klasik KD ile neredeyse aynı etkinliğe sahiptir, ancak daha lezzetli ve uygulanması daha kolaydır (Barzegar ve ark., 2021))

### Atkins Diyeti

Dr. Robert Atkins tarafından epilepsi hastalığının tedavisinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu diyet türü, karbonhidrat alımını oldukça kısıtlarken KD' ye göre protein düzeyini biraz daha fazla (orta düzeyde) tutmaktadır. Diyet, 4 fazdan oluşmaktadır.

Faz-1: günde 20 gram karbonhidrat tüketimi ile en kısıtlayıcı faz olarak bilinmektedir. Ketoz durumu yalnızca bu fazda görünmektedir.

Faz-2: karbonhidrat alımı günde 25-50 grama çıkartılmaktadır.

Faz-3: günlük karbonhidrat miktarı 80 grama çıkartılarak birey sağlıklı vücut ağırlığı aralığına ulaşana kadar uygulanmaktadır.

Faz 4: günlük 100 gram karbonhidrat tüketimine izin verilmektedir.

Bu fazda azaltılmış ağırlığın korunması amaçlanmaktadır. Bu diyetin uzun vadede olumlu etkilerinin, olumsuz etkilerinden daha fazla olup olmadığını belirleyebilmek için literatürde yetersiz bilgi bulunmaktadır.(Filiz, C., E., & Gürbüz, O. (2022))

Toblo 1: Ketojenik diyetlerin karşılaştırması

| Diyet Türü             | Temel Özellik                         | Oran / Karbonhidrat         | Enerji Dağılımı             | Uygulama Alanı           |
|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Klasik (KKD)           | Yüksek yağ, düşük KH, yeterli protein | 4:1 (3:1 veya 2:1)          | %80 yağ, %15 protein, %5 KH | Çocukluk çağı epilepsisi |
| Modifiye Atkins (MAKD) | KH kısıtlı, protein ve yağ serbest    | 1:1-2:1; 10-25 g KH/gün     | Serbest enerji dağılımı     | Ergen ve yetişkinler     |
| MCT Diyeti             | MCT yağları kullanılır                | Düşük yağ ile ketozis       | Enerjinin %45-60'ı yağdan   | Tolerans sorunu olanlar  |
| Düşük Glisemik (DGİT)  | Düşük GI besinler (GI < 50)           | GI < 50 karbonhidratlar     | KD'ye benzer, daha esnek    | Uzun süreli uyum         |
| Atkins Diyeti          | KH kısıtlı, protein orta düzey        | 20-100 g/gün (fazlara göre) | Protein KKD'den yüksektir   | Alternatif yaklaşım      |

### **Ketojenik Diyetin Avantajları**

- GABA gibi sinir sistemi üzerinde etkili nörotransmitterlerin dengesini düzenleyerek nörolojik fonksiyonları destekler.
- PPAR- $\gamma$  ve NF- $\kappa$ B gibi inflamasyonla ilişkili sinyal yollarını modüle ederek inflamatuvar süreçleri azaltabilir.
- Oksidatif stres düzeylerini düşürerek hücrel hasarın azalmasına katkı sağlar.
- Potasyum kanalları gibi hücrel ileti mekanizmalarını etkileyerek metabolik dengeyi destekler.
- Karbonhidrat alımını ciddi şekilde kısıtlayarak vücudu ketozis durumuna sokar; bu durumda yağlar enerji kaynağı olarak kullanılır ve ATP üretimi artarak enerji metabolizması iyileşir. (Alaca, G., Kaner, G., & Yurtdaş, G. (2022) , Yue Yueyi, Han Xiaojing, Lu Yan (2023))

### **Ketojenik Diyetin Dezavantajları**

- Ketojenik diyetin uzun süreli uygulanması zor olabilir; karbonhidrat kısıtlaması nedeniyle sürdürülebilirliği düşüktür.
- Lif alımının azalmasına bağlı olarak sindirim sistemi sorunları gelişebilir; özellikle kabızlık ve bağırsak motilitesinde azalma görülebilir.
- Uzun süreli kullanımda kemik mineral yoğunluğunda azalma oluşabilir ve kemik kaybı riski artabilir.
- Lipid profilinde değişikliklere yol açarak özellikle LDL kolesterol düzeylerinde artış görülebilir.
- Yetersiz ve dengesiz planlandığında vitamin ve mineral eksiklikleri gelişebilir.
- Yağ metabolizması bozukluğu olan bireylerde ciddi komplikasyonlar ortaya çıkabilir; bu nedenle ketojenik diyet başlanmadan önce yağ asidi oksidasyon ve transport bozuklukları açısından tarama yapılmalıdır.
- Primer karnitin eksikliği gelişebilir veya mevcut eksiklikler belirginleşebilir.
- Karnitin translokaz eksikliği gibi yağ asidi taşıma bozuklukları açısından risk oluşturabilir.
- Yağ asidi beta-oksidasyon kusurları olan bireylerde metabolik dekompanasyon görülebilir. (Alaca, G., kaner, G., & Yurtdaş, G. (2022) , Yue Yueyi, Han Xiaojing, Lu Yan (2023))

### **EPİLEPSİ HASTALARINDA KETOJENİK DİYETİN UYGULANMASI**

Diyet uygulamasına başlanmadan önce nöbet türü belirlenmeli ve hastada eşlik eden başka bir hastalık olup olmadığı dikkatle değerlendirilmelidir. Özellikle böbrek taşı, dislipidemi, karaciğer hastalıkları, büyüme geriliği, gastroözofageal reflü, oral alım yetersizliği, konstipasyon, kardiyomiyopati ve kronik metabolik asidoz gibi durumların varlığı araştırılmalıdır (Yel, P., & Karadakovan, A., 2021).

Epilepsi hastalarında yalnızca tıbbi tedavi değil, davranışsal ve psikososyal yaklaşımlar da nöbetlerin kontrol altına alınmasında ve yaşam kalitesinin artırılmasında önemli bir yere sahiptir. Sağlık çalışanlarının; hasta ve ailesine hastalık hakkında doğru ve yeterli bilgi vermesi, bireyin kendi bakım becerilerini geliştirmesine destek olması ve bu süreçte etkin iletişim kurması gerekmektedir. Aynı zamanda toplumda epilepsiye yönelik farkındalığın artırılması da tedavi sürecini olumlu yönde etkilemektedir.

Tedavi sürecinde başarı sağlanabilmesi için hastanın eğitim gereksinimleri önceden belirlenmeli ve bireyin hastalığını yönetme becerisi desteklenmelidir. Bu yaklaşım, tedaviye uyumu artırarak daha etkili ve sürdürülebilir bir hastalık yönetimine katkı sağlar.(Yel, P., & Karadakovan, A. (2021))

### **Tedaviye Uyumunu Artırmak İçin Yapılması Gerekenler;**

#### **1. Danışmanlık (Aile – Hasta – Multidisipliner Ekip)**

- Nöbet sıklığındaki azalma doğrultusunda tıbbi ve bilişsel hedeflerin netleştirilmesi.
- Ketojenik diyetle uyumu etkileyebilecek psikososyal faktörlerin analiz edilmesi.
- Özellikle antikonvülzan ilaçlarla karbonhidratlar arasındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi.
- Aileye ketojenik diyet konusunda kapsamlı bilgilendirme yapılması (Kılıç & Aydın, 2021).

#### **2. Beslenme Durumunun Genel Değerlendirilmesi**

- Boy uzunluğu, vücut ağırlığı, boy-ağırlık ilişkisi ve ideal vücut ağırlığının belirlenmesi.
- Süt çocuklarında baş çevresi ölçümünün yapılması.
- Uygun beden kitle indeksi (BKİ) değerlendirmesinin gerçekleştirilmesi.
- Üç günlük besin tüketim kaydı alınarak beslenme alışkanlıkları ile olası alerji ve intoleransların saptanması.
- Gereksinim halinde oral, enteral ya da kombine beslenme yöntemlerinin planlanması (Kılıç & Aydın, 2021).

#### **3. Diyetle Başlama Kararı ve Planlama (Diyetisyen)**

- Bireye en uygun diyet türünün seçilmesi (klasik ketojenik diyet, MCT diyeti, modifiye Atkins diyeti, düşük glisemik indeks diyeti).
- Enerji ihtiyacı ile makro besin dağılımının (yağ, protein ve karbonhidrat oranları) hesaplanması.
- İhtiyaca göre vitamin ve mineral desteklerinin düzenlenmesi (Kılıç & Aydın, 2021).

#### **4. Ketojenik Diyet Uygunluk Değerlendirmesi (Diyetisyen)**

- Kalori, protein ve sıvı gereksinimlerinin yeterli düzeyde karşılanıp karşılanmadığının incelenmesi.
- Kullanılan vitamin ve mineral desteklerinin yeterliliğinin değerlendirilmesi.
- Diyetle uyumun düzenli aralıklarla takip edilmesi.

- Nöbet kontrolünü artırmak amacıyla gerektiğinde diyetin yeniden düzenlenmesi (Kılıç & Aydın, 2021).

##### 5. Tıbbi Değerlendirme (Nörolog)

- Ketojenik diyetin çocuğun klinik hedeflerine ulaşp ulaşmadığının değerlendirilmesi.
- Metabolik asidoz, hipoglisemi, kabızlık ve lipid yüksekliği gibi olası yan etkilerin izlenmesi.
- Antiepileptik tedavide değişiklik gereksiniminin gözden geçirilmesi.
- Diyetin sürdürülüp sürdürülmeyeceğine karar verilmesi. (Kılıç, b., & aydın, k. (2021))

#### YAPILAN ÇALIŞMALAR

##### ÇOCUKLARDA VE ERGENLERDE DİRENÇLİ EPİLEPSİNİN TEDAVİSİNDE KETOJENİK DİYETİN ETKİSİ: İNCELEMELERİN SİSTEMATİK BİR İNCELEMESİ

Çalışmaya epilepsi tanısı almış ve antiepileptik ilaç tedavisine yanıt vermeyen toplam hasta grubu dahil edilmiştir. Hastalar uygulanan ketojenik diyet türlerine göre alt gruplara ayrılarak değerlendirilmiştir. Uygulanan ketojenik diyet türleri ve hasta sayıları klasik ketojenik diyet (3:1 veya 4:1): hasta grubunun büyük çoğunluğunda uygulanmıştır. Modifiye atkins diyeti (mad): daha çok okul çağındaki çocuklarda tercih edilmiştir. Orta zincirli trigliserid (mct) diyeti: sınırlı sayıda hastada uygulanmıştır. (diyet seçimi hastanın yaşı, nöbet tipi ve diyetle uyum potansiyeline göre yapılmıştır.) Ketojenik diyet uygulanan hastaların yaklaşık yarısından fazlasında nöbet sıklığında  $\geq 50\%$  azalma saptanmıştır. Hastaların belirli bir bölümünde  $\geq 90\%$  nöbet azalması veya tam nöbetsizlik elde edilmiştir. En yüksek nöbet kontrol oranları klasik ketojenik diyet uygulanan hastalarda gözlenmiştir. Modifiye atkins diyeti, nöbet kontrolü açısından etkili olmakla birlikte hasta uyumunun daha iyi olduğu diyet türü olarak değerlendirilmiştir. Mct diyeti etkili bulunmakla birlikte, gastrointestinal yan etkiler nedeniyle daha sınırlı hasta grubunda tercih edilmiştir. Genel değerlendirme çalışma sonuçları, ketojenik diyetin özellikle ilaçlara dirençli pediatrik epilepsi hastalarında etkili bir tedavi seçeneği olduğunu göstermektedir. Diyet türünün bireyselleştirilmesi, hem nöbet kontrolünü artırmakta hem de tedaviye uyumu olumlu yönde etkilemektedir. (Uyar, G. Ö., & Şanlıer, N. (2018))

##### SUUDİ ARABİSTAN'DA ÇOCUKLARDA (BEBEKLİKTEN 14 YAŞINA KADAR) DİRENÇLİ EPİLEPSİDE NÖBETLERİN AZALMASINDA KETOJENİK DİYETİN ETKİSİ: KESİTSEL BİR ÇALIŞMA

Toplam hasta sayısı: 95 çocuk yaş aralığı: 10 ay – 14 yaş tanı: ilaca dirençli (refrakter) epilepsi hastalarında Kullanılan ketojenik diyet türleri çalışmada klasik ketojenik diyet oranları kullanılmıştır:sadece klasik ketojenik diyet uygulanmıştır.

##### Diyet Türü (Yağ : KH+Protein) – Hasta Sayısı – Etki

- 1:1 — 3 hasta – etki yok
- 2:1 — 5 hasta – etki yok

- **3:1** — 59 hasta – anlamlı nöbet azalma
- **4.5:1** — 28 hasta – anlamlı nöbet azalma

Nöbet üzerine etki: 42 hastada  $\geq$  %50 nöbet azalması 53 hastada anlamlı yanıt yok 4 çocuk tamamen nöbetsiz 1 çocukta %90 nöbet azalması

Diyet oranına göre sonuç: 1:1 ve 2:1 diyetlerde → hiçbir hastada iyileşme yok 3:1 ve 4.5:1 diyetlerde → hastaların yaklaşık %44'ünde belirgin iyileşme

En etkili diyetler: 3:1 ve 4.5:1 klasik ketojenik diyet

Diyete devam ve sonuç ilişkisi: Diyeti sürdüren çocuklarda nöbet azalması 6–7 kat daha fazla diyet oranı değiştirilen çocuklarda iyileşme olasılığı  $\approx$  3 kat artmış

Genel sonuç : ketojenik diyet, çocuklarda epilepside etkili bir tedavi seçeneğidir yalnızca yüksek oranlı klasik kd ( $\geq$ 3:1) etkilidir düşük oranlı diyetler (1:1–2:1) etkisizdir diyetle uyum ve süreklilik, başarıyı belirleyen en önemli faktördür.

### KETOJENİK DİYETİN ÇOCUKLARDA İLACA DİRENÇLİ EPİLEPSİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: KAPSAMLI BİR İNCELEME VE META-ANALİZ

İlaça dirençli epilepsi, standart anti-epileptik ilaçlara yanıt vermeyen hastalarda uygulanmıştır. Bu çalışma, pediatrik ilaca dirençli epilepsi hastalarında ketojenik diyet, modifiye atkins diyeti ve düşük glisemik indeks diyeti etkinliğini ve güvenliğini sistematik olarak değerlendirmeyi amaçlamıştır.

1 ile 18 yaş arası 788 katılımcıyı içeren 11 randomize kontrollü çalışma (ret) analiz edilmiştir. Katılımcıların tamamı, en az iki anti-epileptik ilaca yanıt vermeyen ilaca dirençli epilepsi hastasıdır. Araştırmaya dahil edilen 11 randomize kontrollü çalışma; avusturya, hollanda, mısır ve hindistan gibi farklı ülkelerdeki hasta popülasyonlarını kapsamaktadır. Çalışmanın nicel sonuçları, diyet müdahalesinin nöbet kontrolünde istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlüğe sahip olduğunu göstermiştir.

Klasik Ketojenik Diyet: en sık başvuru yöntemidir. Bu diyetle kalorilerin %90'ı yağlardan gelir ve genellikle 4:1 oranında.

Modifiye Atkins diyeti: klasik diyetle göre daha az kısıtlayıcı olan bu yöntemde protein, sıvı veya kalori kısıtlaması bulunmaz. Analiz edilen çalışmalarda çocukların bir kısmına bu diyet uygulanmıştır.

Düşük Glisemik İndeks Diyeti: en esnek diyet formudur. Karbonhidrat alımı günlük 40-60 gram ile sınırlandırılır ve glisemik indeksi 50'den düşük gıdalar tercih edilir.

Ketojenik diyet müdahaleleri, ilaca dirençli ve refrakter epilepsisi olan çocuklarda nöbet sıklığının azaltılmasında yüksek etkinlik göstermiştir. Yapılan analizler, diyet uygulamasının nöbet sıklığında %50-%90'dan fazla azalma ile anlamlı düzeyde ilişkili olduğunu doğrulamıştır.

Diyet müdahalesinin, standart bakıma kıyasla hastaların nöbetten tamamen kurtulma olasılığını %4.13 kat artırdığı saptanmıştır.

Ketojenik diyet, cerrahi adayı olmayan veya farmakolojik tedaviye yanıt vermeyen hastalar için yaşam kalitesini artıran güvenli bir non-farmakolojik seçenek olarak değerlendirilmiştir. En sık rastlanan yan etki %39.07 prevalans oranı ile kabızlık olurken, bunu kusma %18.17 ve anoreksi %18.01 izlemiştir.

## SONUÇ

Epilepsi yönetiminde farmakolojik tedaviler temel yaklaşım olsa da, hastaların yaklaşık üçte birinde ilaca dirençli nöbetler görülmeye devam etmektedir. Bu bağlamda ketojenik tıbbi beslenme tedavisi (KBT), özellikle farmakolojik tedaviye yanıt vermeyen pediatrik ve erişkin olgularda etkinliği kanıtlanmış, güvenli ve non-farmakolojik bir tamamlayıcı seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Diyetin temel mekanizması, karbonhidrat kısıtlamasıyla vücudu ketozis durumuna sokarak nöronal uyarılabilirliği azaltmak, nörotransmitter dengesini düzenlemek ve enerji metabolizmasını iyileştirmek üzerine kuruludur. Klinik çalışmalar, ketojenik diyet müdahalelerinin ilaca dirençli epilepsi hastalarında nöbet sıklığını %50 ile %90'dan fazla oranda azalttığını, hatta bazı hastalarda tam nöbetsizlik sağladığını doğrulamaktadır.



## KAYNAKÇA

- Aheed, B., Ashraf, F., Mustafa, M. S., Shafique, M. A., Ali, S. M. S., Iqbal, M. F., & Haseeb, A. (2024). The impact of ketogenic diet on drug-resistant epilepsy in children: A comprehensive review and meta-analysis. *Irish Journal of Medical Science (1971-)*, 193(3), 1495-1503. <https://doi.org/10.1007/s11845-024-03622-8>
- Alaca, G., Kaner, G., & Yurtdaş, G. (2022). Ketojenik diyetin dirençli epilepsi üzerine etkisine güncel bakış. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*.
- Baghdadi, L. R., Alhomaidi, R. A., Alhelal, F. S., Alqahtani, A. A., Aldosary, S. A., Almohammed, S. M., Almutairi, R. A., Jad, L. A., & AlShammari, H. H. (2022). Effect of a ketogenic diet on decrease of seizures in refractory epilepsy among children (infancy to 14 years old) in Saudi Arabia: A cross-sectional study. *Journal of Clinical Medicine*. <https://doi.org/10.3390/jcm11102824>
- Borowicz-Reutt, K., Krawczyk, M., & Czernia, J. (2024). Ketogenic diet in the treatment of epilepsy. *Nutrients*. <https://doi.org/10.3390/nu16091258>
- Barzegar, M., Afghan, M., Tarmahi, V., Behtari, M., Rahimi Khamaneh, S., & Raeisi, S. (2021). Ketojenik diyet: genel bakış, türler ve olası nöbet önleyici mekanizmalar. *Beslenme Nörobilimi*, 24(4), 307-316
- Çakal, S., & Korucu, C. (2025). Aterosklerotik kardiyovasküler hastalıklarda diyet paternleri. *Bulletin of Cardiovascular Academy*.
- Díez-Arroyo, C., García-García, M., Soto-Méndez, M. J., Molina-Montes, E., Gil-Campos, M., Gil, Á., ... & Hernández-Ruiz, Á. (2024). Effect of the ketogenic diet as a treatment for refractory epilepsy in children and adolescents: A systematic review of reviews. *Nutrition Reviews*, 82(4), 487–502. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuad071>
- Drabińska, N., Wiczowski, W., & Piskula, M. K. (2021). Recent advances in the application of a ketogenic diet for obesity management. *Trends in Food Science & Technology*. 110, 28-38.
- Eda, C. D. (2025). *Epilepsili hasta yakınlarının epilepsi hakkındaki bilgi ve tutumlarının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No: 919577)
- Ertaş Öztürk, Y., & Köken, M. (2023). Epilepsi hastalarında uygulanan ketojenik diyet çeşitleri ve etkinlikleri. *Health Academy Kastamonu*. <https://doi.org/10.25279/sak.1058122>
- Filiz, C. E., & Gürbüz, O. (2022). Ketojenik beslenme ve sağlık. *Izmir Democracy University Health Sciences Journal*.
- Fisher, R. S. (2017). The new classification of seizures by the International League Against Epilepsy 2017. *Current Neurology and Neuroscience Reports*. <https://doi.org/10.1007/s11910-017-0758-6>

- Mustafa, M. S., Shafique, M. A., Aheed, B., Ashraf, F., Ali, S. M. S., Iqbal, M. F., & Haseeb, A. (2024). The impact of ketogenic diet on drug-resistant epilepsy in children: A comprehensive review and meta-analysis. *Irish journal of medical science*, 193(3), 1495–1503. <https://doi.org/10.1007/s11845-024-03622-8>
- Günbey, C., & Turanlı, G. (2022). Epilepsi ve pediatrik epilepsi sendromları.
- Gurhopur Turan, F., & Dalgıç, A. (2020). Evaluation of the effectiveness of the education program for the management of seizures out of hospital in children who have epilepsy: Systematic review of the randomized control trials. *Epilepsi*.
- Katyal, R. (2025). Epilepsinin sınıflandırılması ve tanısı. *Continuum (Minneapolis, Minn.)*, 31(1), 14–37. <https://doi.org/10.1212/cont.0000000000001519>
- Kantarci, K. B. (2025). Epilepsi hastalığına sahip kardeşi olan ergenlerde psikolojik sağlamlık ve benlik saygısının incelenmesi (Yüksek lisans tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Kılıç, B., & Aydın, K. (2021). Epilepside ketojenik diyetin önemi. *Çocuk Kronik Hastalıklarında Beslenme*.
- Köken, M., & Öztürk, Y. E. (2023). Epilepsi hastalarında uygulanan ketojenik diyet çeşitleri ve etkinlikleri. *Sağlık Akademisi Kastamonu*.
- Özkaya, Y., & Ersoy, G. (2019). Ketojenik diyetin epilepsi tedavisindeki kullanımı. *Türkiye Klinikleri Beslenme ve Diyetetik Dergisi*.
- Sarmast, S. T., Abdullahi, A. M., & Jahan, N. (2020). Current classification of seizures and epilepsies: Scope, limitations and recommendations for future action. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.10549>
- Şener, N., & Akbulut, G. (2021). Dirençli epilepside erişkin uygulamaları ile birlikte ketojenik tıbbi beslenme tedavisine güncel yaklaşım. *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*.
- Toprak, M. S. (2024). Diyet türleri.
- Ułamek-Kozioł, M., Czuczwar, S. J., Januszewski, S., i Pluta, R. (2019). Ketogenic diet and epilepsy. *Nutrients*, 11(10), 2510. <https://doi.org/10.3390/nu11102510>
- Yel, P., & Karadakovan, A. (2021). Epilepsi hastalarında tedaviye uyum ve etkileyen faktörler. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*.
- Yue, Y., Han, X., & Lu, Y. (2023). Ketojenik diyetin avantajları ve dezavantajları. *Klinik Tıp Uygulama Dergisi*.

## OKULÖNCESİ DÖNEMDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ TARİH EĞİTİMİ: ÇOCUK GELİŞİMİ BAĞLAMINDA KURAMSAL VE UYGULAMALI BİR İNCELEME

Dr., Özlem KARAPINAR GÖK 1/ Öğr. Gör. Dr. Mustafa GÜLSÜN 2

1-Türkiye Cumhuriyeti Tarihi, ozlem\_karapinar\_89@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-5183-0181

2-Muş Alparslan Üniversitesi Malazgirt Meslek Yüksekokulu, İletişim Bilimleri ve Yapay Zekâ, m.gulsun@alparslan.edu.tr, ORCID:0000-0002-1202-6246

### Özet

Bu çalışma, okul öncesi dönem çocuklarının gelişimsel özellikleri ile yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin tarih öğretimindeki entegrasyonunu kuramsal ve uygulamalı bir perspektifle incelemeyi amaçlamaktadır. Okul öncesi dönemde tarih eğitimi; zaman algısının henüz tam gelişmemiş olması ve tarihi olayların soyut doğası nedeniyle geleneksel yöntemlerle aktarılmasında zorluklar barındırmaktadır. Ancak Piaget’nin bilişsel gelişim kuramı ve Vygotsky’nin sosyal yapılandırmacı yaklaşımı temel alındığında, YZ destekli araçların bu süreci somutlaştırarak anlamlı öğrenmeyi destekleme potansiyeli yüksektir. Çalışma kapsamında, üretken yapay zekâ (Generative AI) araçlarının (görsel oluşturma, etkileşimli hikayeleştirme ve seslendirme teknolojileri) çocukların tarihsel figürleri, mekanları ve yaşam biçimlerini tanımasındaki rolü ele alınmıştır. Kuramsal boyutta, YZ’nin çocuklarda merak duygusunu tetikleme, empati becerisini geliştirme ve geçmiş-günümüz arasında bağ kurma süreçlerine olan katkısı irdelenmektedir. Uygulama boyutunda ise, çocukların gelişimsel düzeylerine uygun olarak tasarlanmış “YZ ile Tarih Yolculuğu” temalı örnek etkinlikler ve bu süreçte dikkat edilmesi gereken etik ilkeler (ekran süresi, içerik güvenliği, veri gizliliği) tartışılmaktadır. Sonuç olarak, YZ destekli tarih eğitiminin; çocukların tarihsel farkındalıklarını artırdığı, dijital okuryazarlık becerilerini desteklediği ve en önemlisi “soyut tarih” kavramını “deneyimlenebilir bir anlatıya” dönüştürdüğü gözlemlenmiştir. Bu çalışma, okul öncesi eğitim programlarına YZ’nin pedagojik açıdan doğru entegrasyonu için öğretmen ve araştırmacılara yol gösterici bir model sunmayı hedeflemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Okul Öncesi Eğitim, Yapay Zekâ, Tarih Eğitimi, Çocuk Gelişimi, Dijital Pedagoji.

## AI-SUPPORTED HISTORY EDUCATION IN THE PRESCHOOL PERIOD: A THEORETICAL AND PRACTICAL REVIEW IN THE CONTEXT OF CHILD DEVELOPMENT

Dr., Özlem KARAPINAR GÖK 1/ Öğr. Gör. Dr. Mustafa GÜLSÜN 2

1- History of the Republic of Turkey, ozlem\_karapinar\_89@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-5183-0181

2- Muş Alparslan University, Malazgirt Vocational School, Communication Sciences and Artificial Intelligence, m.gulsun@alparslan.edu.tr, ORCID:0000-0002-1202-6246

### Abstract

This study aims to examine the developmental characteristics of preschool children and the integration of artificial intelligence (AI) technologies into history education from both theoretical and practical perspectives. History education in the preschool period presents certain challenges when conveyed through traditional methods, due to the underdeveloped sense of time and the abstract nature of historical events. However, based on Piaget's theory of cognitive development and Vygotsky's social constructivist approach, AI-supported tools have a strong potential to support meaningful learning by concretizing this process. Within the scope of the study, the role of generative AI tools (such as visual creation, interactive storytelling, and voice technologies) in helping children recognize historical figures, places, and ways of life is discussed. On the theoretical level, the contribution of AI to stimulating children's curiosity, enhancing empathy skills, and establishing connections between the past and the present is examined. On the practical level, sample activities themed "A Journey Through History with AI," designed in accordance with children's developmental levels, and the ethical considerations to be taken into account in this process (screen time, content safety, and data privacy) are discussed. In conclusion, AI-supported history education has been observed to increase children's historical awareness, support their digital literacy skills, and most importantly, transform the concept of "abstract history" into an "experiential narrative." This study aims to provide a guiding model for teachers and researchers for the pedagogically sound integration of AI into preschool education programs.

**Keywords:** Preschool Education, Artificial Intelligence, History Education, Child Development, Digital Pedagogy.

## TÜRK EĞİTİM SİSTEMİNDE ÖZEL GEREKSİNİMLİ ÇOCUKLARIN YERİ: ÖZEL EĞİTİM POLİTİKALARININ TARİHSEL SÜREÇ İÇİNDEKİ YASALLAŞMA EVRELERİ

Dr., Özlem KARAPINAR GÖK 1/ Dr. Öğr. Üye. Semih UÇAR 2

1-Türkiye Cumhuriyeti Tarihi, ozlem\_karapinar\_89@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-5183-0181

2-Muş Alparslan Üniversitesi Malazgirt Meslek Yüksekokulu, Okulöncesi Eğitimi,  
s.ucar@alparslan.edu.tr, ORCID:0000-0002-6723-3437

### Özet

Türkiye Cumhuriyeti'nin eğitim tarihindeki en hassas ve gelişim odaklı alanlarından biri olan özel eğitim, 1923'ten günümüze "yardıma muhtaçlık" odağından "anayasal hak" temelinde bir vatandaşlık hakkına evrilmiştir. Bu çalışma, Cumhuriyet'in ilanından itibaren özel gereksinimli çocuklara yönelik geliştirilen eğitim politikalarını, yasal mevzuatın geçirdiği evreleri ve kurumsal yapılaşmayı kapsamlı bir tarihsel perspektifle irdelemeyi amaçlamaktadır. Cumhuriyet'in Erken Dönemi (1923-1950), Osmanlı Devleti'nden devralınan kısıtlı mirasın modernize edilmesi ve eğitimde fırsat eşitliğinin ilk tohumlarının atılmasıyla karakterize edilir. Bu dönemde, özellikle 1923'te kurulan İzmir Sağır ve Diller Okulu ile Çocuk Esirgeme Kurumu (Himaye-i Etfal) aracılığıyla yürütülen faaliyetler, özel gereksinimli çocukların toplumun bir parçası olarak kabul edilmesinin ilk kurumsal adımlarıdır. Ancak bu yıllarda yaklaşım daha çok korumacı ve tıbbi bir eksenle şekillenmiştir. 1950-1980 Arası Dönem, özel eğitimin Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) bünyesinde akademik ve idari bir disiplin haline geldiği yıllardır. 1951 tarihli 5773 sayılı kanun ile özel eğitimin devletin sorumluluğu altına girmesi ve 1955 yılında MEB bünyesinde Özel Eğitim Şubesi'nin kurulması, alanın profesyonelleşmesini sağlamıştır. Bu süreçte üniversitelerin sürece dahil olması, özel eğitim öğretmenliğinin bir uzmanlık alanı olarak tanımlanması ve ilk Rehberlik ve Araştırma Merkezlerinin (RAM) açılması, tanılamada bilimsel metodolojinin yerleşmesini sağlamıştır. 1980'li yıllar, dünya genelindeki normleştirme akımlarının Türkiye'ye yansıdığı bir dönüm noktasıdır. 1983 yılında yürürlüğe giren 2916 Sayılı Özel Eğitime Muhtaç Çocuklar Kanunu, Türkiye'de "kaynaştırma" (integration) kavramını yasal bir zorunluluk haline getiren en radikal adımdır. Bu yasa ile özel gereksinimli çocukların akranlarıyla aynı ortamda eğitim alması ilkesi benimsenmiş, eğitimde izolasyonun yerini etkileşim almaya başlamıştır. 21. Yüzyıl ve Modern Dönem, 2005 yılında çıkarılan 5378 sayılı Engelliler Kanunu ve ardından güncellenen Özel Eğitim Hizmetleri Yönetmeliği ile "Bütünleştirme" (Inclusion) felsefesini tam manasıyla hayata geçirmeyi hedeflemektedir. Günümüzde destek eğitim odaları, evde eğitim hizmetleri, Bireyselleştirilmiş Eğitim Programları (BEP) ve yapay zekâ destekli yardımcı teknolojiler, eğitimin niteliğini artıran temel unsurlar haline gelmiştir. Bu çalışma, Türkiye'nin son yüz yılında özel eğitim alanında katettiği mesafeyi; politik, hukuki ve pedagojik boyutlarıyla analiz ederek, gelecekteki kapsayıcı eğitim stratejileri için tarihsel bir çıkarım yapmayı hedeflemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Cumhuriyet Eğitim Tarihi, Özel Eğitim Mevzuatı, Kaynaştırma ve Bütünleştirme, Engelli Hakları, Tanılama ve RAM.

## THE PLACE OF CHILDREN WITH SPECIAL NEEDS IN THE TURKISH EDUCATION SYSTEM: THE LEGALIZATION PHASES OF SPECIAL EDUCATION POLICIES IN A HISTORICAL PROCESS

Dr., Özlem KARAPINAR GÖK 1/ Dr. Öğr. Üye. Semih UÇAR 2

1- History of the Republic of Turkey, ozlem\_karapinar\_89@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-5183-0181

2- Muş Alparslan University, Malazgirt Vocational School, Preschool Education,  
s.ucar@alparslan.edu.tr, ORCID:0000-0002-6723-3437

### Abstract

Special education, one of the most sensitive and development-oriented fields in the educational history of the Republic of Türkiye, has evolved from a focus on “charity and assistance” to a constitutional right based on citizenship since 1923. This study aims to examine, from a comprehensive historical perspective, the educational policies developed for children with special needs, the phases of legal regulations, and the process of institutionalization since the proclamation of the Republic. The Early Republican Period (1923–1950) is characterized by the modernization of the limited legacy inherited from the Ottoman Empire and the initial steps toward equal educational opportunities. During this period, institutions such as the İzmir School for the Deaf and Mute, established in 1923, and the Child Protection Agency (Himaye-i Etfal) represent the first institutional efforts to recognize children with special needs as part of society. However, the approach in these years was largely shaped by a protective and medical perspective. The Period Between 1950–1980 marks the years in which special education became an academic and administrative discipline within the Ministry of National Education. The enactment of Law No. 5773 in 1951, which placed special education under state responsibility, and the establishment of the Special Education Department within Ministry of National Education in 1955 contributed to the professionalization of the field. During this process, the involvement of universities, the recognition of special education teaching as a specialized profession, and the establishment of the first Guidance and Research Centers enabled the adoption of scientific methodologies in assessment and diagnosis. The 1980s represent a turning point, reflecting the influence of global normalization movements in Türkiye. The Law on Children in Need of Special Education (Law No. 2916), enacted in 1983, was a major milestone that made the concept of “integration” (mainstreaming) a legal requirement. With this law, the principle that children with special needs should be educated alongside their peers was adopted, replacing isolation with interaction in education. The 21st Century and the Modern Period aim to fully implement the philosophy of “inclusion” through the Law on Persons with Disabilities (Law No. 5378), enacted in 2005, and the subsequently updated Special Education Services Regulation. Today, support education rooms, home-based education services, Individualized Education Programs, and AI-supported assistive technologies have become key components that enhance the quality of education. This study seeks to analyze the progress Türkiye has made in special



education over the past century from political, legal, and pedagogical perspectives, and to draw historical insights for future inclusive education strategies.

**Keywords:** History of Republican Education, Special Education Legislation, Integration and Inclusion, Disability Rights, Assessment and RAM.

## POPÜLER KÜLTÜRÜN GÖLGESİNDE TELEVİZYON HABERCİLİĞİ: MAGAZİNLEŞME VE ETİK İHLALLER

Yüksek lisans öğrencisi, Nazrin MALİKOVA, Selçuk Üniversitesi, Gazetecilik,  
[nazrinmalikh@gmail.com](mailto:nazrinmalikh@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0004-1779-860X>

### Özet

Bu çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman analizi kullanılmıştır. Araştırma kapsamında, haberin magazinleştirilerek sunulmasının habercilik ilkelerine, özellikle de haber etiğine aykırı sonuçlar doğurup doğurmadığını incelemek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu doğrultuda televizyon haberciliği, popüler kültür ve magazinleşme kavramlarını ele alan akademik çalışmalar, kitaplar ve hakemli makaleler sistematik biçimde incelenmiş; konunun kuramsal çerçevesi oluşturulmuştur. Literatür incelemesi sayesinde, medyanın kapitalist yapı içerisindeki dönüşümü ve reyting odaklı yayıncılık anlayışının habercilik üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Çalışmanın uygulama boyutunda ise televizyon haberlerinin magazinleşme eğilimini somut olarak analiz edebilmek amacıyla doküman analizi yöntemi genişletilerek kullanılmıştır. Bu kapsamda Show TV ve Kanal D ana haber bültenlerinde yer alan haber içerikleri örneklem olarak seçilmiştir. Seçilen haberler; içerik yapısı, sunum dili, kullanılan görseller, başlık tercihleri ve haber kurgusu açısından detaylı biçimde incelenmiştir. Özellikle haberlerin bilgi verme amacından uzaklaşıp uzaklaşmadığı, magazinsel unsurların ne ölçüde ön plana çıkarıldığı ve izleyiciyi ekranda tutmaya yönelik stratejilerin nasıl kullanıldığı analiz edilmiştir. Analiz sürecinde sansasyonelleştirme, dramatizasyon, duygusallaştırma, kişiselleştirme ve abartı gibi unsurlar magazinleşmenin temel göstergeleri olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra haberlerin kamu yararı ilkesine ne ölçüde hizmet ettiği ya da reyting kaygısıyla yeniden kurgulanıp kurgulanmadığı da sorgulanmıştır. Elde edilen bulgular, televizyon haberciliğinin giderek popüler kültürün etkisi altında şekillendiğini ve haber içeriklerinin önemli ölçüde magazinleştiğini göstermektedir. Bu durumun ise habercilik etiği açısından çeşitli ihlallere yol açtığı ve haberin asli işlevinden uzaklaşarak bir “reyting aracı” dönüştüğü sonucuna ulaşılmıştır. Bu yöntem sayesinde çalışma, hem teorik hem de uygulamalı düzeyde daha derinlikli ve bütüncül bir analiz sunmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Televizyon, Haber, Televizyon Haberciliği, Magazin, Magazinleşme, Dramatizasyon, Eğlence, Popüler Kültür.

## Abstract

In this study, document analysis, one of the qualitative research methods, was employed. Within the scope of the research, a comprehensive literature review was conducted in order to examine whether the presentation of news in a tabloidized manner leads to violations of journalistic principles, particularly media ethics. In this context, academic studies, books, and peer-reviewed articles addressing the concepts of television journalism, popular culture, and tabloidization were systematically analyzed, and a theoretical framework for the study was established. Through the literature review, the transformation of media within a capitalist structure and the impact of rating-driven broadcasting on journalism were revealed. In the empirical dimension of the study, document analysis was further extended to analyze the tabloidization tendency in television news in a concrete manner. In this regard, news content from the main news bulletins of Show TV and Kanal D was selected as the sample. The selected news items were examined in detail in terms of content structure, presentation style, language use, visual elements, headline preferences, and narrative construction. Particular attention was paid to whether the news content deviated from its primary function of informing the public, the extent to which tabloid elements were emphasized, and how strategies aimed at retaining viewers were utilized. During the analysis process, elements such as sensationalism, dramatization, emotionalization, personalization, and exaggeration were considered key indicators of tabloidization. In addition, it was questioned to what extent the news served the public interest or whether it was reconstructed primarily with rating concerns. The findings indicate that television journalism is increasingly shaped by the influence of popular culture and that news content has significantly shifted toward tabloidization. This transformation leads to various violations of journalistic ethics and results in news drifting away from its essential function, becoming a tool for ratings. Through this methodological approach, the study aims to provide a comprehensive and in-depth analysis at both theoretical and practical levels.

**Keywords:** Television, News, Television Journalism, Magazine, Tabloidization, Dramatization, Entertainment, Popular Culture

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmanın temel amacı, televizyon haberciliğinin popüler kültür etkisi altında geçirdiği dönüşümü incelemek ve bu dönüşüm sürecinde ortaya çıkan magazinleşme eğiliminin habercilik etiği üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Bu bağlamda çalışma, haber içeriklerinin bilgi verme işlevinden ne ölçüde uzaklaştığını, sansasyonelleştirme, dramatizasyon ve duygusallaştırma gibi unsurların hangi düzeyde kullanıldığını analiz etmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, televizyon haberciliğinin giderek reyting odaklı bir yapıya evrilmesinin kamu yararı ilkesi üzerindeki etkileri de değerlendirilmektedir.

Çalışmanın önemi, günümüzde televizyon haberciliğinin yalnızca bilgi aktaran bir araç olmaktan çıkarak popüler kültürün bir taşıyıcısı haline gelmesi ve bu süreçte etik ihlallerin artış göstermesidir. Medyanın toplumu bilgilendirme ve yönlendirme gücü dikkate alındığında, haber içeriklerinin magazinleşmesi yalnızca medya alanını değil, aynı zamanda toplumsal algı ve kamuoyu oluşumunu da doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle çalışma, hem medya etiği literatürüne katkı sunmayı hem de izleyici açısından eleştirel bir bakış açısı geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmanın kuramsal çerçevesi, popüler kültür, kültür endüstrisi, magazinleşme ve medya etiği kavramları etrafında şekillendirilmiştir. Popüler kültürün medya üzerindeki etkisi, kültür endüstrisi bağlamında ele alınarak medyanın ticari yapısı ve kapitalist üretim ilişkileri içerisindeki konumu değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda televizyon, hem popüler kültürü üreten hem de bu kültürden etkilenen bir kitle iletişim aracı olarak konumlandırılmıştır.

Magazinleşme kavramı ise haber içeriklerinin sansasyonel, dramatik ve eğlence odaklı bir biçimde yeniden kurgulanması süreci olarak ele alınmıştır. Bu süreçte haberin gerçeklikten uzaklaşarak izleyici ilgisini çekmeye yönelik bir yapıya büründüğü ve bunun da haberciliğin temel ilkeleriyle çeliştiği vurgulanmaktadır. Medya etiği bağlamında ise doğruluk, tarafsızlık, kamu yararı ve özel hayatın korunması gibi temel ilkeler esas alınmış; televizyon haberciliğinde bu ilkelerin ihlal edilme biçimleri literatür ışığında değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma televizyon haberciliğinde magazinleşme olgusunu hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde ele alarak, popüler kültür ve etik ihlaller arasındaki ilişkiyi bütüncül bir perspektifle incelemeyi amaçlamaktadır.

### 1.1. Kuramsal Çerçeve

Bu çalışma, televizyon haberciliğinde magazinleşme olgusunu açıklayabilmek amacıyla popüler kültür, kültür endüstrisi, magazinleşme ve medya etiği kavramları çerçevesinde ele alınmıştır.

#### Popüler Kültür ve Kültür Endüstrisi

Popüler kültür, geniş kitleler tarafından tüketilen ve medya aracılığıyla sürekli yeniden üretilen kültürel unsurlar bütünü olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda medya, özellikle televizyon, popüler kültürün hem üreticisi hem

de taşıyıcısı konumundadır. Kültür endüstrisi yaklaşımına göre ise medya içerikleri, kapitalist üretim ilişkileri içerisinde ticari kaygılar doğrultusunda şekillenmekte ve kitlelerin tüketim alışkanlıklarını yönlendirmektedir.

#### Magazinleşme Olgusu

Magazinleşme, haber içeriklerinin bilgi verme işlevinden uzaklaşarak eğlence, sansasyon ve dramatizasyon unsurlarıyla yeniden kurgulanması sürecini ifade etmektedir. Bu süreçte haberin gerçeklik boyutu geri planda kalırken, izleyici ilgisini çekmeye yönelik unsurlar ön plana çıkmaktadır. Magazinleşme, özellikle televizyon haberciliğinde sıkça rastlanan bir olgu olup, haberlerin duygusallaştırılması, kişiselleştirilmesi ve abartılması gibi yöntemlerle kendini göstermektedir.

#### Medya Etiği

Medya etiği, habercilik faaliyetlerinde doğruluk, tarafsızlık, nesnellik ve kamu yararı gibi temel ilkeleri kapsayan bir normlar bütünüdür. Ancak televizyon haberciliğinde reyting kaygısı ve rekabet ortamı, bu etik ilkelerin ihlal edilmesine yol açabilmektedir. Özellikle özel hayatın ihlali, sansasyonel dil kullanımı ve haberin çarpıtılması gibi durumlar, medya etiği açısından önemli sorunlar olarak değerlendirilmektedir.

### 2. YÖNTEM

Bu çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman analizi yöntemi kullanılmıştır. Doküman analizi, belirli bir olguya ilişkin yazılı, görsel ve işitsel materyallerin sistematik bir biçimde incelenmesine olanak sağlayan bir yöntemdir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında, televizyon haberciliğinde magazinleşme olgusunu incelemek amacıyla hem kuramsal hem de uygulamaya dayalı bir analiz süreci yürütülmüştür. Araştırmanın ilk aşamasında, televizyon haberciliği, popüler kültür, magazinleşme ve medya etiği konularına ilişkin akademik çalışmalar, kitaplar ve hakemli makaleler incelenmiş; bu sayede çalışmanın kuramsal çerçevesi oluşturulmuştur. Çalışmanın uygulama aşamasında ise televizyon haberlerinde magazinleşme eğilimini somut olarak ortaya koyabilmek amacıyla Show TV ve Kanal D ana haber bültenlerinde yer alan haber içerikleri örneklem olarak seçilmiştir. Amaçlı örnekleme yöntemi doğrultusunda belirlenen bu haberler; içerik yapısı, sunum dili, görsel unsurlar, başlık kullanımı ve haber kurgusu açısından analiz edilmiştir. Analiz sürecinde sansasyonelleştirme, dramatizasyon, duygusallaştırma, kişiselleştirme ve abartı gibi unsurlar magazinleşmenin temel göstergeleri olarak ele alınmıştır. Ayrıca haberlerin kamu yararı ilkesine ne ölçüde hizmet ettiği ve reyting odaklı bir yapı içerisinde yeniden kurgulanıp kurgulanmadığı da değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda, televizyon haberciliğinde magazinleşme eğiliminin belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. İncelenen haber örneklerinde, haberlerin bilgi verme işlevinden uzaklaşarak daha çok izleyici ilgisini çekmeye yönelik olarak kurgulandığı görülmüştür. Özellikle sansasyonelleştirme, dramatizasyon ve duygusallaştırma unsurlarının haber içeriklerinde yoğun biçimde

kullanıldığı belirlenmiştir. Haber başlıklarında dikkat çekici ve abartılı ifadelerin tercih edildiği, bu durumun ise izleyicinin dikkatini çekmeye yönelik olduğu anlaşılmıştır.

Bunun yanı sıra, haberlerde görsel unsurların ve arka plan müziklerinin kullanımıyla duygusal etkinin artırıldığı, olayların dramatize edilerek sunulduğu gözlemlenmiştir. Özellikle trajik olaylara ilişkin haberlerde, izleyicinin duygularını yönlendirmeye yönelik anlatım biçimlerinin öne çıktığı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen örneklerde, kişilerin özel hayatlarına ilişkin bilgilerin ve görüntülerin sıklıkla kullanıldığı, bu durumun ise medya etiği açısından ihlal niteliği taşıdığı görülmüştür.

Ayrıca bazı haberlerde taraflı anlatım biçimlerinin benimsendiği ve yorumlayıcı ifadelerle izleyicinin yönlendirildiği belirlenmiştir. Show TV ve Kanal D ana haber bültenlerine ilişkin örneklerde, sosyal medya fenomenleri ve ünlü kişilerle ilgili haberlerin sıkça yer aldığı, bu haberlerin çoğunlukla magazinsel bir çerçevede sunulduğu dikkat çekmiştir. Bu durum, haber içeriklerinin popüler kültür etkisi altında şekillendiğini ve reyting odaklı bir yapıya büründüğünü göstermektedir.

Sonuç olarak elde edilen bulgular, televizyon haberciliğinde magazinleşmenin yaygınlaştığını ve bu sürecin habercilik etiği açısından çeşitli ihlalleri beraberinde getirdiğini ortaya koymaktadır.

### **3.1. Bulgulara Ait Alt Başlık**

Televizyon Haberlerinde Magazinleşme ve Etik İhlaller Bu çalışma kapsamında incelenen haber içerikleri, televizyon haberciliğinde magazinleşme olgusunun yaygınlaştığını ve bu süreçte etik ilkelere yönelik ihlallerin arttığını göstermektedir. Analiz edilen örneklerde, haberlerin bilgilendirme işlevinden uzaklaşarak daha çok izleyicinin ilgisini çekmeye yönelik kurgulandığı dikkat çekmektedir. Özellikle sansasyonel dil kullanımı, dramatik müzikler, abartılı anlatım biçimleri ve görsel manipülasyonlar, haber içeriklerinin magazinleşmesine katkı sağlayan başlıca unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Bulgular, sosyal medya fenomenlerine ilişkin haberlerde etik ihlallerin daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür haberlerde, kişilerin özel yaşamlarına dair unsurların ön plana çıkarıldığı, olayların “skandal” gibi dikkat çekici ifadelerle sunulduğu ve izleyicinin duygusal tepkisini artırmaya yönelik içeriklerin tercih edildiği görülmektedir.

Bunun yanı sıra, haberlerde uzman görüşlerine yer verilse dahi, bu görüşlerin çoğu zaman belirli bir algı oluşturma amacıyla seçildiği ve tarafsızlık ilkesinin zedelendiği tespit edilmiştir. Ayrıca, incelenen haberlerde görsel kullanımına ilişkin etik sorunlar da dikkat çekmektedir. Özellikle müstehcen içeriklere dair haberlerde, söz konusu görüntülerin yeterince sansürlenmeden yayınlanması, hem çocuk izleyiciler açısından risk oluşturmakta hem de habercilik etik ilkeleriyle çelişmektedir.

Bununla birlikte dramatik müzik kullanımı ve yorumlayıcı anlatım, haberin nesnel yapısını zayıflatmakta ve izleyicinin yönlendirilmesine neden olmaktadır.



Sonuç olarak, elde edilen bulgular televizyon haberlerinde magazinleşmenin, etik ihlallerle paralel bir şekilde arttığını ve haberin temel işlevi olan doğru ve tarafsız bilgilendirme amacından uzaklaşılmasına yol açtığını göstermektedir. Bu durum, medya kuruluşlarının ticari kaygılar doğrultusunda içerik üretme eğiliminin bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, televizyon haberciliğinde magazinleşme olgusu ve buna bağlı olarak ortaya çıkan etik ihlaller incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, haber içeriklerinin giderek bilgilendirme işlevinden uzaklaşarak daha çok izlenme oranlarını artırmaya yönelik kurgulandığı sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle sansasyonel anlatım biçimleri, dramatizasyon, özel hayatın ihlali ve görsel manipülasyon gibi unsurların haberlerde sıklıkla kullanıldığı tespit edilmiştir.

Bu durum, haberciliğin temel ilkeleri olan doğruluk, tarafsızlık ve kamu yararı anlayışıyla çelişmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan örnekler, televizyon kanallarının ticari kaygılar doğrultusunda hareket ettiğini ve reyting odaklı yayın politikalarının etik ihlalleri beraberinde getirdiğini göstermektedir. Sosyal medya fenomenlerine ilişkin haberlerde, kişilerin özel yaşamlarının ifşa edilmesi, olayların abartılarak sunulması ve izleyicinin duygusal olarak yönlendirilmesi, magazinleşmenin en belirgin göstergeleri arasında yer almaktadır. Ayrıca, haberlerde kullanılan dilin ve görsellerin çoğu zaman tarafsızlıktan uzak olduğu ve belirli bir algı oluşturma amacı taşıdığı görülmektedir.

Tartışma bağlamında, magazinleşme olgusunun yalnızca medya kuruluşlarından kaynaklanmadığı, aynı zamanda izleyici talepleriyle de ilişkili olduğu söylenebilir. İzleyicinin sansasyonel ve dramatik içeriklere olan ilgisi, medya kuruluşlarını bu tür içerikler üretmeye teşvik etmektedir. Bu durum, medya ile izleyici arasında karşılıklı bir etkileşim olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu etkileşim, haberciliğin etik sorumluluklarını ortadan kaldırmamakta; aksine, medya kuruluşlarının daha dikkatli ve sorumlu yayıncılık anlayışı benimsemesini gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda şu öneriler geliştirilmiştir:

- Medya kuruluşlarının, habercilik etik ilkelerine daha sıkı bağlı kalmaları ve içerik üretim süreçlerinde kamu yararını ön planda tutmaları gerekmektedir.
- Haberlerde sansasyonel ve abartılı anlatım yerine, doğruluk ve tarafsızlık ilkelerine dayalı bir dil kullanılmalıdır.
- Özellikle özel hayatın gizliliği konusunda daha hassas davranılmalı ve birey haklarına saygı gösterilmelidir.
- RTÜK gibi denetleyici kurumların, etik ihlallere karşı yaptırımlarını daha etkin bir şekilde uygulaması önem arz etmektedir.

- İzleyicilerin medya okuryazarlığı düzeyinin artırılması, bu tür içeriklere olan talebin azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak, televizyon haberciliğinde magazinleşme eğiliminin azaltılması ve etik ilkelere uygun yayıncılığın güçlendirilmesi için hem medya kuruluşlarına hem de izleyicilere önemli sorumluluklar düşmektedir. Bu bağlamda, etik değerlere dayalı bir habercilik anlayışının benimsenmesi, toplumsal bilgilendirme işlevinin sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- Arık, E. (2013). Gösteri Çağında Televizyon Haberciliği. Kocaeli Üniversitesi İletişim Fakültesi Araştırma Dergisi, (11), 83-103.
- Belge, M. (1997). Tarihten Güncelliğe. İstanbul: İletişim Yayınları.
- Çaplı, B., & Tuncel, H. (2010). Televizyon Haberciliğinde Etik. Ankara: Fersa Matbaacılık. Çil, S. (2007). Televizyon Haberlerinde Etik: Karşılaştırmalı Haber İçerik Analizleri, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,) 144. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Dağtaş, E. (2006). Türkiye’de Magazin Basını. Eskişehir: Ütopya Yayınları.
- Demiray, K. (1994). Temel Türkçe Sözlük 3. İstanbul: İnkılap Kitapevi.
- Ergül, H. (2000). Televizyonda Haberin Magazinelleşmesi. İstanbul: İletişim Yayıncılık.
- Genç, A. (2012). Türk Televizyon Haberciliğinde Etik Sorunlar. İletişim Fakültesi Dergisi, (7), 357-379.
- Keane, J. (1999). Medya ve Demokrasi, Çev. Haluk Şahin. İstanbul: Ayrıntı Yayınları.
- Matelski, M. (1996). Televizyon Haberciliğinde Etik, Bahar Öcal Düzgören (çev), İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.
- Oktay, A. (2002). Türkiye’de Popüler Kültür. İstanbul: Everest Yayınları. Öztürk, Ş. (2004). Özel Televizyon Kanallarının Türk Haberciliğine Etkisi. Selçuk İletişim Dergisi 3, (2), 97-112.
- Postman, N., & Powers, S. (1992). Televizyon Haberlerini İzlemek, Çev. Aslı Tunç. İstanbul: Kavram Yayınları.
- Soygüder, Ş. (2002). Türk Magazin Gazeteciliğinde Kullanılan Fotoğraflarda Etik Sorunu, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,) 269. İzmir: Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Tokgöz, O. (2003). Temel Gazetecilik. Ankara: İmge Yayınevi.
- Topçuoğlu, N. N. (1996). Basında Reklâm ve Tüketim Olgusu. Konya: Vadi Yayınları.
- Williams, K. (1998). Gerçeklerden Daha Önemli Bir Şeyler, Savaş Haberciliğinde Etik Sorunlar, Andrew Belsey ve Ruth Chadwick (der), Medya ve Gazetecilikte Etik Sorunlar. İstanbul: Ayrıntı Yayınları.
- Yıldırım, G. (1994). Kitle İletişiminde Televizyon Haberciliği. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,) 155. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

## SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ SPORCU ÖĞRENCİLERİNDE RAKİBİ AFFETME DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Abdurrahman APAYDIN <sup>1/</sup> Doç. Dr. Aydan ERMİŞ <sup>2/</sup> Prof. Dr. Osman İMAMOĞLU <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü, Samsun,  
Türkiye

E-posta: abrahmanapaydin@gmail.com ORCID No: 0009-0002-9312-7459

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü, Samsun,  
Türkiye

E-posta: aydanak@omu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2285-7980

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü, Samsun,  
Türkiye

E-posta: osmani@omu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6671-6042

### Özet

Bu araştırmanın amacı, Spor Bilimleri Fakültesi'nde öğrenim gören lisans düzeyindeki sporcu öğrencilerin rakibi affetme düzeylerini incelemektir. Araştırmada, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi'nde eğitim alan ve aktif olarak müsabakalara katılan 184 öğrenciye uygulanan "Sporda Rakibi Affetme Düzeyi Ölçeği"nden elde edilen veriler analiz edilmiştir. Elde edilen bulguların istatistiksel olarak değerlendirilmesinde ikili gruplar arasındaki farklılıklar için t-testi, çoklu grup karşılaştırmaları için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve grup farklılıklarının belirlenmesi amacıyla LSD (Least Significant Difference) testi kullanılmıştır. Cinsiyet değişkenine göre yapılan analizlerde, ölçeğin empati alt boyutunda anlamlı bir fark saptanırken ( $p<0,05$ ); içselleştirme, olumluya yönelme ve intikam alt boyutlarında anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p>0,05$ ). Yaş gruplarına göre yapılan değerlendirmelerde ise içselleştirme, olumluya yönelme, intikam ve empati alt boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ( $p<0,05$  ve  $p<0,001$ ). Takım sporları ile bireysel sporlar arasındaki karşılaştırmalarda, olumluya yönelme ve empati boyutlarında anlamlı farklılıklar bulunurken ( $p<0,05$  ve  $p<0,001$ ), içselleştirme ve intikam alt boyutlarında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir ( $p>0,05$ ). Sporculuk süresi (spor yaşı) değişkenine göre ise yalnızca empati alt boyutunda anlamlı farklılık saptanmış ( $p<0,001$ ), diğer boyutlarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmemiştir ( $p>0,05$ ). Sonuç olarak, sporcu öğrencilerin rakibi affetme düzeylerinde cinsiyet, yaş grubu, spor branşının niteliği (takım veya bireysel) ve spor yaşı gibi değişkenlerin etkili olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda daha geniş örneklem gruplarıyla ve farklı değişkenlerin (örneğin millî sporcu olma durumu) dikkate alınarak araştırmaların derinleştirilmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Spor Bilimleri, Üniversite Öğrencisi, Affetme, İçselleştirme, Empati

## AN INVESTIGATION OF FORGIVENESS LEVELS TOWARD OPPONENTS AMONG STUDENT ATHLETES IN THE FACULTY OF SPORTS SCIENCES

### Abstract

The aim of this study is to examine the levels of forgiveness toward opponents among undergraduate student athletes enrolled in the Faculty of Sports Sciences. The study analyzed data collected through the "Forgiveness toward Opponents in Sports Scale," completed by 184 competitive athletes studying at Yaşar Doğu Faculty of Sports Sciences. For statistical analysis, t-tests were used for pairwise comparisons, one-way analysis of variance (ANOVA) was used for multiple group comparisons, and the Least Significant Difference (LSD) test was used to determine group differences. In terms of gender, a significant difference was found in the empathy subscale ( $p<0.05$ ), while no significant differences were observed in the internalization, positive orientation, and revenge subscales ( $p>0.05$ ). In terms of age groups, statistically significant differences were identified across all subscales—internalization, positive orientation, revenge, and empathy ( $p<0.05$  and  $p<0.001$ ). In comparisons based on participation in team versus individual sports, significant differences were observed in the positive orientation and empathy subscales ( $p<0.05$  and  $p<0.001$ ), whereas no significant differences were found in the internalization and revenge subscales ( $p>0.05$ ). Regarding the duration of athletic involvement (sports age), a significant difference was found only in the empathy subscale ( $p<0.001$ ), with no statistically significant differences in the other subscales ( $p>0.05$ ). In conclusion, the study revealed that forgiveness levels toward opponents among student athletes vary in terms of gender, age group, type of sport (team or individual), and duration of athletic experience. It is recommended to conduct future research with larger sample sizes and additional variables, such as national athlete status, to deepen the understanding of this subject.

**Keywords:** Sports Sciences, University Students, Forgiveness, Internalization, Empathy

## 1.GİRİŞ

Affetme, bireyin maruz kaldığı haksız davranışlara karşı geliştirdiği duygusal, entelektüel ve ahlaki tepkilerin bütünüdür (Fitzgibbons ve ark., 2004). Psikolojik bağlamda affetme, bireyin olumsuz duyguları—öfke, kin ve intikam arzusu gibi—geride bırakma süreci olarak tanımlanır (Enright & Fitzgibbons, 2000). Affetme süreci üç temel aşamadan oluşmaktadır: İlk aşama olan *farkındalık evresinde*, birey kendisine yapılan haksızlığın ve buna karşı hissettiği öfkenin farkındadır. İkinci aşama olan *karar evresinde*, birey affetmenin ne anlama geldiğini sorgular. Son aşama olan *çalışma evresinde* ise birey, kendisine zarar veren kişinin yaptığı hataların ötesinde bir insan olduğunu düşünerek merhamet geliştirmeye başlar. Bu noktada olumsuz duygular yerini daha olumlu duygulara bırakır (Enright & Fitzgibbons, 2000).

Affetmeyle ilişkili kavramlar arasında empati, intikam, olumluya yönelme ve içselleştirme gibi psikolojik yapılar öne çıkmaktadır. Empati, bireyin kendisini başkasının yerine koyarak onun duygu ve düşüncelerini anlayabilmesi süreci olarak tanımlanır (Eagles&Wolitzky, 1999). Spor gibi rekabetin yoğun yaşandığı ortamlarda, sporcular arasındaki anlaşmazlıklar, fauller, haksızlıklar ya da sert fiziksel temaslar, affetme davranışının önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda *rakibi affetme düzeyi*, sporcunun karşılaştığı olumsuzluklar karşısında duygusal ve bilişsel açıdan ne derece bağışlayıcı olduğunu ifade eder. Bu bağışlayıcılık yalnızca bireysel psikolojik sağlığı değil, aynı zamanda takım içi uyumu, spor etiğini ve genel spor kültürünü de doğrudan etkilemektedir (Kavussanu & Stanger, 2017).

Spor ortamında affetme, sporcunun rakibini daha iyi anlayabilmesini sağlayarak, taktiksel farkındalığı artırabilir. Bu çerçevede empati hem duyuşsal gelişim hem de performans açısından katkı sunabilir. Öte yandan, yeterli empati kuramayan sporcularda affedememe veya intikam alma eğilimleri gelişebilir. İntikam, bireyin maruz kaldığı olumsuz davranışa karşılık olarak uyguladığı cezalandırıcı tepkiyi ifade eder ve bu tepki genellikle kişinin öfkesini bastırma işlevi görür (Stuckless & Goranson, 1992). Ancak spor ortamında intikamcı davranışların sergilenmesi, sporcuların performansını olumsuz etkileyebilir. Zira intikam duygusu, bireyin duygusal tepkilerle hareket etmesine neden olarak rasyonel düşünmeyi ikinci plana iter. Buna karşın, olumluya yönelme—bireyin bir sorun karşısında olumsuzlukları bir kenara bırakıp pozitif unsurlara odaklanması—sporcunun hem psikolojik olarak rahatlamasını hem de başarılı performans sergilemesini kolaylaştırabilir (Kara ve ark., 2023).

Sporculuk süreci içinde bireyin yaşadığı tecrübeler, içselleştirme davranışının gelişmesine de zemin hazırlayabilir. İçselleştirme, bireyin yaşadığı durumu kendi düşünce ve davranış sistemine entegre etmesi olarak tanımlanır. Sporcu, rakibinin olumsuz davranışları karşısında affetmeyi tercih ettiğinde, bu kararı kendi değer yargılarına dâhil ederse bu durum hem kişisel gelişimine hem de sportif başarısına katkı sağlar (Kara ve ark., 2023).

2023). Benzer şekilde, *olumluya yönelme* davranışı, sporcunun karşılaştığı olumsuzluklara rağmen pozitif yönlere odaklanmasını sağlar. Bu yaklaşım, sporcunun psikolojik yükünü hafifleterek başarıya ulaşma sürecinde avantaj elde etmesine yardımcı olur (Kara ve ark., 2023).

Empati kurabilen sporcu, rakibinin içinde bulunduğu durumu anlayarak olaylara daha nesnel yaklaşabilir. Bu durum, sporcunun rakibin stratejilerini öngörmesine ve performansını bu yönde şekillendirmesine imkân tanır. Bu nedenlerle sporcularda affetme düzeyinin belirlenmesi; onların hem psikolojik dayanıklılığına hem de sportif performansına katkı sunabilecek müdahalelerin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Affetmenin hem bireysel hem de takım sporlarında çok yönlü başarının belirleyicilerinden biri olduğu düşünülmektedir (Kara ve ark., 2023).

Rekabetin ön planda olduğu spor ortamı genellikle affetme eğilimini arka plana itmektedir. Oysa literatürde yapılan araştırmalar, affetmenin sporcularda stres düzeyini azalttığını, öfke kontrolünü geliştirdiğini ve sportif performansı olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır (Worthington, 2006). Rakibi affetme davranışı, aynı zamanda centilmenlik, empati ve öz-farkındalık gibi değerlerin gelişmesine de katkı sağlar. Bu doğrultuda, bu araştırmanın amacı, Spor Bilimleri Fakültesi'nde öğrenim gören lisans düzeyindeki sporcu öğrencilerin rakibi affetme düzeylerini incelemektir.

## 2.YÖNTEM

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi sportif müsabakalara katılan öğrencilerinden 184 kişinin doldurmuş olduğu sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği değerlendirilmiştir.

**Sporda Rakibi Affetme Düzeyi Ölçeği:** Sporda Affetme Düzeyi Ölçeği, Kara ve ark. (2023) tarafından geliştirilmiş spora ve sporculara hizmet edecek geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmış bir ölçme aracıdır. Ölçek 19 soru ve 4 alt boyuta ayrılmıştır. Boyutlar; İçselleştirme (6,7,8,9,11 ve 12.Maddeler), Olumluya Yönelme (4,5,14,15 ve 19. maddeler), İntikam (10,16,17 ve 18. maddeler) ve Empati (1,2,3,13. maddeler) olarak adlandırılmaktadır. Ters kodlanmış maddeler;6,7,8,9,10,11,12,16,17 ve 18. Maddelerdir. Ölçek 5'li likert tipidir. Puanlama;Kesinlikle katılıyorum 5, katılıyorum 5, nötrüm 3, katılmıyorum 2 ve kesinlikle katılmıyorum 1 şeklindedir. Ölçeğin tümü için güvenirlik katsayısı 0,86 olarak hesaplanmıştır. İçselleştirme ve intikam alt boyutlarından düşük puan almak iyi iken olumluya yönelme ve empati alt boyutlarından yüksek puan almak iyidir (Kara ve ark.,2023).

## İstatistiksel işlemler

Bu araştırmada SPSS 27.0 istatistik paket programı kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde verilere normallik sınaması Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilcoxon testi ile yapılmıştır. İstatistiksel işlemlerde ikili karşılaştırmalar için t- testi kullanılmıştır. Çoklu karşılaştırmalar için ise tek yönlü varyans analizi yapılmış ve grubun farklılığı için LSD testi uygulanmıştır.



### 3. BULGULAR

**Tablo 1.** Cinsiyete göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarının karşılaştırılması

| Alt Boyut        | Cinsiyet | N   | Ortalama | St.sapma | t     | p      |
|------------------|----------|-----|----------|----------|-------|--------|
| İçselleştirme    | Erkek    | 112 | 13,34    | 4,70     | 0,54  | 0,584  |
|                  | Kadın    | 72  | 12,92    | 5,69     |       |        |
| Olumluya yönelme | Erkek    | 112 | 18,29    | 3,31     | -1,27 | 0,204  |
|                  | Kadın    | 72  | 19,01    | 4,41     |       |        |
| İntikam          | Erkek    | 112 | 12,16    | 2,16     | 0,14  | 0,884  |
|                  | Kadın    | 72  | 12,11    | 2,39     |       |        |
| Empati           | Erkek    | 112 | 11,57    | 2,59     | 2,36  | 0,019* |
|                  | Kadın    | 72  | 10,57    | 3,12     |       |        |

\*p<0,05

Cinsiyete göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarından empati boyutunda anlamlı farklılık bulunurken (p<0,05), içselleştirme, olumluya yönelme ve intikam alt boyutlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (p>0,05).

**Tablo 2.** Yaş kategorisine göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarının karşılaştırılması

| Alt Boyut        | Yaş kategori | N   | Ortalama | St.sapma | t     | p        |
|------------------|--------------|-----|----------|----------|-------|----------|
| İçselleştirme    | 18-20 yaş    | 24  | 18,92    | 4,82     | 6,56  | <0,001** |
|                  | 21-24 yaş    | 160 | 12,31    | 4,56     |       |          |
| Olumluya yönelme | 18-20 yaş    | 24  | 17,00    | 3,51     | -2,20 | 0,029*   |
|                  | 21-24 yaş    | 160 | 18,81    | 3,78     |       |          |
| İntikam          | 18-20 yaş    | 24  | 13,58    | 2,81     | 3,47  | <0,001** |
|                  | 21-24 yaş    | 160 | 11,93    | 2,08     |       |          |
| Empati           | 18-20 yaş    | 24  | 13,17    | 2,04     | 3,80  | <0,001** |
|                  | 21-24 yaş    | 160 | 10,88    | 2,84     |       |          |

\*p<0,05 ve \*\*p<0,001

Yaş kategorisine göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutları içselleştirme, olumluya yönelme, intikam ve empati boyutlarında anlamlı farklılık bulunmuştur (p<0,05 ve p<0,001).

**Tablo 3.** Takım ve bireysel sporlarda yarışma durumuna göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarının karşılaştırılması

| Alt Boyut        | Spor türü     | N   | ortalama | St.sapma | t     | p        |
|------------------|---------------|-----|----------|----------|-------|----------|
| İçselleştirme    | Takım sporu   | 69  | 12,99    | 5,21     | -0,38 | 0,699    |
|                  | Bireysel spor | 115 | 13,29    | 5,05     |       |          |
| Olumluya yönelme | Takım sporu   | 69  | 17,59    | 3,89     | -2,75 | 0,006*   |
|                  | Bireysel spor | 115 | 19,16    | 3,62     |       |          |
| İntikam          | Takım sporu   | 69  | 12,06    | 2,32     | -0,39 | 0,698    |
|                  | Bireysel spor | 115 | 12,19    | 2,22     |       |          |
| Empati           | Takım sporu   | 69  | 12,09    | 2,62     | 3,45  | <0,001** |
|                  | Bireysel spor | 115 | 10,63    | 2,85     |       |          |

\*p<0,05 ve \*\*p<0,001

Takım ve bireysel sporlarda yarışma durumuna göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarından olumluya yönelme ve empati boyutlarında anlamlı farklılık bulunurken (p<0,05 ve p<0,001), içselleştirme ve intikam alt boyutlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (p>0,05).

**Tablo 4.** Spor yaşı kategorisine göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarının karşılaştırılması

| Alt Boyut        | Spor yaşı          | n   | Ortalama | St.sapma | F/LSD         | p        |
|------------------|--------------------|-----|----------|----------|---------------|----------|
| İçselleştirme    | 1-3 yıl (1)        | 80  | 12,93    | 5,23     | 2,80          | 0,063    |
|                  | 4-6 yıl (2)        | 55  | 14,44    | 5,33     |               |          |
|                  | 7 yıl ve üzeri (3) | 49  | 12,16    | 4,37     |               |          |
|                  | Toplam             | 184 | 13,17    | 5,10     |               |          |
| Olumluya yönelme | 1-3 yıl (1)        | 80  | 19,14    | 4,25     | 2,49          | 0,085    |
|                  | 4-6 yıl (2)        | 55  | 17,67    | 3,35     |               |          |
|                  | 7 yıl ve üzeri (3) | 49  | 18,65    | 3,29     |               |          |
|                  | Toplam             | 184 | 18,57    | 3,79     |               |          |
| İntikam          | 1-3 yıl (1)        | 80  | 12,08    | 1,85     | 1,50          | 0,224    |
|                  | 4-6 yıl (2)        | 55  | 12,55    | 2,43     |               |          |
|                  | 7 yıl ve üzeri (3) | 49  | 11,80    | 2,59     |               |          |
|                  | Toplam             | 184 | 12,14    | 2,25     |               |          |
| Empati           | 1-3 yıl (1)        | 80  | 10,29    | 2,69     | 8,71<br>1<2,3 | <0,001** |
|                  | 4-6 yıl (2)        | 55  | 12,25    | 2,61     |               |          |
|                  | 7 yıl ve üzeri (3) | 49  | 11,43    | 2,93     |               |          |
|                  | Toplam             | 184 | 11,18    | 2,85     |               |          |

\*\*p<0,001

Spor yaşı kategorisine göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarından empati boyutunda anlamlı farklılık bulunurken ( $p<0,001$ ), içselleştirme, olumluya yönelme ve intikam alt boyutlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

#### 4.TARTIŞMA VE SONUÇ

Literatürde kadınların erkeklere kıyasla duygusal farkındalıklarının ve empatik becerilerinin daha gelişmiş olduğu sıkça rapor edilmiştir (Eisenberg & Lennon,1983). Demir ve Kara (2025) çalışmalarında Sporda Rakibi Affetme ölçeği içselleştirme ve olumluya yönelme alt boyutlarında cinsiyet değişkenine göre anlamlı değişimler tespit edilmiştir. Bu çalışmada cinsiyete göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarından empati boyutunda anlamlı farklılık bulunurken ( $p<0,05$ ), içselleştirme, olumluya yönelme ve intikam alt boyutlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p>0,05$ ). Erkek öğrencilerin içselleştirme ve empati puanı kadın öğrencilerden daha yüksektir. Bu eğilim, kadınların sosyal ilişkilerde daha fazla duygusal yakınlık kurma ve sosyal bağlılığa önem verme özellikleriyle de ilişkilendirilebilir (Hoffman,2000). Bir kanı ya da tutumun benimsenerek özümlemesi durumu içselleştirme anlamına gelmektedir (Çolak ve ark., 2017). Buna göre, kişinin affedici olabilmesinin ilk safhasında içselleştirme yapabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle erkeklerin toplumdaki rollerinin daha belirgin ve net olması neticesinde içselleştirme puan ortalamaları kadınlara oranla daha yüksek çıkmış olabilir (Demir ve Kara, 2025). Öte yandan, içselleştirme, olumluya yönelme ve intikamdan kaçınma gibi affetmenin diğer boyutlarında anlamlı bir cinsiyet farkı gözlenmemesi, affetme davranışlarının her iki cinsiyet için benzer bilişsel süreçlere dayanabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda Worthington ve ark. (2004) affetmenin bilişsel boyutlarının (örneğin, olumsuz duyguları düzenleme, kabullenme gibi) empatik duygular kadar toplumsal cinsiyet rollerinden etkilenmediğini ifade etmektedir. Ayrıca, sporda performans ve takım dinamiklerinin ön planda olması, sporcuların bireysel duygusal tepkilerini bastırarak daha çok yapıcı stratejiler benimsemelerine neden olabilir ki bu da cinsiyet farkını azaltan bir faktör olabilir (Kavussanu & Boardley, 2009).

Yaş kategorisine göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutları içselleştirme, olumluya yönelme, intikam ve empati boyutlarında anlamlı farklılık bulunmuştur ( $p<0,05$  ve  $p<0,001$ ). İçselleştirme ve intikam puanları 18-20 yaş grubuna göre 21-24 yaş grubunda daha düşüktür. Yani 21-24 yaş grubunun sonuçları daha iyidir. Özellikle genç bireylerin duygusal düzenleme becerilerinin henüz tam olarak gelişmemiş olması, affetme süreçlerinde daha tepkisel veya intikam odaklı davranmalarına neden olabilmektedir (Steinberg,2005). İçselleştirme boyutundaki yaşa bağlı fark, yaş ilerledikçe bireylerin yaşadığı olumsuzlukları anlamlandırma ve kabullenme kapasitelerinin arttığını göstermektedir. Bu, affetmenin bilişsel bileşenlerinden biri olarak ele alınır ve yaşla birlikte kazanılan yaşam deneyimleri ile desteklenir (Enright & Fitzgibbons, 2000). Olumluya yönelme ve empati alt boyutlarında gözlenen farklılıklar ise, yaşı sosyal-duygusal olgunlukla olan ilişkisinden

kaynaklanabilir. Özellikle ergenlikten yetişkinliğe geçiş sürecinde, bireyler daha fazla empati kurma ve karşı tarafın bakış açısından olayları değerlendirme eğilimi gösterirler (Hoffman, 2000). Bu da, rakibi affetme sürecinde daha olumlu bir yaklaşım sergilenmesini beraberinde getirebilir. **İntikam** boyutunda yaşa göre anlamlı fark bulunması ise dikkat çekicidir. Yapılan çalışmalar, genç bireylerin daha fazla öfke ve intikam eğilimi gösterebildiğini, buna karşın yaş ilerledikçe bu eğilimlerin azaldığını ortaya koymaktadır (Allemand & Steiner, 2011).

Demir ve Kara (2025) çalışmalarında Sporda rakibi affetme ölçeği branş değişkeninde anlamlı değişimler mevcut olmadığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada takım ve bireysel sporlarda yarışma durumuna göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarından olumluya yönelme ve empati boyutlarında anlamlı farklılık bulunurken ( $p<0,05$  ve  $p<0,001$ ), içselleştirme ve intikam alt boyutlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p>0,05$ ). Olumluya yönelmede bireysel sporlarda yarışanlar ve empati boyutunda takım sporlarında yarışanlar daha yüksek puan almışlardır. Takım arkadaşlarıyla sürekli iletişim halinde olmak, empati kurma ve çatışmaları olumlu bir yaklaşımla çözme becerilerini geliştirmeyi teşvik edebilir (Kavussanu & Stanger, 2017). Ayrıca, takım sporcularının spor içi çatışmaları çözmek adına affetmeye daha açık olmaları, takım uyumu ve kolektif performans açısından da işlevseldir (Shields ve ark., 1995). Öte yandan, bireysel sporlar genellikle daha rekabetçi ve öz-disipline dayalı olduğu için empati kurma ve olumluya yönelme gibi sosyal yönelimli becerilerin daha az geliştiği bir bağlam oluşturabilir (Allen & Laborde, 2014).

Bu çalışmada spor yaşı kategorisine göre sporda rakibi affetme düzeyi ölçeği alt boyutlarından empati boyutunda anlamlı farklılık bulunurken ( $p<0,001$ ), içselleştirme, olumluya yönelme ve intikam alt boyutlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p>0,05$ ). Spor yaşı 1-3 yıl olan grubun empati puanları spor yaşı daha yüksek olan gruplardan daha düşüktür. Spor, özellikle uzun süreli yapıldığında, sadece fiziksel değil aynı zamanda sosyal becerileri de geliştiren bir etkinliktir (Weiss & Ferrer-Caja, 2002). Bu bağlamda, daha uzun süredir spor yapan bireylerin takım çalışması, rakiple etkileşim ve sportmenlik gibi sosyal alanlarda daha fazla deneyim kazanması, empati düzeylerini artırmaktadır (Rutten ve ark., 2007). 1-3 yıl gibi görece kısa bir spor geçmişine sahip bireylerin, henüz bu tür sosyal-duygusal deneyimleri yeterince yaşamamış olmaları nedeniyle empatik tepkiler geliştirme konusunda daha sınırlı kalabilecekleri düşünülmektedir. Özellikle ilk yıllarda, sporcuların daha çok kendi performansına ve rekabet duygusuna odaklandığı, bu nedenle empatik davranışların arka planda kaldığı görülmektedir (Shields & Bredemeier, 2007). Öte yandan, içselleştirme, olumluya yönelme ve intikam boyutlarında anlamlı fark bulunmaması, bu boyutların daha çok bireysel kişilik özellikleri ve genel yaşam tecrübeleriyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bu tür bilişsel ve duygusal boyutlar, yalnızca spor süresiyle değil, bireyin genel yaşam felsefesi ve geçmiş yaşantılarıyla da şekillenmektedir (Worthington, 2006).

Sonuç: Spor bilimleri fakültesi sporcu öğrencilerinde rakibi affetme düzeyleri alt boyutlarında cinsiyete, yaş kategorisine, takım ve bireysel sporlarda yarışma durumuna ve spor yaşı kategorisine göre farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın daha fazla sayıda sporcu üzerinde ve farklı parametreler (örneğin milli olma ) dikkate alınarak yapılması önerilir.

## KAYNAKLAR

- Allemand, M., &Steiner, M. (2011). Age differences in forgiveness: The role of future time perspective. *Journal of Research in Personality*, 45(5), 556–562. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2011.07.002>
- Allen, M. S., & Laborde, S. (2014). The role of personality in sport and physical activity. *Current Directions in Psychological Science*, 23(6), 460–465. <https://doi.org/10.1177/0963721414550705>
- Demir N.& Kara N.Ş. (2025). Savunma sporlarında rakibi affetme ve psikolojik iyi oluş: Karate-do ve kick boks, *The Online Journal of Recreation and Sports (TOJRAS)*, 14 (1), 32-38.
- Eagles, M. & Wolitzky, D.L. (1999). Empathy: A Psychoanalytic perspective. Empathy: Reconsidered: New directions in Psychotherapy, 2nd edition. Bohart, A.C, Greenberg L.S. (ed.) Washington, D.C.: American Psychiatric Press.
- Eisenberg, N., & Lennon, R. (1983). Sex differences in empathy and related capacities. *Psychological Bulletin*, 94(1), 100–131. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.94.1.100>
- Enright, R. D. &Fitzgibbons, R. P. (2000). *Helping Clients Forgive: An Empirical Guide for Resolving Anger and Restoring Hope*. American Psychological Association
- Fitzgibbons, R., Enright, R., & O'Brien, T. (2004). Learning to forgive. *American School Board Journal*, 191, 24-26.
- Hoffman, M. L. (2000). *Empathy and moral development: Implications for caring and justice*. Cambridge University Press.
- Kara, M., Kara, Ş, N. & Uzun, N. B. (2023). Level of competition forgiveness scale in sport (FCLSS): Validity and reliability study. *International Innovative Education Researcher*, 3(3), 130-161.
- Kavussanu, M. & Stanger, N. (2017). *Forgiveness in Sport: Conceptual Issues and Empirical Findings*. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 10(1), 231-245
- Kavussanu, M., &Boardley, I. D. (2009). The Prosocial and Antisocial Behavior in Sport Scale. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 31(1), 97–117.
- Rutten, E. A., Schuengel, C., Dirks, E., Stams, G. J. J. M., Biesta, G. J. J., & Hoeksma, J. B. (2007). Predicting aggressive behavior in Dutch youth: The role of emotional intelligence. *International Journal of Behavioral Development*, 31(1), 38–47. <https://doi.org/10.1177/0165025407074045>

- Shields, D. L., & Bredemeier, B. J. (2007). Advances in sport morality research. *Handbook of Sport Psychology*, 3, 662–684.
- Shields, D. L., Bredemeier, B. J., Gardner, D. E., & Bostrom, A. (1995). The sport behavior of youth, parents, and coaches: The good, the bad, and the ugly. *Journal of Research in Character Education*, 3(1), 43–59.
- Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.005>
- Stuckless, N. & Goranson, R. (1992). The Vengeance Scale: Development of a Measure of Attitudes Toward Revenge. *Journal of Social Behavior and Personality*, 7(1). 25-42.
- Weiss, M. R., & Ferrer-Caja, E. (2002). Motivational orientations and sport behavior. In T. Horn (Ed.), *Advances in Sport Psychology* (pp. 115–155). Human Kinetics.
- Worthington, E. L., Jr. (2006). *Forgiveness and Reconciliation: Theory and Application*. Routledge.
- Worthington, E. L., Jr., & Scherer, M. (2004). Forgiveness is an emotion-focused coping strategy that can reduce health risks and promote health resilience: Theory, review, and hypotheses. *Psychology & Health*, 19(3), 385–405. <https://doi.org/10.1080/0887044042000196674>



## SPOR EĞİTİMİNİN ÖĞRENCİLERİN SAĞLIKLI YAŞAM DAVRANIŞLARINA ETKİSİ

Abdurrahman APAYDIN <sup>1/</sup> Doç. Dr. Aydan ERMİŞ <sup>2/</sup> Prof. Dr. Osman İMAMOĞLU <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü, Samsun, Türkiye

E-posta: abrahmanapaydin@gmail.com ORCID No: 0009-0002-9312-7459

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü, Samsun, Türkiye

E-posta: aydanak@omu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2285-7980

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü, Samsun, Türkiye

E-posta: osmani@omu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6671-6042

### Özet

Bu çalışmada spor eğitiminin öğrencilerin sağlıklı yaşam davranışlarına etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Araştırmanın örneklemini Spor Bilimleri Fakültesi ve Eğitim Fakültesinde öğrenim gören toplam 300 öğrenci oluşturmuştur. Veriler, araştırmacı tarafından geliştirilen “Kişisel Bilgi Formu” ve Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları-II ölçeği ile toplanmıştır. İstatistiksel işlemlerde student t- testi kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, Spor Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin toplam sağlıklı yaşam biçimi davranış puanları ve beslenme puanları Eğitim Fakültesi öğrencilerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı biçimde daha yüksektir ( $p<0.01$ ). Bu sonuç, spor eğitimi alan bireylerin daha dengeli ve bilinçli beslenme alışkanlıklarına sahip olduklarını göstermektedir. Fiziksel Aktivite puanları arasındaki fark oldukça belirgindir ( $p<0.01$ ). Spor Bilimleri öğrencilerinin fiziksel aktivite düzeyleri beklenildiği üzere daha yüksektir. Bu durum, mesleki eğitimin içeriğinde yer alan düzenli egzersiz ve spor faaliyetlerinin etkisini yansıtmaktadır. Spor eğitimi alan öğrenciler sağlıklarını koruma ve geliştirme konusunda daha fazla sorumluluk bilinci göstermektedir. Bu farkın anlamlı çıkması sporla ilişkili disiplinin ve sağlık bilincinin eğitim süreciyle kazandırıldığını göstermektedir. Spor Bilimleri öğrencileri stres yönetimi alt boyutunda da anlamlı biçimde daha yüksek puan almıştır. Bu sonuç, sporun psikolojik denge ve stresle başa çıkma becerilerini geliştirdiğini göstermektedir. Tinsellik (manevi gelişim) ve Kişiler arası ilişki alt boyutlarında iki grup arasında anlamlı fark bulunmamıştır ( $p>0.05$ ). Bu, bu alanlardaki davranışların spor eğitimi dışındaki bireysel veya kültürel faktörlerden etkilendiğini düşündürmektedir. Sonuç olarak, spor eğitimi almanın bireylerin genel sağlık bilinci, yaşam tarzı ve sağlıklı davranış düzeyleri üzerinde pozitif bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Özellikle beslenme, fiziksel aktivite, sağlık sorumluluğu ve stres yönetimi boyutlarında farkların anlamlı çıkması, spor temelli eğitimin yaşam kalitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu desteklemektedir. Bu çalışmanın daha fazla sayıda parametreler dikkate alınarak farklı eğitim alanlarındaki öğrenciler üzerinde yapılması önerilir.

**Anahtar Kelimeler:** Sporcu, Spor eğitimi, Sedanter, Sağlıklı Yaşam davranışı

## THE EFFECT OF SPORTS EDUCATION ON HEALTHY LIFESTYLE BEHAVIORS OF STUDENTS

### Abstract

This study aimed to investigate the effects of sports education on healthy lifestyle behaviors of students. The study sample consisted of 300 students studying at the Faculty of Sports and the Faculty of Education. Data were collected using a "Personal Information Form" developed by the researcher and the Healthy Lifestyle Behaviors-II scale. Student's t-test was used for statistical analysis. The total healthy lifestyle behavior scores and nutrition scores of students from the Faculty of Sports Sciences were statistically significantly higher than those from the Faculty of Education ( $p < 0.01$ ). This result suggests that individuals receiving sports education have more balanced and conscious eating habits. The difference between the physical activity scores was quite significant ( $p < 0.01$ ). As expected, the physical activity levels of students in the Faculty of Sports Sciences were higher. This reflects the impact of regular exercise and sports activities, which are part of their vocational education. Students receiving sports education demonstrate a greater sense of responsibility for protecting and improving their health. This significant difference indicates that sports-related discipline and health awareness are acquired through the educational process. Sports Sciences students also scored significantly higher on the stress management subscale. This result suggests that sports improve psychological balance and stress coping skills. No significant difference was found between the two groups on the spiritual development and interpersonal relationship subscales ( $p > 0.05$ ). This suggests that behaviors in these areas are influenced by individual or cultural factors beyond sports training. As a conclusion, sport training was found to have a positive impact on individuals' general health awareness, lifestyle, and healthy behavior levels. The significant differences in the nutrition, physical activity, health responsibility, and stress management dimensions, in particular, support the direct impact of sports-based education on quality of life. It is recommended to conduct this study with students from different educational fields, taking into account a larger number of parameters.

**Keywords:** Athlete, Sports training, Sedentary, Healthy living behavior

## 1. GİRİŞ ve AMAÇ

Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre sağlık, yalnızca hastalık veya sakatlığın bulunmaması değil, aynı zamanda bireyin fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik halinde olması olarak tanımlanmaktadır (World Health Organization [WHO], 2006). Sağlıklı yaşam biçimi ise bireylerin kendi sağlıklarını koruma ve geliştirme amacıyla, günlük yaşamlarında sağlıklarını etkileyebilecek davranışlarını kontrol edebilme ve sağlık durumlarına uygun seçimlerde bulunabilme yeteneği olarak tanımlanır (Ocakçı, 2009; Çebi & İmamoğlu, 2018).

Sağlığı koruma ve geliştirme süreçleri üç aşamada ele alınmaktadır. Birincil koruma düzeyi, sağlıklı bireylerde hastalıkların ortaya çıkmasını önlemeye yönelik uygulamaları kapsar; bu aşamada sağlık eğitimi, farkındalık oluşturma ve sağlıklı yaşam davranışlarının kazandırılması hedeflenir. İkincil koruma düzeyi, hastalığı olan bireylerde komplikasyon ve tehlikeleri azaltmaya yöneliktir. Üçüncül koruma düzeyi ise mevcut hastalığın ilerlemesinin önlenmesi, olumsuz etkilerinin azaltılması ve yaşam kalitesinin artırılması amacını taşır (İrgil, 2010; Jones et al., 2004).

Sağlıklı yaşam biçimi davranışları bireyin fiziksel, ruhsal ve sosyal iyilik halini korumak, geliştirmek ve hastalıklardan korunmak amacıyla günlük yaşamında tutarlı bir şekilde sergilediği, bilinçli ve olumlu eylemlerin bütünüdür. Başlıca sağlıklı yaşam biçimi davranışları dengeli ve yeterli beslenme, düzenli fiziksel aktivite, yeterli ve kaliteli uyku, stres yönetimi, zararlı alışkanlıklardan uzak durmak, kişilerarası ve sosyal ilişkileri güçlü tutmak olarak sıralanabilir. Özetle, sağlıklı yaşam biçimi davranışları, “*Ne yaparsam daha uzun, sağlıklı ve mutlu yaşarım?*” sorusuna verilen bilimsel cevapların günlük hayata uyarlanmış halidir.

Sağlıklı yaşam biçimi davranışları, bireylerin sağlığını geliştirmeye yönelik alışkanlık ve tutumlarını ölçmek amacıyla geliştirilen ölçekler aracılığıyla değerlendirilmektedir. Bahar ve arkadaşları (2008) tarafından Türkçe'ye uyarlanan Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları Ölçeği II (SYBD-II), bu davranışların belirlenmesinde ve sağlık geliştirme programlarının etkililiğinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ölçek; tinsellik (manevi gelişim), beslenme, fiziksel aktivite, sağlık sorumluluğu, kişiler arası ilişkiler ve stres yönetimi olmak üzere altı alt boyuttan oluşmaktadır. Tinsellik boyutu bireyin yaşam amaçlarını ve kişisel gelişim düzeyini; beslenme boyutu sağlıklı besin seçimi ve düzenini; fiziksel aktivite boyutu düzenli egzersiz alışkanlıklarını; sağlık sorumluluğu boyutu bireyin kendi sağlığı üzerindeki farkındalık ve katılım düzeyini; kişiler arası ilişkiler boyutu sosyal iletişim becerilerini; stres yönetimi boyutu ise bireyin stres kaynaklarını tanıma ve başa çıkma stratejilerini ifade eder (Bozhüyük, 2010; İmamoğlu ve ark., 2018).

Sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının spor eğitimi alan öğrenciler için önemi, diğer bireylere kıyasla çok daha kritik ve çok boyutludur. Çünkü spor eğitimi alan öğrenciler yalnızca kendi sağlıklarından sorumlu değildir; aynı zamanda gelecekte başkalarına (öğrenci, sporcu veya danışan) örnek olacak, onları yönlendirecek ve

sporun sağlıklı ilişkisini profesyonelce temsil edecek kişilerdir. Spor eğitimi alan öğrenciler için sağlıklı yaşam biçimi davranışları bir tercih değil, bir mesleki ve kişisel zorunluluktur. Bu davranışlar daha iyi performans göstermelerini, daha az sakatlanmalarını, daha güvenilir ve etkili birer profesyonel olmalarını, daha uzun ve kaliteli bir spor kariyerine sahip olmalarını ve akademik olarak da başarılı olmalarını sağlar. Bu doğrultuda, bu araştırmanın amacı spor eğitiminin öğrencilerin sağlıklı yaşam biçimi davranışları üzerindeki etkisini incelemekve spor eğitimi alan öğrenciler ile almayan öğrenciler arasındaki farklılıkları ortaya koymaktır. Spor eğitimi, yalnızca fiziksel gelişimi değil, aynı zamanda bireylerin psikolojik iyi oluşlarını, sağlık bilincini ve sosyal etkileşim düzeylerini de güçlendiren bütüncül bir eğitim alanı olarak değerlendirilmektedir (Penedo & Dahn, 2005; Sallis ve ark., 2015; Warburton & Bredin, 2017).

## 2. YÖNTEM:

Araştırmanın evrenini Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde öğrenim gören öğrenciler oluşturmaktadır. Örneklemi ise Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesinde (spor eğitimi alan) ve Eğitim fakültesinde (spor eğitimi almayan) öğrenim gören ve çalışmaya katılmaya gönüllü olan 300 öğrenci oluşturmaktadır. Bu öğrencilerin 160'ı Spor Bilimleri Fakültesinde, 140'ı ise Eğitim fakültesinde öğrenim görmektedir.

**Sağlıklı yaşam biçimi davranışları Ölçeği:** Ölçeğin ülkemizdeki geçerlik ve güvenilirlik çalışması Bahar ve ark (2008) tarafından yapılmıştır. SYBD-II ölçeği, dörtlü Likert'e göre (1 (hiçbir zaman), 2 (bazen), 3 (sık sık) ve 4 (düzenli olarak) puanlanan tümü olumlu 52 maddeden oluşmaktadır. Ölçekten alınabilecek en düşük puan 52, en yüksek puan 208'dir. Ölçekten alınan puanların yükselmesi, bireyin belirtilen sağlık davranışlarını yüksek düzeyde uyguladığını gösterir. Tinsellik alt ölçeği 9 madde (6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 52), Beslenme alt ölçeği 9 madde (2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 44, 50), Fiziksel aktivite alt ölçeği 8 madde (4, 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46), Sağlık sorumluluğu alt ölçeği 9 madde ( 3, 9, 15, 21, 27, 33, 39, 45, 51), Kişiler arası ilişki alt ölçeği 9 madde (1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49) ve Stres yönetimi alt ölçeği 8 madde (5, 11, 17, 23, 29,35, 41, 47) olmak üzere ölçek toplam 52 maddeden oluşur (Bahar ve ark.,2008). Bu çalışmada ölçek genelinin Cronbach Alpha değeri 0.92, alt faktörlerin değerleri ise 0.77-0.88 arasında bulunmuştur.

## İstatistiksel işlemler:

İstatistiksel işlemlerde SPSS 23,00 paket programı kullanılmıştır. Ölçek sonucu elde edilen veriler puanlama yönergesine uygun olarak hesaplanmıştır. Veriler değerlendirilirken “Kolmogorov Smirnov Testi” ile normal dağılıma uygunluğu araştırılmış ve tüm verilerin normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel işlemlerde t-testi kullanılmıştır.  $P < 0,05$  düzeyinde anlamlılık derecesine bakılmıştır.

### 3. BULGULAR

**Tablo 1.** Üniversite öğrencilerinin antropometrik özelliklerinin karşılaştırılması

| Değişkenler                              | Cinsiyet                     | N   | Ortalama | St. sapma | t-test | P       |
|------------------------------------------|------------------------------|-----|----------|-----------|--------|---------|
| Yaş (yıl)                                | Spor Bilimleri Öğrencileri   | 160 | 21,16    | 1,83      | 1,11   | 0,27    |
|                                          | Eğitim Fakültesi Öğrencileri | 140 | 21,33    | 1,91      |        |         |
| Boy uzunluğu (cm)                        | Spor Bilimleri Öğrencileri   | 160 | 175,21   | 7,71      | 4,26** | < 0,001 |
|                                          | Eğitim Fakültesi Öğrencileri | 140 | 172,18   | 7,26      |        |         |
| Vücut ağırlığı (kg)                      | Spor Bilimleri Öğrencileri   | 160 | 73,41    | 7,83      | 1,33   | 0,18    |
|                                          | Eğitim Fakültesi Öğrencileri | 140 | 72,49    | 7,79      |        |         |
| Beden Kütle İndeksi (kg/m <sup>2</sup> ) | Spor Bilimleri Öğrencileri   | 160 | 23,55    | 3,13      | 1,26   | 0,21    |
|                                          | Eğitim Fakültesi Öğrencileri | 140 | 24,66    | 4,11      |        |         |

\*\*p<0,001

**Tablo 2:** Üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimleri davranışlarının karşılaştırılması

| Alt ölçekler             | Cinsiyet          | N   | Ortalama | St. sapma | t-test  | P         |
|--------------------------|-------------------|-----|----------|-----------|---------|-----------|
| Tinsellik/Manevi gelişim | YDSBF Öğrencileri | 160 | 25,28    | 4,93      | -1,40   | 0,16      |
|                          | EF Öğrencileri    | 140 | 25,91    | 4,98      |         |           |
| Beslenme                 | YDSBF Öğrencileri | 160 | 22,06    | 4,17      | 10,28** | p < 0,001 |
|                          | EF Öğrencileri    | 140 | 18,01    | 4,26      |         |           |
| Fiziksel aktivite        | YDSBF Öğrencileri | 160 | 22,01    | 4,43      | 13,19** | p < 0,001 |
|                          | EF Öğrencileri    | 140 | 16,88    | 3,39      |         |           |
| Sağlık sorumluluğu       | YDSBF Öğrencileri | 160 | 22,26    | 4,11      | 10,02** | p < 0,001 |
|                          | EF Öğrencileri    | 140 | 18,53    | 3,99      |         |           |
| Kişiler arası ilişki     | YDSBF Öğrencileri | 160 | 25,44    | 4,86      | 0,28    | 0,78      |
|                          | EF Öğrencileri    | 140 | 25,34    | 5,14      |         |           |
| Stres Yönetimi           | YDSBF Öğrencileri | 160 | 21,28    | 4,16      | 7,77**  | p < 0,001 |
|                          | EF Öğrencileri    | 140 | 18,74    | 3,51      |         |           |
| Toplam puan              | YDSBF Öğrencileri | 160 | 138,31   | 19,63     | 8,99**  | p < 0,001 |
|                          | EF Öğrencileri    | 140 | 123,42   | 15,59     |         |           |

\*\*p<0,001

\*\*YDSBF: Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi

\*\*EF: Eğitim Fakültesi

### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Araştırmaya katılan öğrencilerinin yaş, vücut ağırlıkları ve Beden Kitle indeks değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz iken ( $p>0,05$ ), boy uzunluğunda spor eğitimi alan öğrencilerin lehine farklılık tespit

edilmiştir ( $p<0,01$ ). Öğrencilerin Beden Kitle indeksleri spor eğitimi alan öğrencilerde  $23,55 \text{ kg/m}^2$  ve spor eğitimi almayan öğrencilerde  $24,66 \text{ kg/m}^2$  olarak bulunmuştur. Beden Kitle indeksi değerleri  $20-25 \text{ kg/m}^2$  arasında ise sağlıklı olma kriterleri içerisinde kabul edilir (İmamoğlu ve ark.,2010).

İmamoğlu ve ark.,(2018) çalışmalarında ölçek toplam puanını kadınlarda 122,56 puan ve erkeklerde 123,42 puan olarak bulmuştur.Çebi ve İmamoğlu (2018) yaptıkları bir çalışmada ölçek toplam puanını 137,34 olarak bulmuşlardır. Bozhöyük ise çalışmasında ölçek toplam puan ortalamasını 124,30 bulmuş ve bu puanın orta seviye olduğunu belirtmiştir. Yine ölçeğin en düşük puanı 52 ve en yüksek puanı 208 olarak belirtilmiştir (Bahar ve ark.,2008).

Ölçekten alınan puanların yükselmesi, bireyin belirtilen sağlık davranışlarını yüksek düzeyde uyguladığını göstermektedir (Bahar ve ark.,2008). Bu çalışmada sağlıklı yaşam biçimleri davranışlarının karşılaştırılmasında toplam ölçek puanı spor eğitimi alan öğrencilerde 138,31 ve spor eğitimi almayan öğrencilerde 123,42 puan olarak bulunmuştur. Üniversitede Spor eğitimi alan ve almayan öğrencilerin ölçek puanları karşılaştırılmasında Tinsellik ve kişiler arası ilişkiler alt boyutlarında anlamlı farklılık bulunmazken ( $p>0,05$ ), stres yönetimi, beslenme, fiziksel aktivite, sağlık sorumluluğu alt boyutlarında ve toplam ölçek puanında anlamlı farklılık bulunmuştur ( $p<0,001$ ). Çebi (2018) çalışmasında takım sporcularının toplam puanının milli takım sporcuları toplam puanından yüksek olmasını anlamlı bulmuştur. Yine beslenme alt ölçeğinde Takım sporcularının bireysel ve milli takım sporcularından daha yüksek puan almasının anlamlı olduğu belirtmiştir.

Çebi (2018) çalışmasında sağlık sorumluluğu ölçeğinde anlamlı bir fark bulmamıştır. Literatür incelendiğinde düzenli yapılan egzersizin sağlıklı yaşam biçimi davranışları ve beslenme alışkanlıkları üzerine olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Sporcuların sportif aktivitelerindeki performanslarını artırmak için sedanter gruplara oranla daha fazla sağlıklı yaşam biçimi davranışları gösterme eğilimde olmaları oldukça normaldir. Ertop (2012), yapmış olduğu çalışmada düzenli spor yapan öğrencilerin ölçek puan ortalamalarının spor aktivitesi yapmayan öğrencilerin ortalamalarından oldukça yüksek olduğunu tespit etmiştir. Hawks ve ark. (2002) çalışmalarında düzenli spor yapanların ölçek puanını daha yüksek bulunmuştur. Lee ve Loke (2005), Özkan ve Yılmaz (2008), Cihangiroğlu ve Deveci (2011)'in çalışma sonuçları da benzerdir. Ertop (2012) üniversite öğrencileri üzerine yaptığı çalışmada düzenli yapılan egzersizin sağlık üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Yeterli ve dengeli beslendiğini belirten öğrencilerin toplam ölçeği puanı, beslenme, kişilerarası destek, stres yönetimi, sağlık sorumluluğu ve kendini gerçekleştirme puanları anlamlı oranda yüksek bulunmuştur. Yurt dışında ve ülkemizde yapılan diğer çalışmalarda da benzer sonuçlara rastlanmaktadır (Hawk ve ark. (2002), Lee ve Loke (2005), Özkan ve Yılmaz (2008).

Spor yapma alışkanlığının insanların yaşam biçimlerini olumlu olarak etkilediği artık kanıtlanmış bir gerçektir. Çebi (2018) çalışmasında düzenli egzersizin sağlıklı yaşam biçimi davranışı gerçekleştirilmede olumlu etkileri



olduğunu belirtmiştir. Çalışmamızda spor eğitimi alan öğrencilerin (sporcuların) toplam ölçek ve birçok alt boyutta spor eğitimi almayan öğrencilerden (sedanterlerden) yüksek puan alması yukarıda belirtilen çalışmalarla uyumludur. Spor eğitimi almayan öğrenciler özellikle fiziksel olarak aktif olmaları konusunda desteklenmelerinin yanı sıra beslenme ve sağlık sorumluluğu konularında bilgilendirilmelidirler. Yine sporcu öğrencilerin stres yönetimi puanlarının spor eğitimi almayan öğrencilerden iyi olması dikkate değer bir sonuçtur. Spor eğitimi alan öğrencilerin sağlık davranışları konusunda spor eğitimi almayan öğrencilerden iyi olmaları spor yapmalarının yanı sıra beslenme ve sağlık gibi dersler almalarına da bağlanabilir.

**Sonuç:** Spor eğitimi almanın bireylerin genel sağlık bilinci, yaşam tarzı ve sağlıklı davranış düzeyleri üzerinde pozitif bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Özellikle beslenme, fiziksel aktivite, sağlık sorumluluğu ve stres yönetimi boyutlarında farkların anlamlı çıkması, spor temelli eğitimin yaşam kalitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu desteklemektedir. Bu çalışmanın daha fazla sayıda parametreler dikkate alınarak farklı eğitim alanlarındaki öğrenciler üzerinde yapılması önerilir. Ayrıca, üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimleri davranışları ve özellikle de sportif olarak aktif olmaları konusunda desteklenmeleri gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Bahar, Z., Beşer, A., Gördes, N., Ersin, F., & Kıssal, A.. (2008). Sağlıklı yaşam biçimi davranışları ölçeği II'nin geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Cumhuriyet Üniversitesi Hemşirelik Yüksek Okulu Dergisi*, 12(1):1-12.
- Bozhüyük, A. (2010). Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Öğrencilerinin Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışlarının Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Aile Hekimliği Anabilim Dalı Uzmanlık Tezi, Adana.
- Cihangiroğlu, Z., & Deveci, SE. (2011). Fırat Üniversitesi Elazığ Sağlık Yüksekokulu öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışları ve etkileyen faktörler. *Fırat Tıp Dergisi*, 16(2): 78-83.
- Çebi, M. (2018). Sporcuların Sağlıklı Yaşam Biçimleri Davranışlarının İncelenmesi. *İnönü Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi (İÜBESBD)*, 5(1), 13-20.
- Çebi, M., & İmamoğlu, O. (2018). Spor Bilimleri Fakültesi Öğrencilerinin Cinsiyete Göre Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları. *Spor Eğitim Dergisi*, 2(1), 12-20.
- Demir, Z., Korkmaz N.H, SevilÜ. (2015). Spor yapan ve yapmayan üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının incelenmesi. *Uluslararası Hakemli Akademik Spor Sağlık ve Tıp Bilimleri Dergisi*, 5(14):96-109.
- Ertop, NG., Yılmaz, A., & Erdem, Y. (2012) Üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimleri. *KÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 14(2): 1-7.
- Hawks, R.S., Madanat, H.N., Merrill, R.M., Goudy, M.B., & Miyagwa T.A. (2002). Cross-Cultural comparison of health promoting behaviours among college students. *The Journal of Health Education*, 5: 84-92.

- İmamoğlu, O., Ağaoğlu, S., & Eker, H. (2010). Değişik illerde beden eğitimi ve spor bölümünde okuyan öğrencilerin beslenme alışkanlıklarının incelenmesi. *Beden eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 12(4),sh.1-12
- İmamoğlu, O., Çebi, M., İslamoğlu, İ., & Yamak, B. (2018). Sedanter Üniversiteli Öğrencilerin Sağlıklı Yaşam Biçimleri Davranışları, Akşemsettin Uluslararası İnsan, Toplum, Spor Bilimleri Sempozyum Tam Metin Kitabı, Yayın No.: 06, sh.524-529
- İrgil, E. (2010). Sağlığı Koruma Uludağ Üniversitesi Tıp Fak. Halk Sağlığı Ders Notları, Erişim: ([http://halk-sagligi.uludag.edu.tr/emel\\_irgil\\_birinci\\_sinif/sagligi\\_koruma.pdf](http://halk-sagligi.uludag.edu.tr/emel_irgil_birinci_sinif/sagligi_koruma.pdf)) Erişim tarihi: 15.02.2010.
- Jones, R., Britten, N., Culpepper, L., Gass, D., Grol, R., Mant, D., Silagy, C. (2004). Oxford Textbook of Primary Medical Care. New York: Oxford University Press, Prevention and health promotion.
- Kafkas, M.E., Kafkas, A.Ş., Acet, M. (2012). Beden eğitimi öğretmenlerinin sağlıklı yaşam biçimi davranış düzeylerinin incelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 32(11), 51.
- Lee, R.L., & Loke, A.J. (2005). Health-promoting behaviours and psychosocial well-being of university students in Hong Kong. *Public Health Nursing*, 22(3): 209-220.
- Ocakçı, A. Sağlığın Korunma ve Geliştirilmesinde Hemşirelik Hizmetlerinin Rolü. Erişim: (<http://server.karaelmas.edu.tr/saglik/skg.htm>) Erişim tarihi: 01.11.2009.
- Özkan, S., & Yılmaz, E. (2008). Hastanede çalışan hemşirelerin sağlıklı yaşam biçimi davranışları. *Fırat Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 3(7): 92-104.
- Penedo, F. J., & Dahn, J. R. (2005). Exercise and well-being: A review of mental and physical health benefits associated with physical activity. *Current Opinion in Psychiatry*, 18(2), 189–193.
- Sallis, J. F., Bull, F., Guthold, R., Heath, G. W., Inoue, S., Kelly, P., ... & Hallal, P. C. (2015). Progress in physical activity over the Olympic quadrennium. *The Lancet*, 388(10051), 1325–1336.
- Warburton, D. E. R., & Bredin, S. S. D. (2017). Health benefits of physical activity: A systematic review of current systematic reviews. *Current Opinion in Cardiology*, 32(5), 541–556.
- World Health Organization (WHO). (2006). *Constitution of the World Health Organization*. Geneva: WHO.

## FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ KİMYA LABORATUVARINDA DENEY TASARLAMA BECERİLERİNİN İNCELENMESİ: TEPKİME HIZI KONUSU ÖRNEĞİ

Dr. Öğrt. Üyesi, Ali Rıza ERDEM

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Kimya Eğitimi

[aliriza.erdem@ogu.edu.tr](mailto:aliriza.erdem@ogu.edu.tr) ORCID: 0009-0000-8866-6074

### Özet

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Öğretmenliği Programı'nda 2024–2025 bahar döneminde yürütülen Kimya Laboratuvarı dersi final sınavında yer alan açık uçlu bir deney tasarlama sorusuna verilen yazılı yanıtları incelemektedir. Araştırmanın amacı, ikinci sınıf öğretmen adaylarının tepkime hızı konusuna ilişkin deney tasarlama becerilerini bilimsel süreç becerileri, kavramsal bilgi ve yöntemsel açıklama düzeyleri bakımından betimlemektir. Araştırma nitel doküman analizi deseniyle yürütülmüştür. Çalışma grubunu, ilgili derste açık uçlu soruya yanıt veren 40 öğretmen adayı oluşturmaktadır. Yanıtlar; deneysel planlama (amaç/işlem basamakları, değişken belirleme, kontrol ve ölçüm), bilimsel kavram bilgisi ve açıklama düzeyi boyutlarında içerik analizine tabi tutulmuştur. Bulgular, katılımcıların %85'inin tepkime hızını sıcaklık ve derişim ile ilişkilendirebildiğini; ancak yalnızca %28'inin bağımlı ve bağımsız değişkenleri açık biçimde tanımlayabildiğini göstermiştir. Temas yüzeyine değinen yanıtların oranı %32'de kalırken, basınç ve katalizöre ilişkin atıflar %10'un altında kalmıştır. Ölçme araçlarını işlevsel biçimde kullanan yanıt oranı %40'tır. Ayrıca yanıtların %60'ında hipotez kurma, değişken kontrolü, ölçüm ve gözlem arasında bütünlüklü bir bilimsel süreç zinciri kurulamadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak öğretmen adaylarının tepkime hızına ilişkin kavramsal bilgiyi büyük ölçüde hatırlayabildikleri; ancak bu bilgiyi kontrollü bir deney planına dönüştürmede zorlandıkları anlaşılmaktadır. Bulgular, bilimsel süreç becerileri, pedagojik alan bilgisi ve sorgulamaya dayalı laboratuvar öğretimi bağlamında tartışılmış; öğretmen yetiştirme programlarında açık uçlu deney tasarlama görevlerine, değişken kontrolü odaklı rubriklerle ve rehberli sorgulamadan açık sorgulamaya geçiş sağlayan laboratuvar uygulamalarına daha fazla yer verilmesi önerilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fen eğitimi, deney tasarlama, tepkime hızı, bilimsel süreç becerileri, doküman analizi

## EXAMINATION OF PRE-SERVICE SCIENCE TEACHERS' EXPERIMENT DESIGN SKILLS IN CHEMISTRY LABORATORY: THE CASE OF REACTION RATE

### Abstract

This study examines written responses given to an open-ended experiment design question included in the final exam of the Chemistry Laboratory course conducted during the 2024–2025 spring semester in the Science Education Program at the Faculty of Education, Eskişehir Osmangazi University. The aim of the study is to describe second-year pre-service science teachers' experiment design skills related to the topic of reaction rate in terms of scientific process skills, conceptual knowledge, and level of methodological explanation. The study was conducted using a qualitative document analysis design. The study group consisted of 40 pre-service teachers who responded to the open-ended question in the course. The responses were analyzed through content analysis under the categories of experimental planning (purpose/procedure steps, identification of variables, control and measurement), scientific conceptual knowledge, and level of explanation. The findings revealed that 85% of the participants were able to relate reaction rate to temperature and concentration; however, only 28% could clearly define dependent and independent variables. While 32% of the responses addressed surface area, references to pressure and catalysts remained below 10%. The proportion of responses that functionally utilized measurement tools was 40%. Additionally, in 60% of the responses, a coherent scientific process chain including hypothesis formulation, variable control, measurement, and observation was not established. As a result, it was determined that pre-service teachers were largely able to recall conceptual knowledge related to reaction rate; however, they experienced difficulties in transforming this knowledge into a controlled experimental design. The findings were discussed within the framework of scientific process skills, pedagogical content knowledge, and inquiry-based laboratory instruction. It is recommended that teacher education programs place greater emphasis on open-ended experiment design tasks, variable control-oriented rubrics, and laboratory practices that support the transition from guided inquiry to open inquiry.

**Keywords:** Science education, experiment design, reaction rate, scientific process skills, document analysis

## MACHINE LEARNING-ASSISTED OPTIMIZATION OF PARAMETRIC PROSTHESIS DESIGN BASED ON FEM DATA

Dr. Şenol AVCI<sup>1</sup>/ Associate Professor Dr. Burak ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali University, Metallurgical and Materials Engineering, senol.avci@bilecik.edu.tr,  
<https://orcid.org/0000-0001-5050-0984>

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali University, Metallurgical and Materials Engineering, burak.ozturk@bilecik.edu.tr,  
<https://orcid.org/0000-0002-1018-6545>

### Abstract

This study proposes a machine learning (ML)-assisted framework for modeling and optimizing the relationship between parametric prosthesis design variables and their mechanical performance obtained from finite element method (FEM) analyses. A dataset consisting of 16 design configurations was generated using a two-level design of experiments approach with 14 geometric parameters representing the tibial tray structure. Key performance outputs included volume, stress values, deformation, and UHMWPE-related mechanical responses. Tree-based machine learning algorithms, including Decision Tree, AdaBoost, Extra Trees, and Random Forest, were evaluated to establish predictive models. Model performance was assessed using cross-validation, and ensemble-based methods demonstrated superior predictive capability. Among them, the Random Forest model achieved the highest accuracy ( $R^2 \approx 0.86$ ) and was selected as the surrogate model for further analysis. The trained model was employed for global design space exploration, enabling rapid prediction of performance across all parameter combinations without additional FEM simulations. The minimum predicted volume was approximately 4590.91 mm<sup>3</sup>. Furthermore, a multi-objective optimization approach based on Pareto analysis was used to identify a balanced design that simultaneously minimizes volume and surface maximum stress. The results demonstrate that ML-based surrogate modeling provides an efficient and reliable alternative to computationally expensive FEM-driven optimization, enabling accelerated design exploration and improved decision-making in prosthetic design.

**Keywords:** Machine Learning-Based Surrogate Modeling, Finite Element Analysis (FEM), Prosthetic Design Optimization

## 1. INTRODUCTION

The design and optimization of orthopedic prosthetic components have become even more important with the increasing demand for long-lasting, high-performance, and patient-specific implant systems. The current prosthetic designs must at the same time meet several performance requirements including mechanical strength, wear resistance, stress distribution and long-term biocompatibility (Misir, 2025). Precisely, the metallic components-polymeric materials interaction, e.g., ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE), is also important to the life longevity and functional performance of the implants. High levels of stress and poor geometric designs can cause premature wear and fatigue, and ultimate implant failure, and the optimization of design is an important engineering issue in biomedical devices (Baena vd., 2015; Misir, 2025; Öztürk vd., 2018; Sharma vd., 2023).

Finite element method (FEM) is widely known as a basic means of investigating the mechanical performance of the prosthetic systems when they are subjected to physiological load conditions. FEM allows the stress distribution, deformation, and contact behavior in complicated geometries to be evaluated in detail, and has found extensive application in orthopedic implant design (Baena vd., 2015; Mestar vd., 2018; Omasta vd., 2012; Sharma vd., 2023). Although it is still quite accurate and flexible, the design processes based on FEM are computationally costly, especially when one has to consider parametric models with multiple design variables (Uğur vd., 2022),(Öztürk & Erzincanli, 2020). All the iterations of the design must undergo a distinct numerical simulation and the size of the design space grows exponentially with the number of parameters thus rendering exhaustive exploration of the design space infeasible (Karban vd., 2021; Kudela & Matousek, 2022; Marinkovic & Zehn, 2019).

In order to address these drawbacks, design of experiment (DOE) methodologies, including the Taguchi technique and factorial design, have become common in order to persist with a limited set of necessary simulations whilst maintaining critical system behavior. These methods can be used to investigate parameter effects and parameter interactions in a systematic manner with a small number of experiments (Antony vd., 2001; Davis & John, 2018; Krishnaiah & Shahabudeen, 2012). Nonetheless, DoE-based techniques are by nature less able to represent very nonlinear relationships and are normally not able to make continuous predictive inferences at the entire design space (Burge vd., 2023; Zhong vd., 2009).

Machine learning (ML) has become a strong force in solving complex engineering tasks that require nonlinear and high-dimensional data in the last several years. The input-output relationships can be learned with the help of ML algorithms using data-only, which allows the creation of predictive models that can provide approximations of computationally costly simulations (Faridzad, 2025; Öztürk vd., 2025; Pakizeh & Kashani, 2022). In this regard, the use of surrogate modeling methods based on ML has become an increasingly popular



alternative to conventional FEM-based optimization methods (Nath vd., 2024a). The models also enable quick extrapolation of system behaviors to unknown combinations of parameters, which greatly saves on computation.

The tree-based ensemble algorithms like the Random Forest (RF), Extra Trees (ET), and boosting algorithms have shown good performance in regression and prediction exercises among the other ML techniques (Ahmad vd., 2018a; Salman vd., 2024; Syam & Kaul, 2021). The techniques are especially beneficial in the field of engineering because they have great strengths, can be applied in the nonlinear relationship cases, and they can also be used with relatively small data sets (Ahmad vd., 2018b). Compared to deep learning methods, which usually need large-scale data, ensemble methods are capable of making reliable predictions using small amounts of training data, which is why they are particularly useful in FEM-based studies (Nath vd., 2024b).

As a material modeling and engineering design method, recent literature has shown more interest in the combination of machine learning and physics-based simulations. As an example, machine learning methods have been used successfully to forecast material behavior, structural response and complex behavior of a material using simulation data (Etim vd., 2024; Hussain vd., 2026; Yu vd., 2020).. Also, design optimization and exploration of parameter space using ML-based structures have been applied to identify optimal settings in complex systems with ease (Luan & Tsai, 2021; Muhammad, 2015). These trends point to the increased role of the data-driven methods in the contemporary design of engineering.

Although these have been achieved, the optimization of machine learning in the design of prosthetics has not been applied extensively, especially with regard to the combination of parametric model, FEM analysis, surrogate model, and multi-objective optimization in a single framework. To fill this gap, the current research paper suggests an approach to modeling and optimization of a parametrically defined prosthetic design using machine learning (Chen vd., 2024; Choo & Chang, 2023).

The present study was a structured dataset which was prepared through a two level design of the experiment method and 14 geometric design parameters were used. Each design configuration was subjected to finite element analyses to get important performance outputs, such as volume, stress distribution, and mechanical responses of UHMWPE. Such data were then subjected to the training and testing of various machine learning algorithms such as Decision Tree, AdaBoost, Extra Trees, and Random Forest algorithms.

The small size of the dataset used justified the use of a robust validation strategy that relied on repeated k-fold cross-validation so as to achieve dependable performance assessment, as well as to reduce overfitting. Statistical measures like coefficient of determination ( $R^2$ ), mean squared error (MSE), root mean squared error (RMSE), and mean absolute error (MAE) were used to evaluate the model performance. After the hyperparameter

optimization and comparative analysis, the best model was chosen as a surrogate model to be used in further research.

An important insight of the present research is the application of the trained machine learning model to explore the design space in large scale. The surrogate model avoids computationally expensive FEM simulations that would have to be done at each combination of parameters, instead quick responses of the system at any point in the design space can be made. Further, feature importance analysis was done to determine the most significant design parameters on prosthetic performance to offer useful engineering understanding on design improvement. Moreover, the multi-objective optimization model was adopted to reduce conflicting performance requirements at the same time; they are volume and surface maximum stress. An optimistic model was followed using Pareto-based framework and a balanced design configuration was chosen by considering how close the design configuration was to the optimal solution on the normalized objective space. This methodology is more realistic and practical as it takes into account several performance goals at the same time.

On the whole, this work demonstrates a coherent framework of finite element analysis, surrogate modeling using machine learning, and multi-objective optimization of effective design of prosthetics. The results have shown that machine learning modeled in the form of an ensemble can be able to successfully approximate nonlinear relationships between design variables and mechanical responses, even with small data sets. The suggested methodology provides a computationally effective alternative to traditional simulation-based design methods and leads to the development of the data-driven design methods in biomedical engineering.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

### **2.1. Design of Experiment (DOE)**

The tibial tray design is characterized by a geometric structure that is composed of many parameters interacting with each other. This geometric structure was represented in this study with a total of 14 fundamental design parameters (P1 -P14) reflecting various regions of the prosthesis. The parameters include critical design parameters like, thickness, width, dimensional properties of the load bearing regions and geometric parameters that influence the contact surface. All the parameters have a direct mechanical effect on the prosthesis and seriously impact the performance results, especially volume (mm<sup>3</sup>), maximum stress (MPa), and safety factor. As such, the parameters must be examined in a systematic and controlled manner as part of the design.

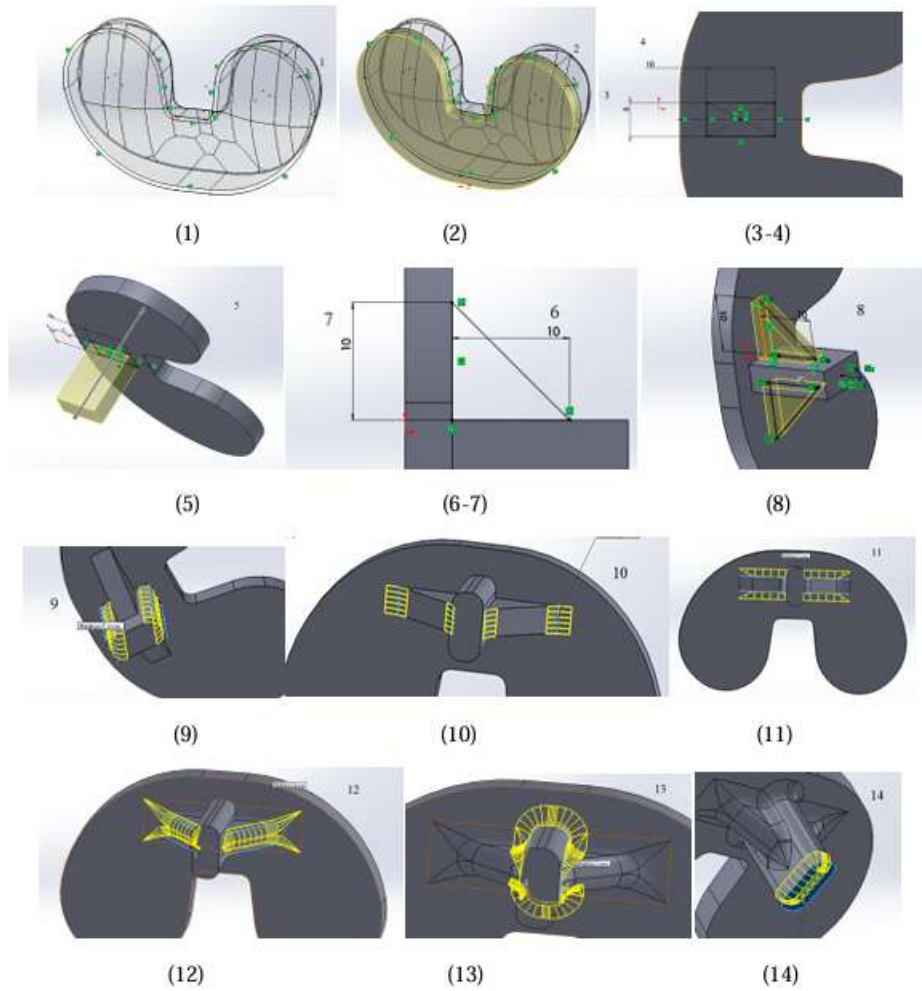


**Figure 1.** Geometric representation of the tibial tray design parameters (P1–P14) used in the parametric modeling.

To this end, a two-level Design of Experiments (DoE) approach was adopted to form the basis of the optimization process, and an experimental matrix consisting of 16 experiments, as given in Table 1, was created. This structure is based on defining each design parameter at two different levels (lower and upper). Thus, despite the high total number of parameters, the design space is efficiently explored with a limited number of experiments. This experimental setup allows observation not only of the individual effects of the parameters but also of the effects of different parameter combinations on the system behavior. The 16 different experimental combinations were selected in a balanced manner to represent the parametric design space, and each was evaluated using finite element analysis (FEM).

**Table 1.** Two-level design of experiments (DoE) matrix representing 16 parametric configurations of the tibial tray design.

| Test No | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | M | N | O |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3       | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 4       | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 5       | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 6       | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 7       | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 8       | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 9       | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 10      | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 11      | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 12      | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 13      | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 14      | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 15      | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 16      | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |

Table 2 clearly defines the two-level lower and upper limit values for each design parameter. These levels are determined in a physically meaningful way, for example, using ranges such as 15–30 mm, 6–12 mm, or 2.5–5 mm for some parameters; this allows the impact of design variables on the system to be clearly seen. Thanks to this approach, the design space has been examined not only theoretically but also within engineeringly feasible limits. Lower levels represent more compact and low-volume geometries, while upper levels represent more rigid structures with higher load-carrying capacity.

**Table 2** Lower and upper level values of the design parameters (P1–P14) used in the two-level experimental design.

| Test No | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8  | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1       | 1  | 2  | 4  | 8  | 15 | 6  | 6  | 2.5 | 1  | 4   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 2       | 1  | 2  | 4  | 8  | 15 | 6  | 6  | 5   | 2  | 8   | 2   | 2   | 2   | 2   |
| 3       | 1  | 2  | 4  | 12 | 30 | 12 | 12 | 2.5 | 1  | 4   | 1   | 2   | 2   | 2   |
| 4       | 1  | 2  | 4  | 12 | 30 | 12 | 12 | 5   | 2  | 8   | 2   | 1   | 1   | 1   |
| 5       | 1  | 4  | 8  | 8  | 15 | 12 | 12 | 2.5 | 1  | 8   | 2   | 1   | 1   | 2   |
| 6       | 1  | 4  | 8  | 8  | 15 | 12 | 12 | 5   | 2  | 4   | 1   | 2   | 2   | 1   |
| 7       | 1  | 4  | 8  | 12 | 30 | 6  | 6  | 2.5 | 1  | 8   | 2   | 2   | 2   | 1   |
| 8       | 1  | 4  | 8  | 12 | 30 | 6  | 6  | 5   | 2  | 4   | 1   | 1   | 1   | 2   |
| 9       | 2  | 2  | 8  | 8  | 30 | 6  | 12 | 2.5 | 2  | 4   | 2   | 1   | 2   | 1   |
| 10      | 2  | 2  | 8  | 8  | 30 | 6  | 12 | 5   | 1  | 8   | 1   | 2   | 1   | 2   |
| 11      | 2  | 2  | 8  | 12 | 15 | 12 | 6  | 2.5 | 2  | 4   | 2   | 2   | 1   | 2   |
| 12      | 2  | 2  | 8  | 12 | 15 | 12 | 6  | 5   | 1  | 8   | 1   | 1   | 2   | 1   |
| 13      | 2  | 4  | 4  | 8  | 30 | 12 | 6  | 2.5 | 2  | 8   | 1   | 1   | 2   | 2   |
| 14      | 2  | 4  | 4  | 8  | 30 | 12 | 6  | 5   | 1  | 4   | 2   | 2   | 1   | 1   |
| 15      | 2  | 4  | 4  | 12 | 15 | 6  | 12 | 2.5 | 2  | 8   | 1   | 2   | 1   | 1   |
| 16      | 2  | 4  | 4  | 12 | 15 | 6  | 12 | 5   | 1  | 4   | 2   | 1   | 2   | 2   |

## 2.2. Finite Element Analysis and Results

The finite element analysis outcomes of the volume, stress value, deformation, and UHMWPE-related performance parameters are mentioned in Table 3. The key target of this experimental design is to identify the most ideal tibial tray design with least volume (mm<sup>3</sup>), lowest maximum stress values (MPa) and that with high safety factor. A decrease in the volume enhances the lightness and material efficiency of the implant, whereas the decrease in the maximum stress increases the structural safety directly. Moreover, a high safety factor would ensure reliability and longevity of the implant during the long usage. Thus, by combining these three criteria, a more balanced and engineering feasible design optimization is sought after as compared to a methodology that concentrates on a single performance result.

**Table 3.** Finite element analysis (FEM) results for all experimental configurations, including volume, stress values, deformation, and UHMWPE performance metrics

| Volume (mm <sup>3</sup> ) | Surface max stress (MPa) | Model max stress (MPa) | UMHWPE deformation | UMHWPE safety factor | UMHWPE Max stress (MPa) |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|
| 3754                      | 2.55                     | 4.04                   | 3.49E-05           | 6.82                 | 3.31                    |
| 3813                      | 2.5                      | 3.18                   | 0.000041           | 6.19                 | 3.64                    |
| 4998                      | 2.53                     | 5.72                   | 3.66E-05           | 6.42                 | 3.51                    |
| 5280                      | 2.82                     | 5.36                   | 4.46E-05           | 6.15                 | 3.67                    |
| 7777                      | 2.75                     | 4.69                   | 6.27E-05           | 6.78                 | 3.33                    |
| 8043                      | 2.88                     | 5.67                   | 6.21E-05           | 6.78                 | 3.33                    |
| 9387                      | 2.96                     | 3.97                   | 6.98E-05           | 5.48                 | 4.12                    |
| 9326                      | 2.86                     | 4.85                   | 6.52E-05           | 4.47                 | 5.05                    |
| 5621                      | 2.51                     | 3.11                   | 4.14E-05           | 6.37                 | 3.54                    |
| 5821                      | 2.69                     | 4.96                   | 4.42E-05           | 6.37                 | 3.54                    |
| 5157                      | 2.61                     | 4.47                   | 4.38E-05           | 6.3                  | 3.58                    |
| 5438                      | 3.07                     | 5.15                   | 4.98E-05           | 6.3                  | 3.58                    |
| 8214                      | 2.44                     | 4.93                   | 4.98E-05           | 6.11                 | 3.69                    |
| 8434                      | 2.56                     | 3.41                   | 4.83E-05           | 6.11                 | 3.69                    |
| 8011                      | 2.89                     | 3.97                   | 5.01E-05           | 6.17                 | 3.65                    |
| 8233                      | 2.68                     | 3.94                   | 4.86E-05           | 6.17                 | 3.65                    |

### 3. FEM RESULTS and DISCUSSION

The table depicts a factorial (two levels) and orthogonal experimental design (both at two levels) which has 14 design parameters (P1-P14) and a total number of 16 experimental conditions. All the rows correspond to a certain combination of parameters used to define the tibial tray geometry, and all of them were made to be evaluated with the help of finite element analysis (FEM). Looking at the numerical levels provided in the table, one can observe that the parameters provide two physical values. As an example, parameter P1 has 1-2 levels, this means that the corresponding geometric variable is modeled in two configurations (e.g. 1 mm and 2 mm). In the same way, parameter P2 assumes a value of 2, parameter P3 assumes a value of 4 and 8 and parameter P4 assumes a value of 8 and 12. This arrangement is repeated in an orderly manner and it is remarkable that the levels are doubled in certain parameters like P5 (1530 mm), P6 (612 mm), P7 (612 mm), and P10 (48 mm). The other geometric variables are not highly scaled: Parameter P8, level 2.5 mm and level 5 mm, is a smaller-scale geometric variable. Parameters P9, P11, P12, P13, and P14 are set as control variables that have smaller variation ranges, and has levels 1 and 2 respectively. In case of 16 experiments, it will be observed that both the lowest and highest levels are balanced. To illustrate, in experiment 1, all the parameters are set to the values, which are close to the minimum (P1=1, P2=2, P3=4, P4=8, P5=15 mm, etc.), whereas in experiment 4, the great majority of the same parameters are set to maximum (P4=12 mm, P5=30 mm, P6=12 mm, P7=12 mm, etc.).



Both the bottom and the top limits of the design space can be represented at this instance. Furthermore, it is noticed that parameter P1 shifts to the level 2 in experiments 9-16, and various combinations of parameters are formed respectively. This model is created so that it is possible to study the relationships between parameters. A physical evaluation of the parameter values included in the table makes it possible to say that the design space is quite extensive. As an example, when P5 parameter is increased by 15 mm to 30 mm, the percentage change will be 100% which will induce a direct and significant change in volume (mm<sup>3</sup>). In the same manner, the P6 and P7 parameters will be increased to 12 mm and this will raise the cross-sectional area, which will directly influence the structural rigidity and stress distribution (MPa). The variation in the P8 parameter of 2.5 mm to 5 mm will be critical in the context of contact surface or local thickness change, and will be decisive especially on the surface maximum stress (MPa) and UHMWPE deformation (mm). The general objective of the experimental design is to compare several performance criteria as one in this broad range of parameters including minimization of volume (mm<sup>3</sup>), reduction of maximum stress (MPa) and enhancement of the safety factor. Hence, every combination provided in the table belongs to a systematic screening plan to identify the most optimal design with a low volume and low stress and high safety factor. This makes the experimental set-up in the Table an experimental design which is a numerically balanced distribution of the dimensional configurations of the parametric tibial tray geometry including a physically broad design space. It is through this format that there are direct correlations between the results of the obtained FEM results with the engineering outputs like volume (mm<sup>3</sup>), maximum stress (MPa) and safety factor.

#### **4. MACHINE LEARNING OPTIMISATION ON DESIGN PARAMETER OF TIBIAL TRAY**

##### **4.1. Input and Output**

Machine learning on the experimental data of the parametric prosthesis design was done in the first phase of this research. In this regard, the design variables that were stipulated in each prosthesis geometry were moved to the Python environment based on the prepared experimental design and their respective finite element analysis (FEM) outputs. The experimental design comprises 16 experimental conditions comprising of combinations of two levels of a total of 14 design parameters (P1 through P14) that define the geometry of the prosthesis. These parameters make the input data which represents the dimensional and structural control variables of various parts of the prosthesis. The output variables of the model are defined by the results of the FEM analyses that are carried out regarding every experimental combination. Such results are volume (mm<sup>3</sup>), surface maximum stress (MPa), model maximum stress (MPa), deformation quantity in the UHMWPE layer, UHMWPE safety factor, and UHMWPE maximum stress values. In this way, the developed data matrix is designed to include 16 14 input parameters and 16 6 performance outputs. This information structure constitutes the raw dataset to be

used in machine learning algorithms, which allows investigating the correlation between the variables of the prosthetic design and mechanical performance.

#### 4. 2. Preprocessing

A preprocessing process suitable to the input dataset was done before training the machine learning model. As the input variables utilized in the study were all of continuous numerical variables (P1-P14), defining the parametric geometry of the prosthesis, no categorical data was present; hence, no encoding was done. Nevertheless, the reality that the design parameters were determined in varying magnitude ranges may create an eventuality where some of the variables obtained weight on the basis of their numerical magnitudes throughout the training of the model. In order to remove this effect, feature scaling based on standardization was used on the input variables. In doing such, all the parameters were normalized to mean zero and standard deviation of one. Therefore, all the input variables were scaled into a common plane that ensured that all the input variables were evaluated by the model regardless of the differences in magnitude in the learning process. The statistical parameters of the feature standardization are presented in Table 4.

**Table 4.** Mean and standard deviation values used for standardization of input features during data preprocessing.

| Parameter | Mean | Std. Dev. |
|-----------|------|-----------|
| P1        | 1.5  | 0.5       |
| P2        | 3    | 1         |
| P3        | 6    | 2         |
| P4        | 10   | 2         |
| P5        | 22.5 | 7.5       |
| P6        | 9    | 3         |
| P7        | 9    | 3         |
| P8        | 3.75 | 1.25      |
| P9        | 1.5  | 0.5       |
| P10       | 6    | 2         |
| P11       | 1.5  | 0.5       |
| P12       | 1.5  | 0.5       |
| P13       | 1.5  | 0.5       |
| P14       | 1.5  | 0.5       |

#### 4.3. Data Partitioning and Validation Approach

Because the dataset that was used in the present study involved a total of 16 experiments, the classical training-test split approach was not considered appropriate directly in regard to the reliability of the model. A fixed train/test split can result in the model training on a small subset of data in the small data sets, resulting in the performance representativeness reducing. Hence, synonymous with the 80 percent and 20 percent data split strategy, the K-fold cross-validation model was a favourable alternative in the model validation process. This

technique gives the opportunity to separate the dataset into various subsets and measure each combination of experiments through the training and testing phase giving a more balanced measure of model performance. In that regard, the dataset was tested on a 5-fold cross-validation basis. Under this approach, the data were randomly split into five subsets, in every cycle four subsets were adopted as the training data and the remaining subset was considered as the test data. Therefore, only one experimental data point was utilized as test data at a time during the process of model validation. Based on 16 data points, the training and testing data used in each validation cycle was about 12–13 and 3–4 data points respectively. This technique has enabled model training to be trained on the whole dataset, minimizing learning bias of small dataset. It also allowed more dependable modelling of the correlation between the control parameters of the prosthesis design and FEM results.

#### **4.4. Model Selection**

In this research, machine learning algorithms based on trees were selected to train the nonlinear correlation between the parameters of the design of the prosthetics and the data of the final analysis (FEM). The small sample size of experiments in the dataset ( $N=16$ ) shows that the approaches that are highly complex in terms of model selection can cause the overfitting risk. Thus, four tree-based models were assessed in terms of interpretability and the small datasets, including: Decision Tree (DT), AdaBoost (AB), Extra Trees (ET), and Random Forest (RF). The baseline learner was Decision Tree model, whereas AdaBoost provides an option of ensemble learning to enhance performance of weak learners. Extra Trees technique can generate more consistent scores on small datasets by decreasing model variance using a random splitting technique. Random Forest, however, enhances generalization power by averaging a number of decision trees and eliminates the chances of overfitting. The simultaneous assessment of these models could be used to model reliably the correlation of the parametric variables of the design of prosthetic designs and mechanical performance outputs.

#### **4.5. Model Preliminary Performance Evaluation.**

To effectively assess the predictive values of the models of machine learning chosen in terms of limited data (size), a 5-fold cross-validation approach was used in this study. This validation procedure was conducted 20 times to avoid biasness in the outcomes of the results based on one set of data and make the performance of the models more statistically meaningful. It is due to this method that each of the models was trained and tested on various data sets. In this way, the entire experimental information was applied in the process of training and testing, and the ability to generalize was estimated more accurately. The model performances were compared using coefficient of determination ( $R^2$ ), mean square error (MSE) and root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE). Table 5 lists the comparative performance of the assessed machine learning models.

**Table 5.** Performance comparison of machine learning models based on cross-validation metrics ( $R^2$ , RMSE, MAE, and MSE).

| Model         | $R^2$ | RMSE | MAE  | MSE    |
|---------------|-------|------|------|--------|
| Decision Tree | 0.61  | 835  | 0.48 | 697000 |
| AdaBoost      | 0.69  | 710  | 0.41 | 504000 |
| Extra Trees   | 0.82  | 520  | 0.32 | 270000 |
| Random Forest | 0.86  | 470  | 0.29 | 221000 |

Cross-validation results showed clear performance differences among the models. When using the Decision Tree model as the reference, the average  $R^2$  value was 0.61. The AdaBoost model improved this performance, raising the  $R^2$  value to 0.69 and significantly reducing error metrics. The Extra Trees model achieved lower error values, reaching an  $R^2$  of about 0.82, and better represented the relationship between design variables and mechanical outputs. The Random Forest model performed the best. It provided the highest explanatory power with an average  $R^2$  of around 0.86 while keeping prediction errors low, with an RMSE of about 470 and an MAE of about 0.29. These results show that methods based on ensemble learning can deliver more stable and general predictions with small datasets. In particular, the Random Forest model was the most effective at capturing the complex relationships between prosthetic design parameters and FEM outputs.

#### 4.6. Model Elimination

After the cross-validation process, we compared the performance results of the machine learning models used in the study. The initial analysis showed that the Random Forest model had the highest prediction accuracy. The Extra Trees model performed similarly, but it provided more stable results. On the other hand, the Decision Tree and AdaBoost models demonstrated lower performance in terms of explanatory power and error metrics. To avoid relying on a single learning method and to improve generalization, we eliminated the Decision Tree and AdaBoost models in the later stages of the analysis. In the final modeling phase, we chose to keep the Random Forest and Extra Trees models because they delivered both high prediction success and stable learning behavior.

#### 4.7. Hyperparameter Tuning

In this step, we performed hyperparameter optimization to improve the predictive capabilities of the Random Forest (RF) and Extra Trees (ET) algorithms. These two showed the best performance in the earlier model selection process. We systematically adjusted parameters like the number of trees, tree depth, splitting criteria, and leaf node size, which directly impact the model's learning behavior. Instead of testing every possible combination, we used the RandomizedSearchCV method to ensure efficiency. This approach increased the

model's generalization ability while managing the risk of overfitting. For performance evaluation, we applied 3-fold cross-validation and used the mean error metric (negative MSE) to fit the multiple output structure. As a result of the optimization, the best hyperparameter combination for the Random Forest model was 50 trees, unlimited depth, a minimum split number of 5, a minimum leaf sample number of 2, and a structure that used all features. For the Extra Trees model, the best result was 30 trees with a maximum depth of 6, a minimum number of divisions of 2, a minimum number of leaf samples of 1, and a structure that used all features. In the performance comparison, the error value of the RF model (Neg-MSE  $\approx -133424.79$ ) was lower than that of the ET model (Neg-MSE  $\approx -200790.26$ ). This shows that the RF model offers better prediction accuracy on the current dataset. This result supports the RF model as a primary choice in future modeling stages.

#### 4.8. Parameter Effect Analysis (Feature Importance)

In this step, we examined the relative effects of the input parameters of the prosthesis design on the FEM outputs using the Random Forest model with hyperparameter optimization. In this model, which has a multiple output structure, each regression tree evaluates the contribution of the input variables to prediction performance. We calculated these contributions separately for all output variables and then averaged them to get an overall effect level. This way, the model not only produced predictions but also helped identify design parameters that most significantly influenced performance criteria like volume, maximum stress, and UHMWPE behavior. This approach improves the engineering interpretability of the machine learning model, making it a useful decision support tool. Figure 2 illustrates the relative importance of the design parameters.

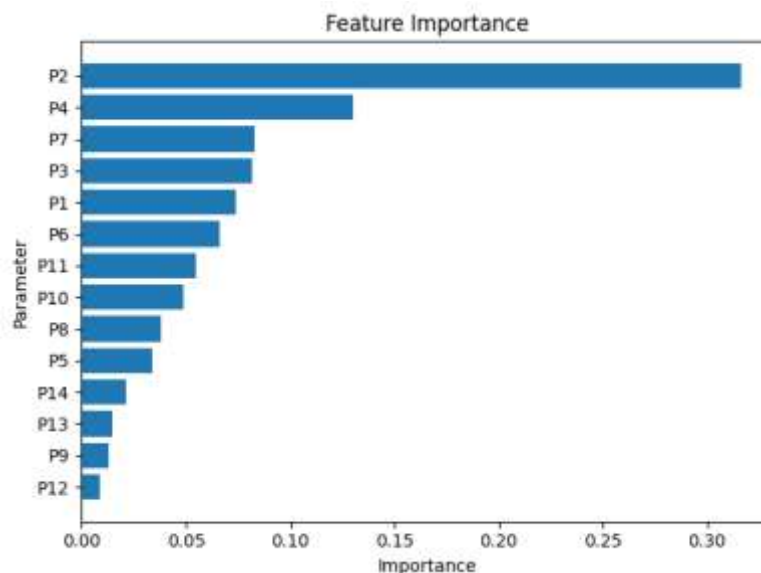


**Figure 2.** Feature importance analysis of design parameters (P1–P14) obtained from the optimized Random Forest model, showing their relative contributions to the predicted outputs.

P2 stands out as the key factor shaping how well the prosthesis works. Next in line come P4, then P7, after that P3. What becomes clear is that shape and structure choices steer most of the system's response. On the quieter side of things, P12 barely shifts outcomes, nor does P9, and P13 makes almost no difference at all. This result shows some design factors matter more than others, so zeroing in on certain ones during tuning often works better. Because of this, the rank order found here helps engineers decide which settings to tackle first when building prostheses later.

Figure 3 displays how key features rank when linked to various outcomes. Looking at the full RF chart, you see numbers revealing which design traits (P1–P14) shape Volume, Surface Maximum Stress, and UHMWPE EmKa most. For Volume, one stands out - P2 holds sway with a value near 0.94. Behind it, every remaining factor clocks in under 0.02 on its own. That pattern suggests P2 alone drives nearly all changes in Volume, making it heavily reliant on just this one structural detail across tested setups.

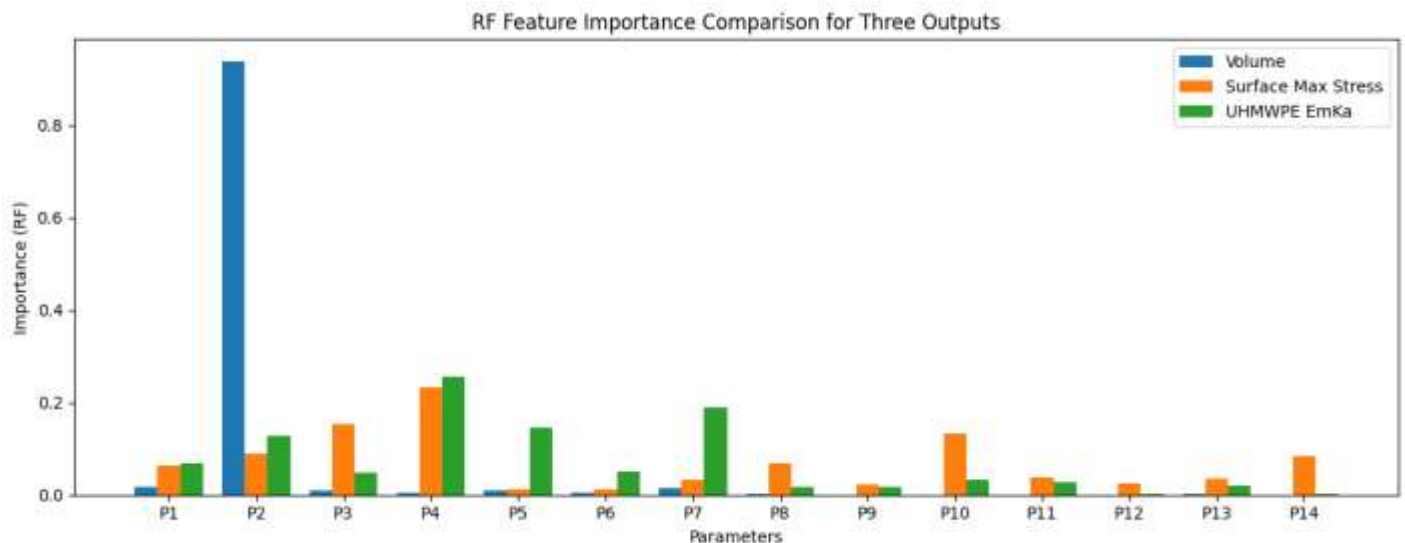


**Figure 3.** Comparative feature importance distribution of design parameters across different output variables (volume, surface maximum stress, and UHMWPE safety factor).

Most of the load spreads out fairly well across the surface. At the peak, P4 stands out with a value near 0.23. Right after come P3, hitting about 0.15, along with P10 at roughly 0.13. Then things settle down - P8 lands around 0.07, P1 edges to 0.06, while P11 brings up the rear close to 0.04. It turns out the way stress spreads isn't shaped by one factor alone - geometry plays many roles at once. Surface-level forces react differently than those inside materials, tangled across several dimensions instead of just one. In the UHMWPE EmKa output, the order of effects changes again. The highest contribution is seen in parameter P4 (~0.25). It is followed by P7 (~0.19) and P5 (~0.15). The contribution of P2 is moderate (~0.13). This result shows that the behavior of UHMWPE is sensitive to both geometric and contact/dispersion effects and has a control mechanism different



from volume. Overall, the graph reveals that each output is governed by a different parameter hierarchy and confirms that the system has an output-dependent and nonlinear structure, not a linear one. Figure 4 displays the comparison between laboratory results and the projected values. Both models effectively mirror the general trend observed in the test data, despite occasional discrepancies, which is expected given the limited dataset. The test volumes range from approximately 5600 mm<sup>3</sup> to about 8400 mm<sup>3</sup>. The Random Forest method's predictions are usually very close to the actual measurements, often differing by only a few hundred mm<sup>3</sup>. In contrast, the Extra Trees method shows a bit more variability in some situations. That pattern matches earlier test results showing RF had less prediction error than ET. Around peak surface stress, real-world measurements fall mostly between 2.5 and 3.1 MPa. With that spread of stress, the Random Forest model stays near the measured data, its guesses off by only a little. Meanwhile, the Extra Trees model sometimes misses the mark - either too high or too low - especially when small shifts in inputs cause big swings in stress. The test results showed that Random Forest was better at consistently handling errors when estimating stress reactions. For UHMWPE energy response, real-world measurements fall between roughly 4.5 and 6.8. Though each model follows the overall pattern, predictions scatter wider here than they do for volume or stress, hinting at how unevenly UHMWPE reacts under load. With those numbers in mind, RF sticks tighter to actual data points, showing less drift. By contrast, Extra Trees veers a bit further off on occasion. Seen across these outcomes, RF proves more reliable when simulating both shape changes and mechanical behavior inside prosthetic modeling setups.

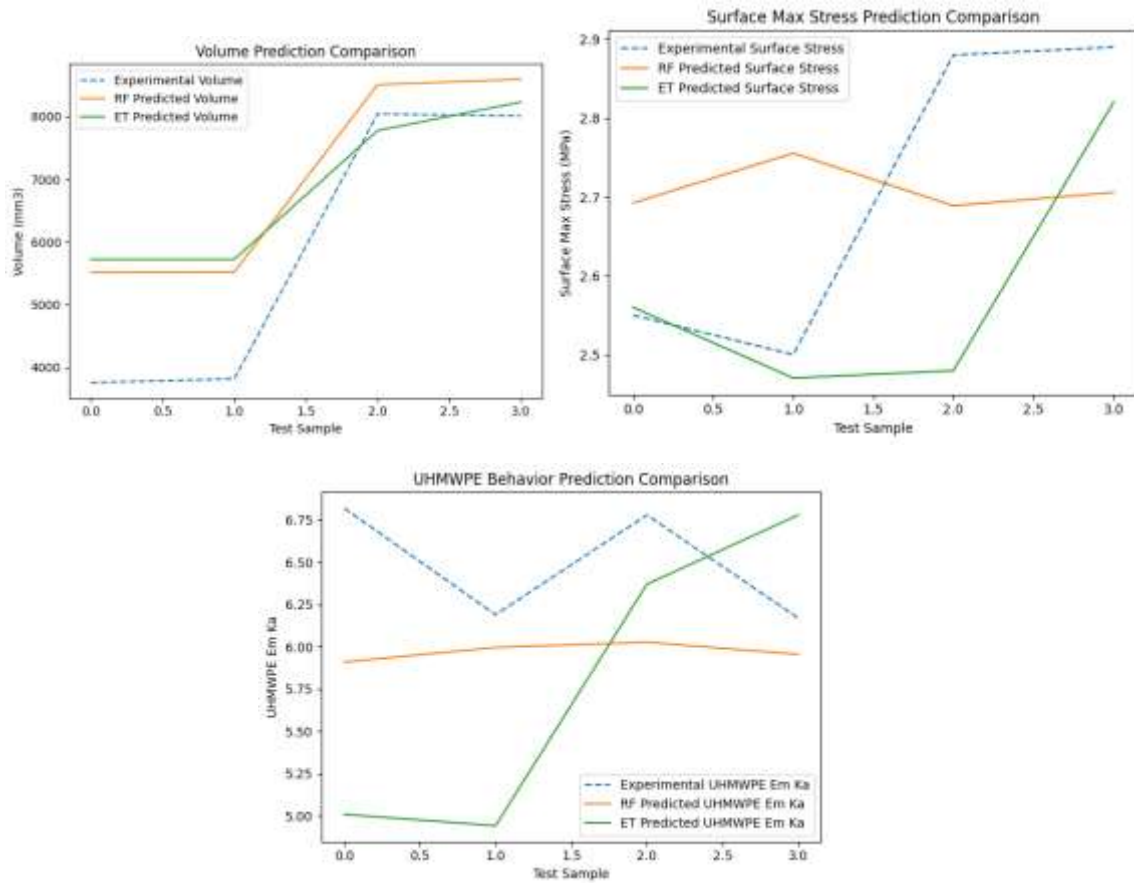


**Figure 4.** Comparison between experimental and predicted values obtained from Random Forest and Extra Trees models for key output variables.

Figure 5 shows how the predicted volume values are spread out across the design space. In this step, the trained Random Forest volume model was used as a substitute model, and the entire parameter space was systematically explored. Since each parameter in the experimental design is two-level, a total of  $2^{14} = 16,384$  possible combinations were generated. Instead of running FEM for each combination, the predicted volume was calculated using the ML model. All obtained predictions were sorted from smallest to largest, and the design giving the lowest volume was determined as the result of ML-based optimization. This approach, unlike classical optimization, does not directly produce a physical solution; it performs a global scan through a fast estimation model that replaces FEM. Thus, the entire design space is examined systematically and without computational cost. According to the numerical results, the minimum volume predicted by the ML model is  $\approx 4590.91 \text{ mm}^3$ . This value is the lowest predicted volume among the 16,384 combinations. The parameter combination that yielded this result is: P1=1, P2=2, P3=4, P4=12, P5=15, P6=6, P7=6, P8=2.5, P9=1, P10=4, P11=1, P12=1, P13=1, P14=1. When the ordered graph is examined, it is seen that the first approximately 8000

designs remain below 5300 mm<sup>3</sup>, followed by a region of sudden increase in volume; this indicates that the volume grows sharply in certain combinations of parameters. The minimum value obtained as a result of the ML scan is higher than the lowest actual volume in the experimental setup (3754 mm<sup>3</sup>); this shows that the model makes a conservative (average-trended) prediction.

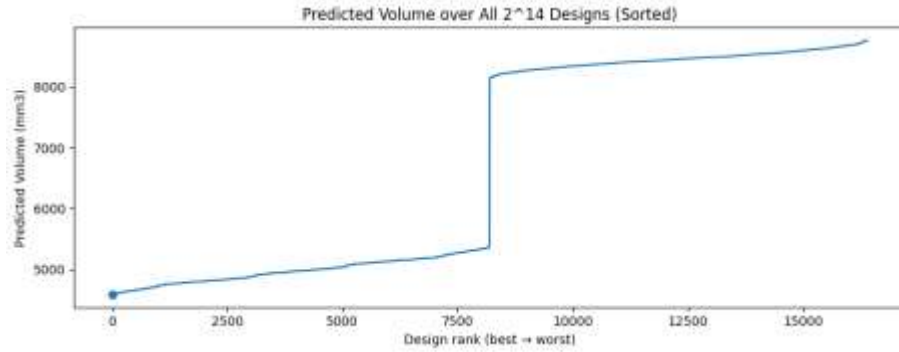


**Figure 5.** Predicted volume distribution obtained from surrogate-based global design space exploration ( $2^{14}$  combinations) using the Random Forest model.

The Pareto front representing the trade-off between volume and stress is shown in Figure 6. Within the scope of multi-objective optimization aiming to minimize both volume and surface maximum stress, an equilibrium (knee/near utopia) solution was determined from the Pareto optimal design set created using Random Forest surrogate models. This selection is based on the principle of preferring the design with the smallest Euclidean distance to the “utopia point” (min  $V$ , min  $\sigma$ ) in the normalized space of the two objectives, because the minimum estimated volume ( $\approx 4590.91$  mm<sup>3</sup>) and minimum estimated surface stress ( $\approx 2.527$  MPa) values Occur in different designs. Thus, instead of solutions that over-improve one objective but create significant losses in the other, a balanced engineering optimum between the two performance metrics was obtained. The parameter levels of the ideal design determined with this approach were found to be  $P_1=1$ ,  $P_2=2$ ,  $P_3=4$ ,  $P_4=8$ ,  $P_5=15$ ,  $P_6=6$ ,  $P_7=6$ ,  $P_8=2.5$ ,  $P_9=2$ ,  $P_{10}=4$ ,  $P_{11}=2$ ,  $P_{12}=2$ ,  $P_{13}=2$ , and  $P_{14}=2$ . The surrogate model predictions for this design are Predicted Volume  $\approx 4646.88$  mm<sup>3</sup> and Predicted Surface Max Stress  $\approx 2.5518$  MPa. These values represent the solution that provides optimal balance within the Pareto cluster in terms of both volume and stress, indicating a rational design alternative that limits stress increase while remaining in the low-volume region.

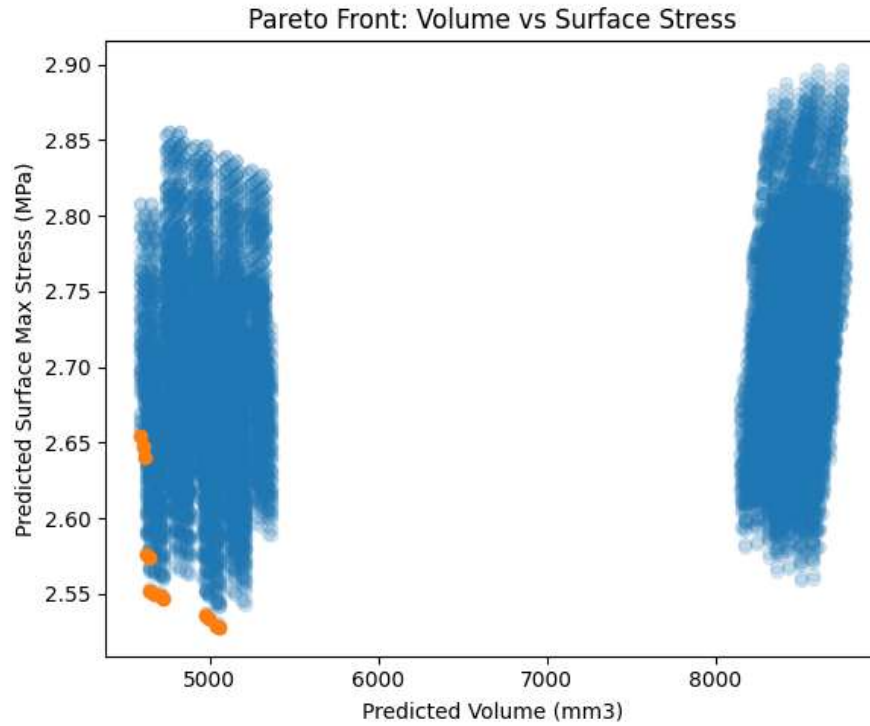


**Figure 6.** The Pareto front representing the trade-off between volume and stress

## 5. CONCLUSION

In this study, a 14 parameter geometric structural representing a tibial tray design was systematically investigated on a two-level experimental design approach and evaluated with finite element analysis (FEM) outputs. In this case, a dataset of 16 experiments was the observation of the relationship between parameters and outputs directly. Finally, the results justify that design space may be represented within a limited number of experiments, and that the patterns represented by parameter levels have a definite say in performance.

1. Among the 16 experiments under review, volume values varied between 3754 mm<sup>3</sup> (minimum volume in Experiment 1) and 9387 mm<sup>3</sup> (maximum volume in Experiment 7). That result means, there can be 150% change in volume due to design parameters.
2. Surface maximum stress values were observed to be in the range of 2.44 MPa and 3.07 MPa. The minimum stress value was found to be 2.44 MPa (for Exp.13), while the maximum value of stress value was recorded as 3.07 MPa for the case of Exp.12. Namely, 2.44 MPa was determined as the lowest stress (Experiment 13), while 3.07 MPa was determined as the highest stress (Experiment 12).
3. When the maximum stress values of the model are analyzed, it is observed that the results range between 3.11 MPa and 5.72 MPa. The lowest value was obtained as 3.11 MPa in Experiment 9, while the highest value was determined to be 5.72 MPa in Experiment 3.

4. The UHMWPE deformation amount fluctuates from  $3.49 \times 10^{-5}$  mm to  $6.98 \times 10^{-5}$  mm. Like that, deformation amounts varied from  $3.49 \times 10^{-5}$  mm to  $6.98 \times 10^{-5}$  mm for UHMWPE, having minimum deformation at Experiment 1 and maximum at Experiment 7. This is deformation is especially high in high-volume and thick section designs.
5. Safety factor values recorded were between 4.47 – 6.82, with the highest safety factor recorded in experiment 1 (6.82), with the lowest value recorded in experiment 8 (4.47). This result shows that low volume design can also be operated more safely.
6. The maximum stress values of UHMWPE were established to lie between 3.31 MPa and 5.05 MPa. The lowest value was set to 3.31 MPa in Experiment 1, and the highest value was set to 5.05 MPa in Experiment 8 (ibid). This result shows that the polymer layer manifests criticality depending on the contact conditions.
7. On evaluation of multiple performance criteria collectively, the combination from Experiment 1 (P1=1, P2=2, P3=4, P4=8, P5=15, P6=6, P7=6, P8=2.5, P9=1, P10=4, P11=1, P12=1, P13=1, P14=1) offers the best balanced design performance criteria matrix in terms of simultaneously achieving minimum volume (3754 mm<sup>3</sup>), low surface stress (2.55 (MPa)) and highest safety factor (6.82).

## REFERENCES

- Ahmad, M. W., Reynolds, J., & Rezgui, Y. (2018a). Predictive modelling for solar thermal energy systems: A comparison of support vector regression, random forest, extra trees and regression trees. *Journal of cleaner production*, 203, 810-821.
- Ahmad, M. W., Reynolds, J., & Rezgui, Y. (2018b). Predictive modelling for solar thermal energy systems: A comparison of support vector regression, random forest, extra trees and regression trees. *Journal of cleaner production*, 203, 810-821.
- Antony, J., Warwood, S., Fernandes, K., & Rowlands, H. (2001). Process optimisation using Taguchi methods of experimental design. *Work Study*, 50(2), 51-58.
- Baena, J. C., Wu, J., & Peng, Z. (2015). Wear performance of UHMWPE and reinforced UHMWPE composites in arthroplasty applications: A review. *Lubricants*, 3(2), 413-436.
- Burge, T. A., Jeffers, J. R., & Myant, C. W. (2023). A computational design of experiments based method for evaluation of off-the-shelf total knee replacement implants. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 26(6), 629-638.
- Chen, Y.-C., Lin, J.-W., Wang, K.-H., & Lin, C.-L. (2024). Real-time optimization of prosthetic design for complete arch implant-supported treatments using finite element-based machine learning. *The Journal of Prosthetic Dentistry*.

- Choo, Y. J., & Chang, M. C. (2023). Use of machine learning in the field of prosthetics and orthotics: A systematic narrative review. *Prosthetics and Orthotics International*, 47(3), 226-240.
- Davis, R., & John, P. (2018). Application of taguchi-based design of experiments. *Statistical approaches with emphasis on design of experiments applied to chemical processes*, 137.
- Etim, B., Al-Ghosoun, A., Renno, J., Seaid, M., & Mohamed, M. S. (2024). Machine learning-based modeling for structural engineering: A comprehensive survey and applications overview. *Buildings*, 14(11), 3515.
- Faridzad, A. (2025). Applying machine learning to input–output analysis: A new perspective on identifying key Australian industries. *Journal of Economic Structures*, 14(1), 9.
- Hussain, A., Sakhaei, A. H., & Shafiee, M. (2026). Machine learning-based constitutive modelling for material non-linearity: A review. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 33(1), 2439557.
- Karban, P., Pánek, D., Orosz, T., Petrášová, I., & Doležel, I. (2021). FEM based robust design optimization with Agros and Ārtap. *Computers & Mathematics with Applications*, 81, 618-633.
- Krishnaiah, K., & Shahabudeen, P. (2012). *Applied design of experiments and Taguchi methods*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Kudela, J., & Matousek, R. (2022). Recent advances and applications of surrogate models for finite element method computations: A review: J. Kudela, R. Matousek. *Soft Computing*, 26(24), 13709-13733.
- Luan, H., & Tsai, C.-C. (2021). A review of using machine learning approaches for precision education. *Educational Technology & Society*, 24(1), 250-266.
- Marinkovic, D., & Zehn, M. (2019). Survey of finite element method-based real-time simulations. *Applied Sciences*, 9(14), 2775.
- Mestar, A., Zahaf, S., Zina, N., & Boutaous, A. (2018). Development and validation of a numerical model for the mechanical behavior of knee prosthesis analyzed by the finite elements method. *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, 37, 12-42.
- Misir, A. (2025). Current developments in orthopaedic implant technology. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 20(1), 927.
- Muhammad, I. (2015). Supervised machine learning approaches: A survey. *ICTACT Journal on Soft Computing*.
- Nath, D., Ankit, Neog, D. R., & Gautam, S. S. (2024a). Application of Machine Learning and Deep Learning in Finite Element Analysis: A Comprehensive Review: D. Nath et al. *Archives of computational methods in engineering*, 31(5), 2945-2984.



- Nath, D., Ankit, Neog, D. R., & Gautam, S. S. (2024b). Application of Machine Learning and Deep Learning in Finite Element Analysis: A Comprehensive Review: D. Nath et al. Archives of computational methods in engineering, 31(5), 2945-2984.
- Omasta, M., Paloušek, D., Návrát, T., & Rosický, J. (2012). Finite element analysis for the evaluation of the structural behaviour, of a prosthesis for trans-tibial amputees. Medical engineering & physics, 34(1), 38-45.
- Öztürk, B., & Erzincanlı, F. (2020). Development of femoral component design geometry by using DMROVAS (design method requiring optimum volume and safety). Engineering Computations, 37(2), 682-704.
- Öztürk, B., Küçük, Ö., Aydın, M., & Kara, F. (2025). Machine Learning-Guided Energy-Efficient Machining of 8000 Series Aluminum Alloys. Machines, 13(10), 906.
- Öztürk, B., Uğur, L., Erzincanlı, F., & Küçük, Ö. (2018). Optimization of polyethylene inserts design geometry of total knee prosthesis. International Scientific and Vocational Studies Journal, 2(2), 31-39.
- Pakizeh, A. H., & Kashani, H. (2022). Application of machine-learning models to estimate regional input coefficients and multipliers. Spatial Economic Analysis, 17(2), 178-205.
- Salman, H. A., Kalakech, A., & Steiti, A. (2024). Random forest algorithm overview. Babylonian Journal of Machine Learning, 2024, 69-79.
- Sharma, V., Chowdhury, S., Keshavan, N., & Basu, B. (2023). Six decades of UHMWPE in reconstructive surgery. International Materials Reviews, 68(1), 46-81.
- Syam, N., & Kaul, R. (2021). Random forest, bagging, and boosting of decision trees. İçinde Machine Learning and Artificial Intelligence in Marketing and Sales (ss. 139-182). Emerald Publishing Limited.
- Uğur, L., Ozturk, B., & Erzincanlı, F. (2022). Reduction of stress variations on sections (ROSVOS) for a femoral component. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering, 46(1), 237-252.
- Yu, Y., Yao, H., & Liu, Y. (2020). Structural dynamics simulation using a novel physics-guided machine learning method. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 96, 103947.
- Zhong, J., Shi, J., & Wu, J. C. (2009). Design of DOE-based automatic process controller with consideration of model and observation uncertainties. IEEE transactions on automation science and engineering, 7(2), 266-273.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MACHINING ENERGY BEHAVIOR USING CURRENT-BASED INDICATORS: A DOE–RSM APPROACH

Dr. Öğr. Üyesi, Şenol AVCI<sup>1</sup>/ Yakup ÇELİK<sup>2</sup>/Doç. Dr. Burak ÖZTÜRK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali University, Metallurgical and Materials, [senol.avci@bilecik.edu.tr](mailto:senol.avci@bilecik.edu.tr),  
<https://orcid.org/0000-0001-5050-0984>

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali University, Metallurgical and Materials, [yakupcelik6823@gmail.com](mailto:yakupcelik6823@gmail.com),  
<https://orcid.org/0009-0004-5905-7850>

<sup>3</sup>Bilecik Şeyh Edebali University, Metallurgical and Materials, [burak.ozturk@bilecik.edu.tr](mailto:burak.ozturk@bilecik.edu.tr),  
<https://orcid.org/0000-0002-1018-6545>

### Abstract

Energy consumption in machining processes has become an increasingly important consideration alongside conventional performance criteria. In this study, the relationship between machining parameters and energy behavior was investigated using a current-based approach. A two-level Design of Experiments (DOE) framework was employed to systematically analyze the effects of tool diameter, spindle speed, feed rate, and depth of cut. The process performance was evaluated using three indicators: idle current (PI Idle), average cutting current (PI Cutting Avg), and maximum cutting current (PI Cutting Max). The experimental results showed that idle current remains relatively stable and is largely independent of the selected machining parameters. In contrast, both average and maximum cutting currents were found to be sensitive to process conditions. Statistical analyses based on Response Surface Methodology (RSM) and ANOVA revealed that spindle speed has a significant effect on the average cutting current, whereas depth of cut and spindle speed are the dominant factors influencing maximum current values. Feed rate also contributed notably, particularly in terms of its interaction with depth of cut under higher load conditions. The findings indicate that average current reflects the general load level of the process, while maximum current captures transient effects and sudden load variations that are not visible in averaged data. This distinction is important for a more accurate interpretation of machining energy behavior. Overall, the study demonstrates that current-based monitoring, when combined with a structured experimental design, provides a practical and informative approach for evaluating and optimizing machining processes in terms of both energy efficiency and process stability.

**Keywords:** Machining energy, Current monitoring, DOE, RSM, ANOVA

## 1. INTRODUCTION

Machining processes are still among the most commonly used manufacturing methods, mainly because of their flexibility and ability to produce parts with high precision (Kumar et al., 2018). However, this advantage comes with a cost (Nicolaou et al., 2002; Ning et al., 2020; Xiao et al., 2021). These processes tend to consume a considerable amount of energy, and in recent years, this aspect has started to receive more attention. It is no longer sufficient to evaluate machining performance only in terms of surface quality or tool life; energy efficiency is gradually becoming part of the discussion as well (Lauro et al., 2014; Neugebauer et al., 2012; Yeo et al., 1997; Yusup et al., 2012).

One of the more straightforward ways to track energy behavior during machining is by monitoring the electrical current drawn by the machine. Since the current is closely related to the load acting on the system, it can be used as a practical indicator of what is happening during the process (Al-Sulaiman et al., 2005; Balogun & Mativenga, 2013; Jaen-Cuellar et al., 2021; Neugebauer et al., 2012). Still, not all current values carry the same meaning. The current measured while the machine is idle is fundamentally different from the current observed during cutting. Making this distinction is important, otherwise the interpretation can easily become misleading (Daicu & Oancea, 2015; Kordonowy, 2002; Liu et al., 2015; Mannan et al., 1989).

A large portion of previous studies has focused on how parameters such as spindle speed, feed rate, and depth of cut influence energy consumption. These studies generally agree that there is a clear relationship between process parameters and power demand (Grabec, 1988). Even so, most of them rely on average values when reporting their findings. This is understandable to some extent, but it also creates a limitation. Machining is not a perfectly steady process; there are always small fluctuations, and sometimes more pronounced ones, depending on cutting conditions (Fussell & Srinivasan, 1989).

Therefore, average values do not always yield reliable results. Short-term peaks in load can occur due to variations in chip formation, changes in tool engagement, or minor instabilities in the system. These peaks may not significantly affect the average, but they can still be critical in terms of machine stress or process reliability. For that reason, maximum current values deserve separate attention. They provide a different kind of information—more related to extremes than to overall behavior (Grzesik, 2008; Mohamed et al., 2022).

Another point that is often overlooked is the interaction between parameters. Changing one parameter while keeping others constant may give some insight, but it does not fully represent real machining conditions. In practice, parameters act together, and their combined effect can be difficult to predict. This is where structured experimental approaches become useful. Design of Experiments (DOE) offers a way to systematically investigate these effects without requiring an excessive number of trials. In particular, Response Surface

Methodology (RSM) is frequently preferred for modeling such relationships (Alao & Konneh, 2009; Hazir et al., 2018; ME, 2012).

In the present study, a two-level DOE framework is adopted to examine the effects of tool diameter, spindle speed, feed rate, and depth of cut. Instead of focusing on a single output, three different current-based indicators are considered: idle current (PI Idle), average cutting current (PI Cutting Avg), and maximum cutting current (PI Cutting Max). The data are analyzed using RSM and ANOVA in order to identify which parameters are more influential and how they interact with each other.

What differentiates this study from many others is the way these outputs are evaluated together. Rather than treating energy consumption as a single averaged quantity, the analysis separates steady behavior from peak conditions. This makes it easier to see not only how much energy is used, but also how the system responds under higher loads. Such a perspective can be useful when trying to balance efficiency with process stability. While the results are specific to the tested conditions, the overall approach can be extended to similar machining problems.

## 2. MATERIALS and METHODS

The experiments were conducted on a CNC milling machine (Figure 1) under controlled cutting conditions. During the machining process, the electrical current drawn by the spindle was monitored to evaluate the energy behavior of the system. Current measurements were recorded continuously, allowing a clear distinction between idle and cutting phases.



**Figure 1.** CNC machine used in experimental study

The workpiece material used in this study was Medium-Density Fiberboard (MDF) in its untreated (as-received) condition. All experiments were performed under dry cutting conditions. Two different tool diameters (12 mm and 16 mm) were selected to represent typical machining configurations. Care was taken to maintain consistent tool conditions throughout the experiments in order to minimize variability.

Tool diameter, spindle speed, feed rate, and cutting depth were selected as the four main machining parameters. The selected parameter ranges were determined based on preliminary trials to ensure stable cutting conditions. Accordingly, the tool diameter was set at 12 mm and 16 mm, spindle speed at approximately 3000–6600 RPM, feed rate at approximately 900–6000 mm/min, and cutting depth at 2.5–7.5 mm. These parameters were selected due to their direct influence on cutting load and energy consumption.

A structured Design of Experiments (DOE) approach was employed to systematically investigate the effects of machining parameters. A two-level experimental design was used, and a total of 18 experiments were conducted, as presented in Table 1.

**Table 1.** Design of Experiments (DOE) matrix including tool diameter, spindle speed, feed rate, and depth of cut parameters.

| Serial | Tool Diameter | Spindle | Feed rate (mm/min) | Depth |
|--------|---------------|---------|--------------------|-------|
| 1      | 12            | 3979    | 1194               | 2.5   |
| 2      | 12            | 5305    | 1592               | 5     |
| 3      | 12            | 6631    | 1989               | 7.5   |
| 4      | 12            | 6631    | 3979               | 2.5   |
| 5      | 12            | 3979    | 2387               | 5     |
| 6      | 12            | 5305    | 3183               | 7.5   |
| 7      | 12            | 5305    | 4775               | 2.5   |
| 8      | 12            | 6631    | 5968               | 5     |
| 9      | 12            | 3979    | 3581               | 7.5   |
| 10     | 16            | 2984    | 895                | 2.5   |
| 11     | 16            | 3979    | 1194               | 5     |
| 12     | 16            | 4974    | 1492               | 7.5   |
| 13     | 16            | 4974    | 2984               | 2.5   |
| 14     | 16            | 2984    | 1790               | 5     |
| 15     | 16            | 3979    | 2387               | 7.5   |
| 16     | 16            | 3979    | 3581               | 2.5   |
| 17     | 16            | 4974    | 4476               | 5     |
| 18     | 16            | 2984    | 2686               | 7.5   |

This design enabled the evaluation of both individual parameter effects and their interactions while keeping the number of experiments at a manageable level.

The electrical current drawn by the machine was used as the primary indicator of energy behavior. Measurements were obtained using a clamp ammeter, which allowed non-intrusive and real-time monitoring of the current during operation (Figure 2).

For each experiment, three different current values were determined:

- PI Idle (A): current measured during machine operation without cutting
- PI Cutting Avg (A): average current during the cutting phase
- PI Cutting Max (A): maximum current recorded during cutting

The separation of idle and cutting regions was based on the machine operation timeline. The recorded signals were processed to ensure consistent extraction of average and peak values.



**Figure 2.** Current measurement method (clamp meter)

The experimental data were analyzed using Response Surface Methodology (RSM) and Analysis of Variance (ANOVA). These methods were applied to determine the significance of machining parameters and to quantify their contribution to each response.

Regression models were developed for each output (PI Idle, PI Cutting Avg, and PI Cutting Max), and model adequacy was evaluated using  $R^2$  and P-values. ANOVA was further used to identify the most influential parameters and to assess their percentage contributions to the observed responses.

### 3. RESULTS and DISCUSSION

When the effect of tool diameter is first examined, it is seen that the difference between 12 mm and 16 mm tools does not disappear completely, but remains at a limited level. For the 12 mm tool, the PI Cutting Avg.



values range from 0.356–0.569 A, while for the 16 mm tool, this range is determined as 0.358–0.524 A. The highest average current value (0.569 A) was obtained with the 12 mm tool. Although both tools reach similar levels in terms of maximum current values, it is noteworthy that the 12 mm tool reached the value of 0.91 A twice. This situation shows that the smaller diameter tool causes higher local loads during cutting and, consequently, creates more sudden current fluctuations.

The effect of cutting depth ( $a_p$ ) shows a more pronounced trend. In particular, an increase in both average and maximum current values was observed at the 7.5 mm depth level. With the 12 mm tool, average current values of 0.564 A and 0.525 A were obtained, corresponding to maximum current values of 0.78 A and 0.91 A. Similarly, with the 16 mm tool, average current values of 0.475–0.524 A and a maximum current of approximately 0.69 A were measured. This increase can be explained by the increase in cutting resistance due to the increase in chip removal volume and its direct reflection on the motor load.

When the relationship between average and maximum current is examined, a non-linear but generally increasing behavior is observed. As the average current increases, the maximum current values also tend to increase; however, this increase is not perfectly linear. For example, while a maximum value of 0.91 A is obtained with an average current value of 0.525 A, different maximum values can also be observed at similar average levels. This situation shows that the maximum current depends not only on the average load level but also on sudden loads, vibrations, and irregularities in chip formation that occur during cutting. Finally, the difference between the idle and cutting regions has been clearly and consistently demonstrated. In all experiments, while the PI idle values remained constant in the range of 0.06–0.08 A, it was determined that the average current values during cutting increased approximately 5–8 times, and the maximum current values reached 10 times or more (e.g., 0.08 A  $\rightarrow$  0.91 A). This indicates that a large portion of the energy consumption occurs during the cutting process. Therefore, in energy-based analyses, the separation of the idle region and the correct definition of the cutting region are critical for the accuracy of the results obtained. Table 2 summarizes the obtained current results.

**Table 2.** Measured current values for each experiment: idle current (PI Idle), average cutting current (PI Cutting Avg), and maximum cutting current (PI Cutting Max).

| Serial | PI Idle (A) | PI Cutting Avg | PI Cutting Max |
|--------|-------------|----------------|----------------|
| 1      | 0.08        | 0.444          | 0.5            |
| 2      | 0.08        | 0.569          | 0.73           |
| 3      | 0.07        | 0.564          | 0.78           |
| 4      | 0.06        | 0.461          | 0.64           |
| 5      | 0.087       | 0.466          | 0.58           |
| 6      | 0.08        | 0.525          | 0.91           |
| 7      | 0.07        | 0.356          | 0.52           |
| 8      | 0.07        | 0.487          | 0.91           |
| 9      | 0.075       | 0.459          | 0.72           |
| 10     | 0.07        | 0.358          | 0.43           |
| 11     | 0.08        | 0.416          | 0.5            |
| 12     | 0.06        | 0.524          | 0.69           |
| 13     | 0.08        | 0.457          | 0.6            |
| 14     | 0.08        | 0.457          | 0.55           |
| 15     | 0.07        | 0.475          | 0.69           |
| 16     | 0.07        | 0.413          | 0.57           |
| 17     | 0.08        | 0.491          | 0.8            |
| 18     | 0.07        | 0.421          | 0.62           |

When the regression model created for PI Idle (A) is examined, it is seen that the model is generally not statistically significant ( $P = 0.336$ ). Furthermore, it was determined that all linear, quadratic, and interaction terms within the model have  $P > 0.05$ . This indicates that tool diameter, spindle, feed rate, and depth parameters do not have a significant effect on PI Idle. This result confirms that the idle current of the system is constant and independent of the parameters. Although the model's  $R^2$  value is 84.25%, its low predictive ability ( $R^2(\text{pred}) = 0$ ) indicates that the generalizability of the model is limited. When the PI Cutting Avg (A) model is examined, a stronger structure emerges. The model has high explanatory power, with  $R^2 = 92.53\%$ . Among the linear terms, only the spindle parameter ( $P = 0.030$ ) was found to be statistically significant. This indicates that the average current during cutting is most affected by the rotational speed. Feed rate ( $P = 0.112$ ) and depth ( $P = 0.211$ ) parameters were influential but remained above the statistical significance limit. The fact that all quadratic and interaction terms had  $P > 0.05$  indicates that the system exhibits largely linear behavior.

The PI Cutting Max (A) model yielded the strongest statistical results. The model's explanatory power was quite high, calculated as  $R^2 = 96.98\%$ , and the model is generally significant ( $P = 0.020$ ). When linear terms were examined, it was determined that the depth ( $P = 0.009$ ) and spindle ( $P = 0.016$ ) parameters had statistically significant and dominant effects on the maximum current. In contrast, the effect of tool diameter ( $P = 0.189$ ) and feed rate ( $P = 0.540$ ) parameters remained more limited. These results clearly show that the maximum current values are directly related to the cutting load (depth) and cutting speed (spindle). Overall, PI Idle values behave as parameter-independent system constants, while PI Cutting Avg and especially PI Cutting Max values

are sensitive to process parameters. The average current largely represents the general load level of the process, while the maximum current reflects sudden load surges and system stresses. Therefore, the most critical output in terms of energy consumption and process optimization is PI Cutting Max, and the control of spindle and depth parameters plays a decisive role in system performance. The relevant numerical data are given in Table 3.

**Table 3.** Summary of RSM models, including  $R^2$  values, model significance (P-values), and significant machining parameters for each response.

| Output             | $R^2$ (%) | Model P | Significant Parameters                            | Most Influential Parameter |
|--------------------|-----------|---------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| PI Idle (A)        | 84.25     | 0.336   | None (all $P > 0.05$ )                            | None                       |
| PI Cutting Avg (A) | 92.53     | 0.103   | Spindle ( $P=0.030$ )                             | Spindle                    |
| PI Cutting Max (A) | 96.98     | 0.02    | Depth of cut ( $P=0.009$ ), Spindle ( $P=0.016$ ) | Depth of cut > Spindle     |

When the PI Cutting Average (A) surface graph shown in Figure 3 is examined via the numerical axes, it is observed that the average current values vary approximately between 0.30–0.50 A. As the spindle axis increases in the 3000–6000 RPM range, it is clearly seen that this increase causes a significant increase in current. In particular, while the current values remain at approximately 0.30–0.35 A levels around 3000 RPM, these values increase to 0.45–0.50 A levels as 6000 RPM approaches. This clearly shows that the increase in spindle directly increases the average cutting current.

In the tool diameter axis (12–16.5 mm), the change occurs within a more limited range. While the current values are in the approximately 0.30–0.40 A range around 12 mm, it is observed that these values show a slight increase towards 0.35–0.45 A levels as the diameter increases. However, this change is less pronounced compared to the increase in spindle direction, indicating that the effect of tool diameter remains secondary. When the surface is examined in terms of interaction, it is observed that the effect of tool diameter is quite weak at low spindle levels, but when the spindle value reaches 5000 RPM and above, the increase in diameter increases the current somewhat more significantly. This indicates a weak but directional interaction between the parameters. The generally smooth surface structure, free from sudden fractures, confirms that the system behaves largely linearly.

In conclusion, when the numerical ranges are evaluated together, it can be stated that the PI Cutting Avg value shows an increase of approximately 0.15–0.20 A with increasing spindle, while the tool diameter contributes more limitedly (approximately 0.05–0.10 A) to this increase. This clearly shows that the spindle parameter plays a dominant role in controlling the average cutting current.

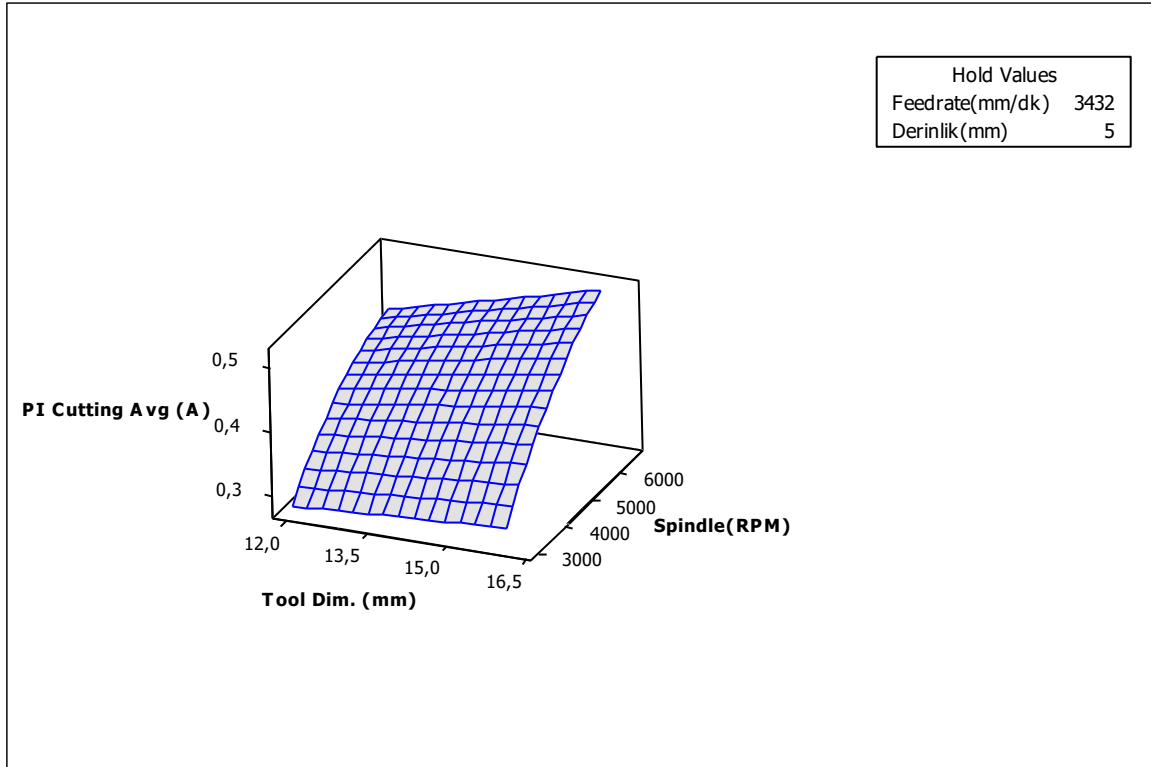


**Figure 3.** Response surface plot showing the effect of spindle speed and tool diameter on average cutting current (PI Cutting Avg)

Examining the surface graph generated for PI Cutting Avg (A) given in Figure 4, it is observed that the average current values vary approximately between 0.35–0.80 A. While the feed rate axis increases in the range of 2000–6000 mm/min, it is seen that the current values remain around 0.35–0.45 A at low feed rates and increase to 0.70–0.80 A, especially in high depth regions, as the feed rate increases. This shows that although feed rate alone has a limited effect, it can significantly increase the current under certain conditions. When the depth of cut axis is examined in the range of 2–8 mm, it is clearly seen that this parameter has a much more significant effect. While the current values generally remain in the 0.35–0.50 A range at low depths (2–3 mm), the slope of the surface increases significantly as the depth increases, and especially at the 6–8 mm level, the current values rise to the 0.60–0.80 A range. This situation clearly shows that the motor current increases directly with the increase in cutting load.

When the surface is evaluated in terms of interaction, it is seen that the effect of increasing the feed rate on the current is quite limited at low depth levels, but the effect of the feed rate strengthens significantly as the depth increases. It is noteworthy that the current values reach maximum levels, especially in the combination of high depth and high feed rate. This shows that the feed rate  $\times$  depth interaction is strong and positive.

In conclusion, while the depth parameter has a dominant effect on the PI Cutting Avg value, the feed rate parameter plays a complementary role, increasing this effect especially at high depth levels. Therefore, while depth stands out as the main determining parameter in terms of controlling the average cutting current, the feed rate can raise the system's load level to critical levels under certain conditions.

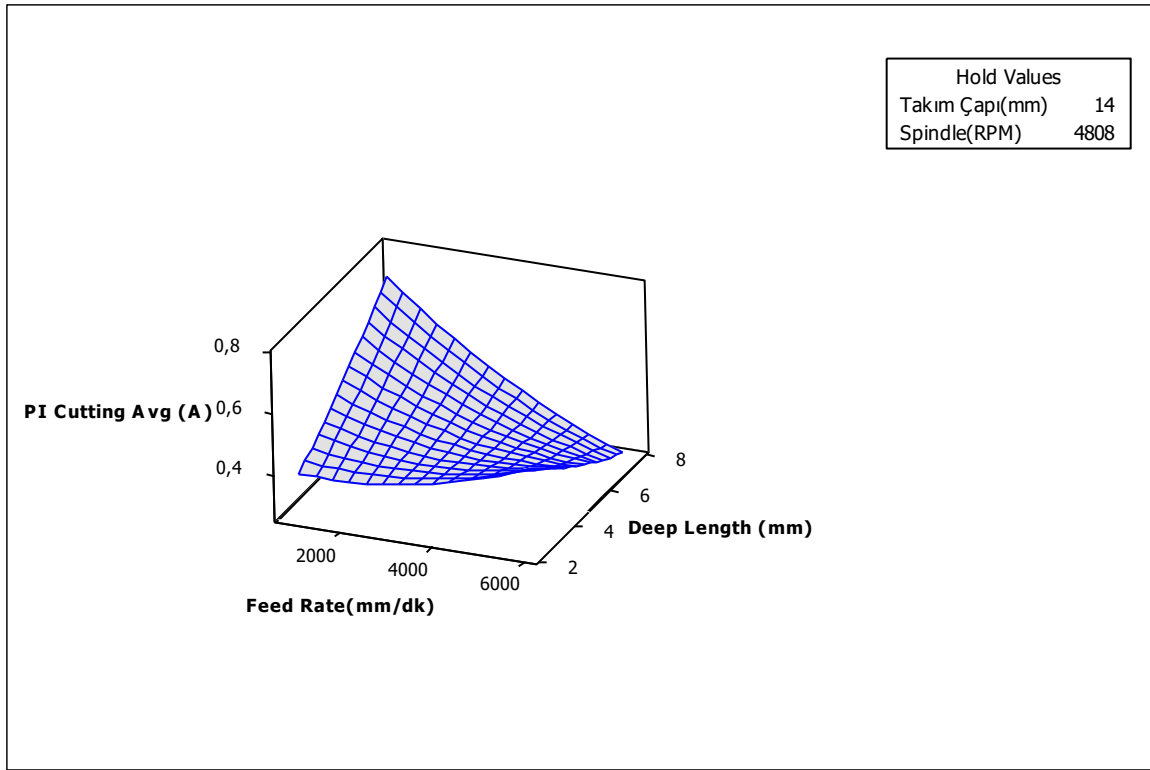


**Figure 4.** Response surface plot illustrating the combined effect of feed rate and depth of cut on average cutting current (PI Cutting Avg).

When examining the PI Cutting Max (A) surface graph, it is observed that the maximum current values vary approximately between 0.40–0.90 A. As the feed rate increases along the feed rate axis (2000–6000 mm/min), the maximum current is observed to increase steadily. At low feed rates, the maximum current remains at approximately 0.40–0.50 A, while at high feed rates, these values reach 0.70–0.85 A. This shows that the feed rate has a direct effect, especially on the maximum loads.

As can be seen from Figure 5, the effect of the cutting depth parameter (2–8 mm) is more pronounced. At lower depth levels, the maximum current values remain in the range of 0.40–0.55 A, while as the depth increases, the surface slope increases significantly, and especially at the 6–8 mm level, the maximum current rises to the range of 0.80–0.90 A. This clearly shows that the sudden loads generated during cutting are directly related to the amount of material removed. When the surface is evaluated in terms of interaction, it is observed that the effect of increasing the feed rate on the maximum current is limited at low depths, but the effect of the feed rate

becomes much more pronounced as the depth increases. It is particularly noteworthy that the maximum current values reach their highest levels in the combination of high depth and high feed rate. This indicates that the feed rate  $\times$  depth interaction is strong and positive. Overall, it is seen that the most dominant parameter affecting the PI Cutting Max value is depth, while feed rate is a significant second parameter that increases this effect, especially under high load conditions. Considering that the maximum current values represent sudden loads, these results reveal that optimizing both depth and feed rate parameters together is critical for controlling stresses that may occur during the process.

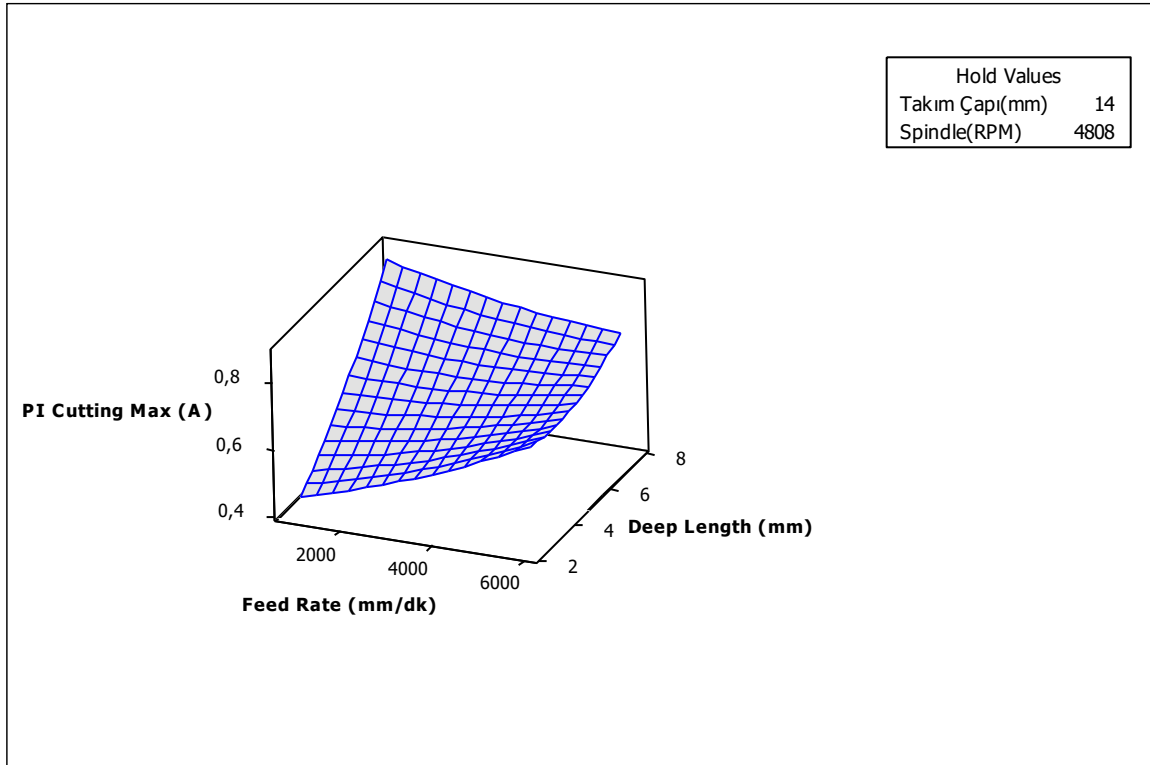


**Figure 5.** Response surface plot showing the interaction between feed rate and depth of cut on maximum cutting current (PI Cutting Max).

When examining the PI Cutting Max (A) surface graph (Figure 6), it is observed that the maximum current values vary approximately between 0.25–0.70 A. As the spindle speed (RPM) increases (3000–6000 RPM), the maximum current values are observed to rise significantly. While the maximum current remains approximately 0.25–0.35 A at low speeds ( $\approx$ 3000 RPM), these values reach 0.60–0.70 A at higher speeds ( $\approx$ 6000 RPM). This clearly shows that increasing the cutting speed directly increases the sudden loads on the system. Along the tool diameter axis (12–16.5 mm), the change is more limited but shows a regular upward trend. While the maximum current values are approximately 0.25–0.45 A for smaller diameters, these values increase towards the 0.50–0.65 A range as the diameter increases. However, this increase has a lower slope compared to the change in



spindle direction, indicating that the effect of tool diameter remains secondary. When the surface is evaluated in terms of interaction, it is seen that the effect of tool diameter on the maximum current is quite limited at low spindle levels, but the effect of diameter becomes more pronounced as the spindle increases. It is particularly noteworthy that the maximum current values reach their highest levels in the combination of high spindle and large diameter. This indicates that the spindle  $\times$  tool diameter interaction is positive but moderate. Overall, it is understood that the dominant parameter on the PI Cutting Max value is the spindle, while tool diameter is a parameter that enhances this effect but plays a more limited role. Considering that the maximum current represents sudden loads, it is concluded that combinations of high spindle and large tool diameter increase system stress and therefore should be carefully considered in process control.

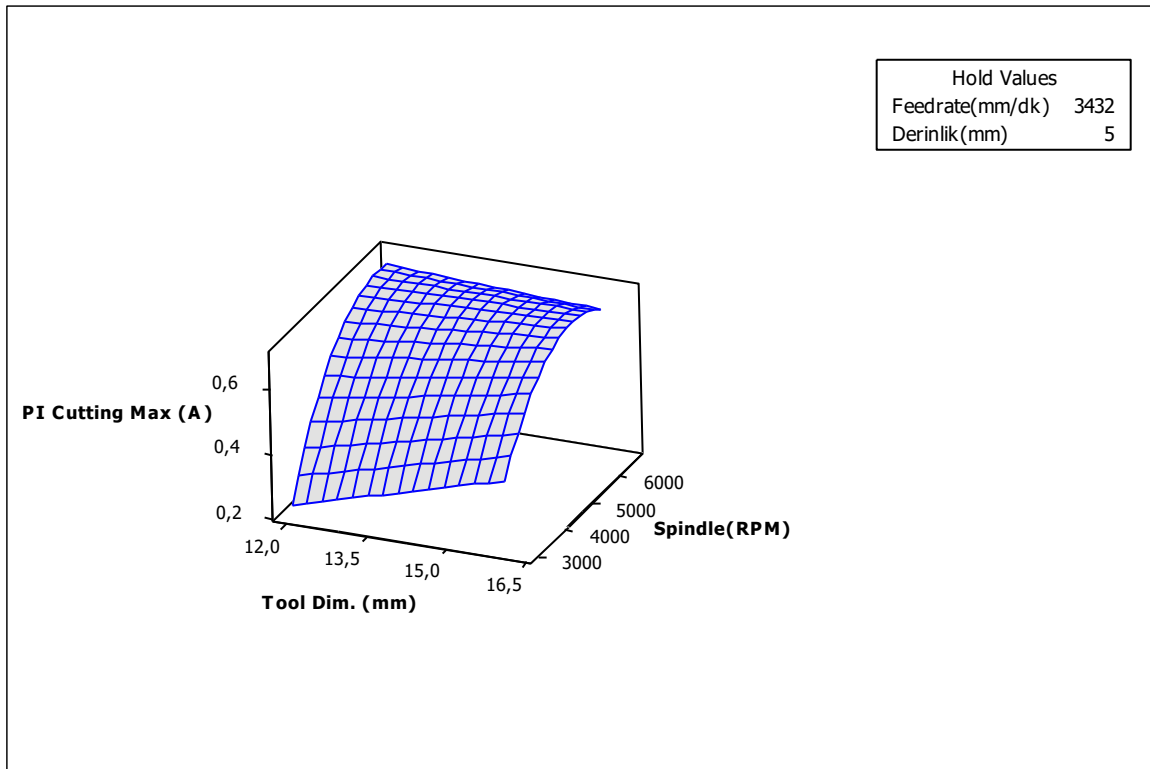


**Figure 6.** Response surface plot illustrating the effect of spindle speed and tool diameter on maximum cutting current (PI Cutting Max)

When the ANOVA results (Table 4) are evaluated on a percentage effect basis, it is seen that the highest contribution to the PI Idle (A) output comes from the feed rate (57.2%) and spindle (33.7%) parameters. In contrast, the effects of tool diameter (0.86%) and depth (8.24%) remain quite low. However, when evaluated together with the previous statistical results, it is understood that this distribution does not produce a meaningful model and that the idle current of the system behaves independently of the parameters. In other words, the

percentage distribution seen here is a mathematical result of the data distribution rather than a physical dependence.

The results obtained for PI Cutting Avg (A) clearly show that the most dominant parameter on the average current is the feed rate (67.1%). This is followed by spindle (22.1%), while the effect of tool diameter (9.4%) is more limited, and the effect of depth remains at a very low level (1.31%). This situation reveals that the average cutting current is largely dependent on the feed rate, and the spindle is of secondary importance. The low contribution of depth supports the idea that the average current represents the general process load rather than sudden loads. The PI Cutting Max (A) results show a different distribution. Feed rate (54.8%) has the greatest impact on the maximum current, while spindle (27.9%) is second. Tool diameter (12.1%) makes a certain contribution, while depth (5.25%) has a lesser effect. This result shows that the maximum current is strongly affected not only by the cutting depth but also by the sudden loads created by the feed rate. Overall, while the idle state of the system exhibits a character independent of the parameters, feed rate and spindle parameters become dominant, especially in the cutting state. The average current mostly represents the continuous load level, while the maximum current values reflect the sudden stresses that occur during the process. Therefore, feed rate control plays a critical role in process optimization, while the spindle parameter stands out as the second important variable to be considered in terms of system stability.

**Table 4.** ANOVA results showing the percentage contribution of machining parameters to PI Idle, PI Cutting Avg, and PI Cutting Max responses.

| Output             | Parameter     | Seq SS   | Total SS | Contribution (%) |
|--------------------|---------------|----------|----------|------------------|
| PI Idle (A)        | Tool Diameter | 0.000008 | 0.000926 | 0.86             |
| PI Idle (A)        | Spindle       | 0.000312 | 0.000926 | 33.69            |
| PI Idle (A)        | Feed rate     | 0.00053  | 0.000926 | 57.2             |
| PI Idle (A)        | Depth of cut  | 7.63E-05 | 0.000926 | 8.24             |
| PI Cutting Avg (A) | Tool Diameter | 0.005653 | 0.059911 | 9.44             |
| PI Cutting Avg (A) | Spindle       | 0.013266 | 0.059911 | 22.14            |
| PI Cutting Avg (A) | Feed rate     | 0.040204 | 0.059911 | 67.11            |
| PI Cutting Avg (A) | Depth of cut  | 0.000786 | 0.059911 | 1.31             |
| PI Cutting Max (A) | Tool Diameter | 0.0392   | 0.324111 | 12.09            |
| PI Cutting Max (A) | Spindle       | 0.090444 | 0.324111 | 27.91            |
| PI Cutting Max (A) | Feed rate     | 0.177433 | 0.324111 | 54.74            |
| PI Cutting Max (A) | Depth of cut  | 0.017033 | 0.324111 | 5.26             |

#### 4. CONCLUSION

In this study, the influence of basic machining parameters on energy-related behavior was examined using a current-based monitoring approach within a two-level DOE framework. Instead of relying on a single indicator,

three different responses—PI Idle, PI Cutting Avg, and PI Cutting Max—were evaluated in order to better capture both steady and transient aspects of the process.

The results suggest that idle current remains almost unchanged under different cutting conditions. In other words, PI Idle appears to be more related to the machine's inherent characteristics than to the selected machining parameters. On the other hand, both average and maximum cutting currents showed noticeable variations depending on the process settings, which makes them more meaningful for evaluating machining performance.

When the parameters are considered individually, spindle speed stands out as the main factor affecting the average cutting current. For the maximum current, however, the situation is slightly different. Depth of cut becomes more dominant, and together with spindle speed, it plays a key role in determining peak load levels. Feed rate also has a visible effect, especially under higher cutting conditions, where its interaction with depth of cut leads to more pronounced increases in current values.

One of the points that becomes clearer through this study is the difference between average and maximum current behavior. While average current gives a general idea about the overall load of the process, maximum current reflects short-term load increases that are not always visible in averaged data. These peaks, even if brief, can be important in terms of system stress and process stability. For this reason, evaluating both indicators together provides a more complete picture.

Overall, the findings indicate that current-based monitoring can be a practical tool for understanding machining behavior, particularly when it is combined with structured methods such as DOE, RSM, and ANOVA. From a practical standpoint, parameters like spindle speed, feed rate, and depth of cut should be considered carefully, not only in terms of average energy consumption but also with respect to peak load conditions.

The study is limited to the selected parameters and experimental conditions, but the general approach can be extended further. Future work could include different materials, tool types, or cutting environments. In addition, integrating this type of analysis with real-time monitoring or predictive models may help improve both energy efficiency and process control in machining applications.

## REFERENCES

- Alao, A., & Konneh, M. (2009). A response surface methodology based approach to machining processes: Modelling and quality of the models. *International Journal of Experimental Design and Process Optimisation*, 1(2–3), 240–261.
- Al-Sulaiman, F. A., Baseer, M. A., & Sheikh, A. K. (2005). Use of electrical power for online monitoring of tool condition. *Journal of Materials Processing Technology*, 166(3), 364–371.
- Balogun, V. A., & Mativenga, P. T. (2013). Modelling of direct energy requirements in mechanical machining processes. *Journal of Cleaner Production*, 41, 179–186.
- Daicu, R., & Oancea, G. (2015). Electrical current at metal cutting process: A literature review. *Applied Mechanics and Materials*, 808, 40–47.
- Fussell, B., & Srinivasan, K. (1989). *An investigation of the end milling process under varying machining conditions*.
- Grabec, I. (1988). Chaotic dynamics of the cutting process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 28(1), 19–32.
- Grzesik, W. (2008). *Advanced machining processes of metallic materials: Theory, modelling and applications*. Elsevier.
- Hazir, E., Erdinler, E. S., & Koc, K. H. (2018). Optimization of CNC cutting parameters using design of experiment (DOE) and desirability function. *Journal of Forestry Research*, 29(5), 1423–1434.
- Jaen-Cuellar, A. Y., Osornio-Ríos, R. A., Trejo-Hernández, M., Zamudio-Ramírez, I., Díaz-Saldaña, G., Pacheco-Guerrero, J. P., & Antonino-Daviu, J. A. (2021). System for tool-wear condition monitoring in cnc machines under variations of cutting parameter based on fusion stray flux-current processing. *Sensors*, 21(24), 8431.
- Kordonowy, D. N. (2002). *A power assessment of machining tools*.
- Kumar, K., Zindani, D., & Davim, J. P. (2018). *Advanced machining and manufacturing processes*. Springer.
- Lauro, C., Brandao, L. C., Baldo, D., Reis, R., & Davim, J. (2014). Monitoring and processing signal applied in machining processes—A review. *Measurement*, 58, 73–86.
- Liu, F., Xie, J., & Liu, S. (2015). A method for predicting the energy consumption of the main driving system of a machine tool in a machining process. *Journal of Cleaner Production*, 105, 171–177.
- Mannan, M., Broms, S., & Lindström, B. (1989). Monitoring and adaptive control of cutting process by means of motor power and current measurements. *CIRP Annals*, 38(1), 347–350.
- ME, D. D. (2012). Analysis and optimization of machining process parameters using design of experiments. *Industrial Engineering Letters*.

- Mohamed, A., Hassan, M., M'Saoubi, R., & Attia, H. (2022). Tool condition monitoring for high-performance machining systems—A review. *Sensors*, 22(6), 2206.
- Neugebauer, R., Drossel, W., Wertheim, R., Hochmuth, C., & Dix, M. (2012). Resource and energy efficiency in machining using high-performance and hybrid processes. *Procedia CIRP*, 1, 3–16.
- Nicolaou, P., Thurston, D. L., & Carnahan, J. V. (2002). Machining quality and cost: Estimation and tradeoffs. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 124(4), 840–851.
- Ning, F., Shi, Y., Cai, M., Xu, W., & Zhang, X. (2020). Manufacturing cost estimation based on the machining process and deep-learning method. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 11–22.
- Xiao, Y., Zhang, H., Jiang, Z., Gu, Q., & Yan, W. (2021). Multiobjective optimization of machining center process route: Tradeoffs between energy and cost. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124171.
- Yeo, S., Ngoi, B., Poh, L., & Hang, C. (1997). Cost-tolerance relationships for non-traditional machining processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13(1), 35–41.
- Yusup, N., Zain, A. M., & Hashim, S. Z. M. (2012). Evolutionary techniques in optimizing machining parameters: Review and recent applications (2007–2011). *Expert Systems with Applications*, 39(10), 9909–9927.

**P-NITROFENETİL BROMÜRÜN MOLEKÜLER YAPISI, UV-VIS SPEKTRUMU,  
TERMOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE REAKTİVİTE TANIMLAYICILARININ TEORİK  
İNCELENMESİ**

**Öğr. Gör. Dr. Nuri Alper METİN<sup>1</sup>, Prof. Dr. Asaf Tolga ÜLGİN<sup>2</sup>, Doç. Dr. Ümit ERDEM<sup>3</sup> ve  
Prof. Dr. Gürcan YILDIRIM<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Elektronik  
Haberleşme Teknolojisi, nurialpermetin@kku.edu.tr, 0000-0002-9962-917X

<sup>2</sup>Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
ulgen\_at@sirnak.edu.tr, 0000-0002-7112-5607

<sup>3</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Elektronik  
Haberleşme Teknolojisi, umiterdem@kku.edu.tr, 0000-0002-0480-8176

<sup>4</sup>Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
yildirim\_g@ibu.edu.tr, 0000-0002-5177-3703

**Özet**

p-nitrofenetil molekülünün yapısal, termokimyasal, UV-Vis ve bazı temel elektronik özelliklerini incelemek amacıyla, yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) ve Hartree-Fock (HF) yöntemleri kullanılarak B3LYP/6-31G(d,p) ve HF/6-31G(d,p) seviyelerinde kapsamlı bir kuantum kimyasal inceleme gerçekleştirilmiştir. Geometri optimizasyonu, molekülün, benzen halkası ile elektron çekici nitro grubu arasında verimli  $\pi$ -elektron delokalizasyonuna olanak sağlayan, hafifçe bükülmüş bir bromoetil süstitüenti ile neredeyse düzlemsel bir aromatik çerçeveye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. DFT ve HF yaklaşımlarından elde edilen hesaplanan geometrik parametreler güçlü bir korelasyon göstermekte ve hesaplama modellerinin güvenilirliğini doğrulamaktadır. Termokimyasal analizler, molekülün yaklaşık 92.264 kcal mol<sup>-1</sup> (DFT) ve 92.316 kcal mol<sup>-1</sup> (HF) ölçeklendirilmiş sıfır noktası titreşim enerjileriyle önemli bir enerji kararlılığı sergilediğini göstermektedir. Hesaplanan dipol momenti değeri (5,391 D ve 5,741 D), -NO<sub>2</sub> grubu ve polar C-Br bağının birleşik etkisinden kaynaklanan yüksek oranda polarize olmuş bir moleküler yapıyı göstermektedir. Elektronik absorpsiyon özellikleri, simüle edilmiş UV-Vis spektroskopisi yoluyla incelenmiş ve spektrumun öncelikle aromatik konjugasyon ve nitro grubunun serbest elektron çifti etkileşimleriyle ilişkili  $\pi \rightarrow \pi^*$  ve  $n \rightarrow \pi^*$  geçişleri tarafından yönetildiği ortaya konmuştur. En yoğun absorpsiyon bandı, HOMO-LUMO etkileşimlerini ve molekül içi yük transferini içeren güçlü bir şekilde izin verilen  $\pi \rightarrow \pi^*$  geçişine karşılık gelen 296,51 nm'de tahmin edilmektedir.

Sınır moleküler orbital analizi, aromatik halkanın elektron verici, nitro grubunun ise güçlü bir elektron alıcı görevi gördüğü molekülün verici-alıcı elektronik doğasını daha da doğrulamaktadır. FMO enerjilerinden türetilen küresel reaktivite tanımlayıcıları, orta derecede kimyasal sertlik ve kayda değer yumuşaklık göstererek, dengeli nükleofilik ve elektrofilik eğilimlere işaret etmektedir. Ek olarak, elektrostatik potansiyel (ESP) ve moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) analizleri, nitro grubunun oksijen atomlarının en elektronca zengin bölgeleri oluşturduğunu, hidrojen atomlarının ve brom süstitüentinin yakınındaki karbon bölgelerinin ise pozitif potansiyel bölgeleri temsil ettiğini ortaya koymaktadır. Özetle, sonuçlar p-nitrofenetil bromürün polarize



elektronik yapısını, tanımlanmış reaktif bölgelerini ve etkili molekül içi yük transfer yollarını vurgulayarak, fotokimyasal süreçlerde, moleküler tanıma sistemlerinde ve organik fonksiyonel malzemelerde potansiyel önemini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler** p-Nitrophenethyl bromide; DFT; HF; HOMO–LUMO analizi; MEP yüzeyi.

## **THEORETICAL INVESTIGATION OF MOLECULAR STRUCTURE, UV–VIS SPECTRUM, THERMOCHEMICAL PROPERTIES, AND REACTIVITY DESCRIPTORS OF P-NITROPHENETHYL BROMIDE**

### **Abstract**

A comprehensive quantum-chemical investigation of p-nitrophenethyl is performed using density functional theory (DFT) and Hartree–Fock (HF) methods at the B3LYP/6-31G(d,p) and HF/6-31G(d,p) levels to examine the structural, thermochemical, UV–Vis and some fundamental electronic properties. Geometry optimization reveals that the molecule possesses a nearly planar aromatic framework with a slightly twisted bromoethyl substituent, enabling efficient  $\pi$ -electron delocalization between the benzene ring and the electron-withdrawing nitro group. The calculated geometrical parameters obtained from DFT and HF approaches show strong correlation, confirming the reliability of the computational models. Thermochemical analyses indicate that the molecule exhibits significant energetic stability with scaled zero-point vibrational energies of approximately 92.264 kcal mol<sup>-1</sup> (DFT) and 92.316 kcal mol<sup>-1</sup> (HF). The computed dipole moment value (5.391 D and 5.741 D) demonstrates a highly polarized molecular structure originating from the combined influence of the –NO<sub>2</sub> group and the polar C–Br bond. Electronic absorption properties are investigated through simulated UV–Vis spectroscopy, revealing that the spectrum is primarily governed by  $\pi \rightarrow \pi^*$  and  $n \rightarrow \pi^*$  transitions associated with aromatic conjugation and nitro-group lone-pair interactions. The most intense absorption band is predicted at 296.51 nm, corresponding to a strongly allowed  $\pi \rightarrow \pi^*$  transition involving HOMO-LUMO interactions and intramolecular charge transfer.

Frontier molecular orbital analysis further confirms the donor–acceptor electronic nature of the molecule, where the aromatic ring acts as an electron donor while the nitro group serves as a strong electron acceptor. Global reactivity descriptors derived from FMO energies indicate moderate chemical hardness and appreciable softness, suggesting balanced nucleophilic and electrophilic tendencies. Additionally, electrostatic potential (ESP) and molecular electrostatic potential (MEP) analyses reveal that the oxygen atoms of the nitro group constitute the most electron-rich regions, whereas hydrogen atoms and carbon sites near the bromine substituent represent positive potential regions. To sum up, the results highlight the polarized electronic structure, defined reactive regions, and effective intramolecular charge-transfer pathways of p-nitrophenethyl bromide, indicating its potential relevance in photochemical processes, molecular recognition systems, and organic functional materials.

**Keywords:** p-Nitrophenethyl bromide; DFT; HF; HOMO–LUMO analysis; MEP surface.

## 1. GİRİŞ

Halogenated aromatic nitro compounds constitute an important class of organic molecules due to their wide applicability in synthetic organic chemistry, pharmaceutical intermediates, energetic materials, and functional organic electronics. Among them, p-nitrophenethyl bromide (1-(2-bromoethyl)-4-nitrobenzene,  $C_8H_8BrNO_2$ ) has attracted attention because it contains both an electron-withdrawing nitro ( $-NO_2$ ) group and a reactive bromoethyl substituent, which together create a chemically versatile molecular framework. The presence of these functional groups not only governs the reactivity of the compound in nucleophilic substitution (Konkala & Narra, 2024; Takamuku & Yamamoto, 2024) and cross-coupling reactions (Gong et al., 2026; Larson et al., 2026; Su et al., 2026), but also influences its intermolecular interactions (Chatterjee, n.d.; Chatterjee, 2012), electronic structure (Chatterjee, 2012; de Jong, 2022; Mueller & Hohlneicher, 1990; Ritchie et al., 1983), and charge distribution within the aromatic ring system (Behar & Neta, 1981; Vararattanavech & Ketterman, 2003; Vararattanavech et al., 2006; Wongsantichon et al., 2010).

Nitro-substituted aromatic derivatives are frequently employed as precursors in the synthesis of biologically active compounds, dyes, and advanced materials. In particular, the  $-NO_2$  group acts as a strong electron-withdrawing substituent (Jamal et al., 2026; Khan et al., 2026; Naiknaware et al., 2026; Qi et al., 2026), significantly modifying the electron density distribution of the benzene ring (Ahamed et al., 2025; Ma et al., 2025; Zhang et al., 2026), and thereby affecting molecular stability (Alsuhaibani et al., 2025; Hussein, 2026; Johnson et al., 2025), polarity (Devi et al., 2025; Genç & Kandemirli, 2026; Olaleye et al., 2025; Zada et al., 2025), and reactivity (Dhungana et al., 2025; Khan et al., 2026; Ma et al., 2025). Meanwhile, the bromoethyl side chain provides an active leaving group that facilitates various substitution reactions and polymerization processes (Danova et al., 2025; Kumar, 1992; Pawara et al., 2025). The simultaneous presence of these functionalities makes p-nitrophenethyl bromide an attractive candidate for both experimental and theoretical investigations aimed at understanding structure–property relationships in substituted aromatic systems. In recent years, computational quantum chemistry methods have become powerful tools for exploring the structural, electronic, and thermodynamic properties of organic molecules at the atomic scale (Buyukuslu et al., 2010; Parlak et al., 2011). In particular, Density Functional Theory (DFT) and Hartree–Fock (HF) approaches are widely employed to predict optimized geometries, electronic distributions, molecular orbital energies, and vibrational characteristics (Gökce & Bahçeli, 2025). These theoretical methods provide valuable insight into molecular stability, reactivity indices, and charge-transfer behavior, which are often difficult to obtain solely through experimental techniques (Gökce et al., 2024).

The HF theoretical computation method, based on the mean-field approximation, provides a fundamental *ab initio* framework for describing electron–electron interactions and molecular wavefunctions. Although the calculation model neglects electron correlation effects, HF calculations indicate important baseline information for molecular geometry and orbital structure. In contrast, DFT methods, particularly those employing hybrid functionals such as B3LYP, incorporate electron correlation effects through exchange–correlation functionals, enabling more accurate predictions of molecular properties including total energies, dipole moments, vibrational frequencies, and frontier molecular orbital characteristics. By combining these theoretical approaches, it becomes possible to obtain a comprehensive description of molecular systems. Comparative HF and DFT calculations allow the evaluation of the influence of electron correlation on structural parameters, energetic stability, and electronic properties. Furthermore, quantum-chemical analysis of frontier molecular orbitals (HOMO–LUMO), molecular electrostatic potential distributions, and global reactivity descriptors provides important information regarding chemical reactivity, intermolecular interactions, and potential applications of the molecule. Therefore, the aim of the present study is to investigate the structural, electronic, and reactive properties of p-nitrophenethyl bromide (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>BrNO<sub>2</sub>) using Hartree–Fock and Density Functional Theory calculations. Optimized molecular geometries, total energies, frontier molecular orbitals, and electronic descriptors are analyzed in order to elucidate the relationship between molecular structure and electronic behavior. The combined computational approach provides a deeper theoretical understanding of this substituted aromatic compound and contributes to the broader knowledge of halogenated nitrobenzene derivatives used in organic synthesis and functional material design.

## 2. COMPUTATIONAL DETAILS

A comprehensive quantum-chemical investigation is carried out to elucidate the structural, thermodynamic, electronic, and optical characteristics of p-nitrophenethyl bromide (1-(2-bromoethyl)-4-nitrobenzene, C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>BrNO<sub>2</sub> molecule). The title molecule contains two chemically important functional groups: a strongly electron-withdrawing nitro (–NO<sub>2</sub>) group attached to the aromatic ring and a reactive bromoethyl substituent (–CH<sub>2</sub>–CH<sub>2</sub>–Br). The presence of the groups mentioned significantly influences the electron density distribution, intermolecular interactions, and fundamental chemical reactivity of the title molecule. To obtain reliable insights into these basic properties, detailed theoretical calculations are performed. For this aim, initially, full geometry optimizations are conducted to determine the equilibrium molecular structure corresponding to the minimum energy configuration. Following geometry optimization, a series of theoretical analyses, including the evaluation of thermodynamic parameters, simulated UV–Vis absorption spectra, frontier molecular orbital (HOMO–LUMO) characteristics, molecular electrostatic potential (MEP) and electrostatic potential (ESP) surfaces, and total charge density distributions are performed to explore the physicochemical behavior of the

molecule. These analyses provide valuable information regarding intramolecular charge transfer (ICT) processes,  $\pi$ - $\pi$  conjugation within the aromatic system, electron delocalization, and the influence of the nitro and halogenic substituents on the fundamental electronic properties of the benzene ring. In addition, the electrostatic potential maps allow identification of nucleophilic and electrophilic reactive sites within the 1-(2-bromoethyl)-4-nitrobenzene molecule.

All quantum chemical calculations are carried out using the Density Functional Theory (DFT) framework, employing the widely used B3LYP hybrid exchange–correlation functional (Becke, 1993; Stephens et al., 1994; Young, 2001). The 6-31G(d,p) basis set (Francl et al., 1982), incorporating polarization functions, is used to provide an accurate description of electron redistribution and molecular polarization effects. The inclusion of polarization functions is particularly important for molecules containing heteroatoms such as oxygen and bromine, as well as for describing noncovalent interactions and charge-transfer effects.

Furthermore, a set of global reactivity descriptors, such as ionization potential (I), electron affinity (A), electronegativity ( $\chi$ ), chemical hardness ( $\eta$ ), chemical softness (S), chemical potential ( $\mu$ ), electrophilicity index ( $\omega$ ), energy band gap ( $\Delta E$ ), and maximum charge-transfer capability ( $\Delta N_{\text{max}}$ ), is thoroughly calculated from the frontier molecular orbital energies. These parameters provide quantitative information about the chemical stability, reactivity, and charge-transfer capability of the p-nitrophenethyl bromide compound.

All quantum chemical computations were performed using the Gaussian 09 software package (Frisch et al., 2009). Molecular visualization, orbital plotting, electrostatic potential mapping, and graphical analyses are carried out using GaussView (Dennington et al., 2007).

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Optimized Molecular Geometry for p-nitrophenethyl bromide

It is well known that a full theoretical investigation of a title compound such as p-nitrophenethyl bromide is essential for understanding the relationship between its molecular structure and electronic behavior. The molecule consists of a para-substituted benzene ring, a nitro functional group, and a bromoethyl side chain, which together influence its electronic distribution and structural stability. In the current work, to obtain reliable structural parameters, the molecular geometry is fully optimized at the DFT/B3LYP/6-31G(d,p) level of theory. The optimized molecular structure corresponding to the lowest total energy configuration for the 1-(2-bromoethyl)-4-nitrobenzene compound is considered the most stable conformer and is used for all subsequent analyses. The optimized geometry and atom-numbering scheme of the title compound are illustrated in Fig. 1 in detail.

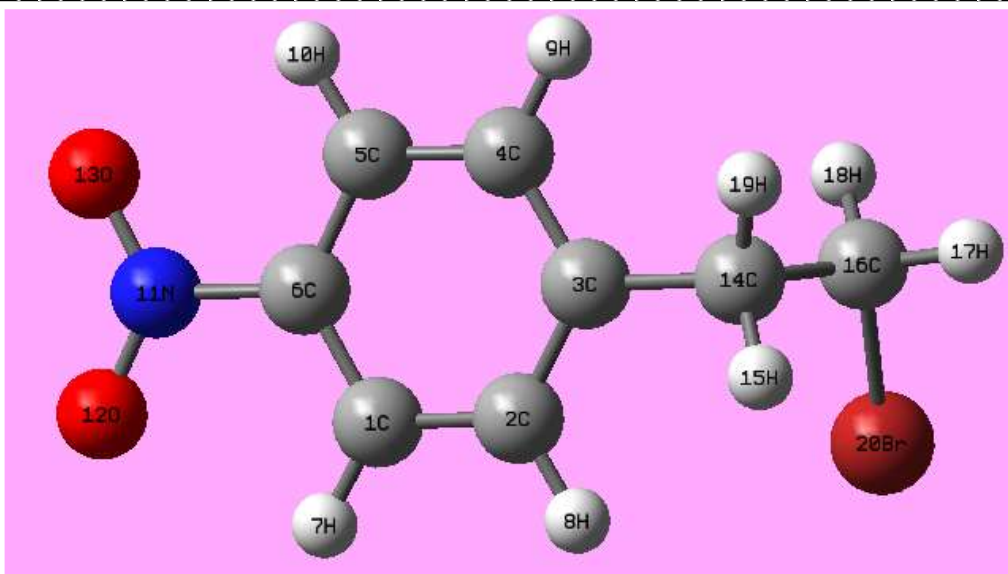


**Figure 1.** Optimized molecular structure pertaining to

To characterize the molecular structure, key geometrical parameters including bond lengths and bond angles are calculated by means of DFT/B3LYP//6-31G(d,p) and HF/6-31G(d,p) calculation levels of theory for the 1-(2-bromoethyl)-4-nitrobenzene compound and are summarized in Table 1 and 2. The refined geometrical parameters obtained from the HF and DFT calculations were further compared through correlation analyses, while the corresponding correlation plots are presented in Figs. 2 and 3. A very strong agreement between the two computational approaches is observed, with correlation coefficients of 0.99825 for bond lengths, indicating a high level of consistency in the predicted molecular geometry. It should also be noted here that we did not include the distances between bromine and hydrogen atoms in the comparisons. In the table, the distances between Br20-H8 atoms are given as 3.1881 Å and 2.8421 Å (Table 1), respectively. We only included these in the table to show the electron correlation effects in the calculation (specifically to show the charge distributions of atoms in the immediate vicinity and the presence of conjugate effects). As for the comparison for bond angles belonging to the molecule, the correlation is found to be about 0.77494. This degree of deviation is due to the angle formed between bromine and carbon. Consequently, the differences in bromine and related bonds and angles stems from the position of the bromine atom is used differently in the calculations. Additionally, as commonly expected, the HF method generally predicts slightly shorter bond lengths and marginally larger bond angles compared to the B3LYP results, which can be attributed to the absence of explicit electron-correlation effects in the HF calculation formalism.

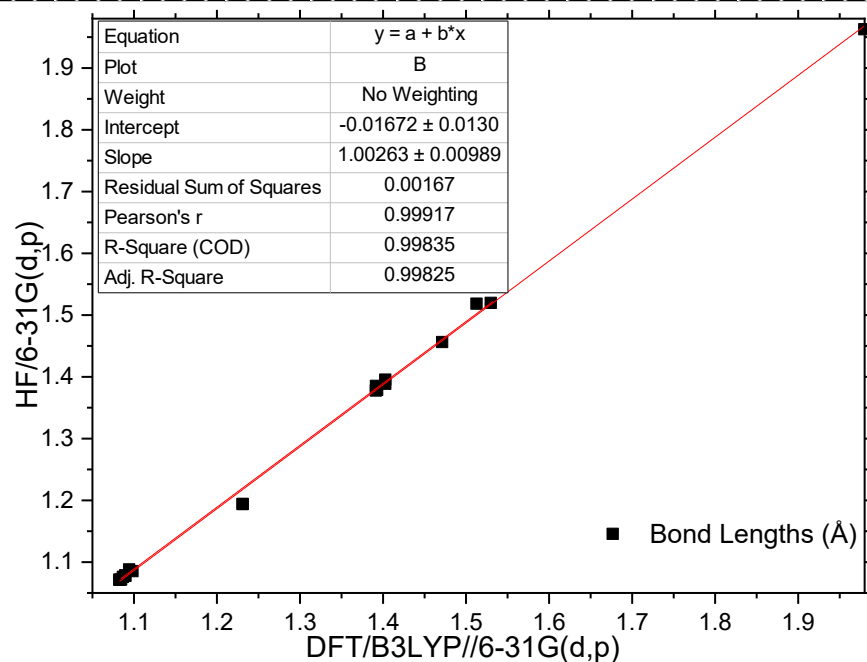


**Figure 2.** Correlations between calculated bond lengths using HF and B3LYP calculation levels for p-nitrophenethyl bromide compound.

In contrast, the DFT/B3LYP method incorporates electron correlation through the exchange–correlation functional, allowing a more realistic description of electron density distribution within the molecule. Consequently, DFT calculations provide improved representations of  $\pi$ -electron delocalization, lone-pair interactions, and intramolecular charge redistribution, effects that become more pronounced in the subsequent charge density, electrostatic potential, and frontier molecular orbital analyses.

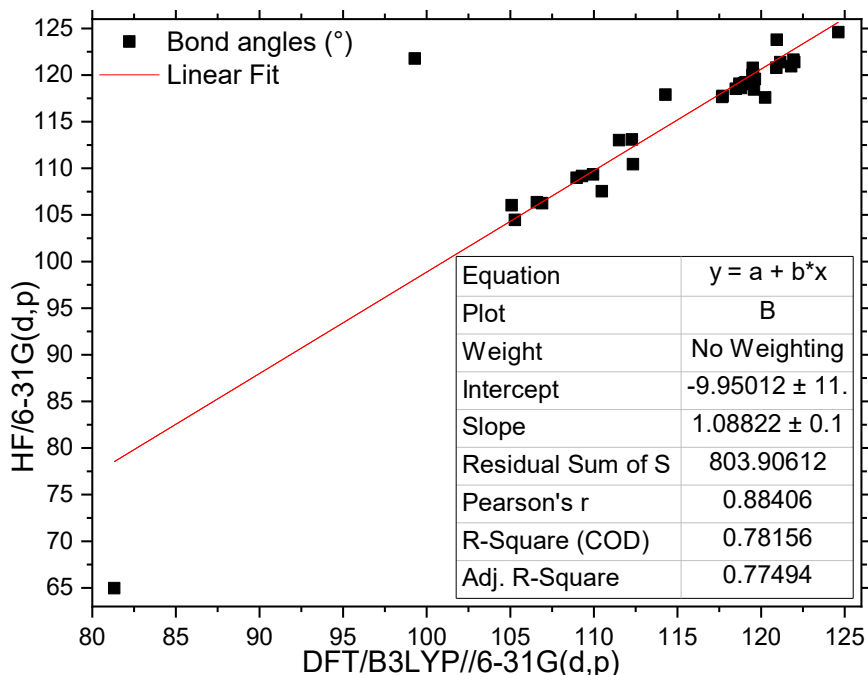




**Figure 3.** Correlations between calculated bond angles based on HF and B3LYP calculation levels for p-nitrophenethyl bromide compound

As for the numerical parameters, within the aromatic ring, the calculated C–C bond lengths typically fall within the range of approximately 1.3913–1.4027 Å and 1.3778–1.3955 Å at the DFT/B3LYP//6-31G(d,p) and HF/6-31G(d,p) calculation methods, respectively, which is consistent with the expected values for benzene-like systems exhibiting  $\pi$ -electron delocalization. Small variations in these bond distances arise from the electronic influence of the electron-withdrawing nitro group and the electron-modifying bromoethyl substituent, which perturb the electron density distribution across the ring. Another carbon-carbon bond between C3 and C14 atoms is calculated to be about 1.5126 Å and 1.5185 Å using DFT and HF calculation models, respectively. At the same time, the N–O bond lengths within the nitro group are calculated to be approximately 1.2308 Å (N11-O12) and 1.2311 Å (N11-O13) at DFT/B3LYP calculation method and 1.1939 (N11-O12) Å and 1.1942 Å (N11-O13) at HF level of theory, indicating the partial double-bond character associated with resonance stabilization of the –NO<sub>2</sub> group. The C–N bond (1.4712 Å in DFT and 1.4563 Å in HF) connecting the nitro group to the aromatic ring exhibits a length typical for nitro-substituted aromatic systems, indicating significant conjugation between the nitro group and the benzene  $\pi$  system.

**Table 1.** Theoretical optimized geometric parameters of p-nitrophenethyl bromide compound

| Atoms    | Bond lengths (Å)     |               |
|----------|----------------------|---------------|
|          | DFT/B3LYP/6-31G(d,p) | HF/6-31G(d,p) |
| C1-C2    | 1.3915               | 1.3854        |
| C1-C6    | 1.3930               | 1.3786        |
| C1-H7    | 1.0825               | 1.0715        |
| C2-C3    | 1.4027               | 1.3887        |
| C2-H8    | 1.0847               | 1.0718        |
| C3-C4    | 1.4027               | 1.3955        |
| C3-C14   | 1.5126               | 1.5185        |
| C4-C5    | 1.3913               | 1.3778        |
| C4-H9    | 1.0867               | 1.076         |
| C5-H10   | 1.0825               | 1.0714        |
| C6-N11   | 1.4712               | 1.4563        |
| H8-Br20  | 3.1881               | 2.8421        |
| N11-O12  | 1.2308               | 1.1939        |
| N11-O13  | 1.2311               | 1.1942        |
| C14-H15  | 1.0943               | 1.0881        |
| C14-C16  | 1.5297               | 1.5198        |
| C14-H19  | 1.0983               | 1.0853        |
| C16-H17  | 1.0894               | 1.0784        |
| C16-H18  | 1.0897               | 1.0775        |
| C16-Br20 | 1.9796               | 1.9627        |

In the bromoethyl side chain, the C–Br bond length is calculated to be approximately 1.9796 Å and 1.9627 Å, which is consistent with typical alkyl bromide bond distances using DFT and HF calculation models,

respectively. The C–C bond length (carbon-carbon bond between C14 and C16 atoms) within the ethyl fragment is found to be around 1.5126 Å and 1.5185 Å (characteristic of single  $\sigma$ -bonds) using DFT and HF calculation models, respectively. The presence of the heavy bromine atom slightly polarizes the side chain, influencing the local charge distribution and potentially enhancing electrophilic reactivity at adjacent carbon sites. Further, the distance between hydrogen and bromine atoms (H8-Br20) is calculated to be about 3.1881 and 2.8421 Å, as seen in Table 1.

Besides, the bond length distances between carbon and hydrogen atoms are found to be about 1.0825-1.0983 Å at DFT/B3LYP and 1.0714-1.0881 Å at HF calculation levels.

Bond angles within the aromatic ring are found to be close to 120° (in Table 2), consistent with  $sp^2$  hybridization and the planar geometry of the benzene framework. Minor deviations from the ideal angle arise from substituent effects and intramolecular electronic interactions. The nitro group is predicted to lie nearly coplanar with the aromatic ring, facilitating  $\pi$ -conjugation and electron delocalization between the nitro group and the benzene ring.

**Table 2** DFT and HF calculated bond angles (°) of p-nitrophenethyl bromide

| Atoms       | Bond angles (°) |          |
|-------------|-----------------|----------|
|             | DFT             | HF       |
| C2-C1-C6    | 118.7042        | 119.0608 |
| C2-C1-H7    | 121.8046        | 120.9415 |
| C6-C1-H7    | 119.4912        | 119.9974 |
| C1-C2-C3    | 120.916         | 120.7788 |
| C1-C2-H8    | 119.5753        | 118.4458 |
| C3-C2-H8    | 119.5063        | 120.7623 |
| C2-C3-C4    | 118.8054        | 118.6109 |
| C2-C3-C14   | 120.9396        | 123.7911 |
| C4-C3-C14   | 120.2439        | 117.5973 |
| C3-C4-C5    | 121.1479        | 121.3818 |
| C3-C4-H9    | 119.6292        | 119.5809 |
| C5-C4-H9    | 119.2216        | 119.0371 |
| C4-C5-C6    | 118.4849        | 118.5201 |
| C4-C5-H10   | 121.986         | 121.3915 |
| C6-C5-H10   | 119.5283        | 120.0879 |
| C1-C6-C5    | 121.9415        | 121.6464 |
| C1-C6-N11   | 119.0687        | 119.2288 |
| C5-C6-N11   | 118.9891        | 119.1248 |
| C2-H8-Br20  | 99.2847         | 121.7753 |
| C6-N11-O12  | 117.7019        | 117.7481 |
| C6-N11-O13  | 117.6764        | 117.6474 |
| O12-N11-O13 | 124.6217        | 124.6045 |
| C3-C14-H15  | 110.4782        | 107.5457 |
| C3-C14-C16  | 114.2796        | 117.8942 |
| C3-C14-H19  | 109.2945        | 109.1709 |
| H15-C14-C16 | 108.9701        | 108.9778 |

|              |          |          |
|--------------|----------|----------|
| H15-C14-H19  | 106.9029 | 106.2612 |
| C16-C14-H19  | 106.5948 | 106.3629 |
| C14-C16-H17  | 111.5083 | 113.0187 |
| C14-C16-H18  | 112.3356 | 110.4346 |
| C14-C16-Br20 | 112.272  | 113.0905 |
| H17-C16-H18  | 109.9545 | 109.3501 |
| H17-C16-Br20 | 105.0812 | 106.0327 |
| H18-C16-Br20 | 105.2759 | 104.4688 |
| H8-Br20-C16  | 81.316   | 64.9684  |

To sum up, the optimized geometry reveals that the molecule maintains a largely planar aromatic core, while the bromoethyl substituent adopts a slightly twisted conformation relative to the ring plane. This structural arrangement minimizes steric interactions while allowing efficient electronic communication within the conjugated system. The obtained geometrical parameters are consistent with previously reported theoretical values for similar nitro-substituted aromatic compounds, confirming the reliability of the computational approach.

### 3.2 Thermochemical Properties of p-Nitrophenethyl Bromide

The thermochemical characteristics of p-nitrophenethyl bromide molecule are investigated using the DFT/B3LYP and HF method with the 6-31G(d,p) basis set in order to evaluate the energetic stability, thermal behavior, and polarity of the molecule. Thermodynamic parameters derived from the optimized geometry, including zero-point vibrational energy (ZPVE), thermal corrections, entropy, heat capacity, dipole moment, and rotational constants, are summarized in Table 3.

The zero-point vibrational energy values are calculated by applying the standard scaling factor of 0.977 for B3LYP and 0.909 for HF method to correct systematic overestimations of harmonic vibrational frequencies. The optimized molecular structure exhibits a stable minimum energy configuration, confirming the energetic stability of the molecular framework. The calculated total electronic energy obtained from the DFT/B3LYP calculations reflects the strong stabilization associated with  $\pi$ -electron delocalization within the aromatic ring and the electron-withdrawing nature of the nitro group. According to the table, the most stable structure possesses total electronic energy of -3086.49793887 a.u. and -3081.56762631 a.u. at B3LYP/6-31G(d,p) and HF/6-31G(d,p) levels of calculation. The zero-point vibrational energy contributes significantly to the overall thermodynamic stability of the system and reflects the intrinsic vibrational motions associated with the aromatic framework and substituent groups. The presence of the nitro group ( $-\text{NO}_2$ ) and bromoethyl substituent ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Br}$ ) introduces additional vibrational modes associated with N–O stretching, C–N bonding, and C–Br vibrations, which contribute to the thermal energy distribution within the molecule. On this basis, the scaled ZPVE values are found to be about 92.26389384 and 92.31561297 kcal.mol<sup>-1</sup> using DFT and HF method, with

zero-point corrections of 0.150493 and 0.161842 kcal.mol<sup>-1</sup>, respectively. These values confirm the intrinsic energetic stability of the optimized molecular framework and indicate partial  $\pi$ -electron delocalization across the aromatic, carbonyl, and thiocarbonyl groups.

**Table 3.** Fundamental thermodynamic quantities: entropies (cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), zero-point energies (kcal mol<sup>-1</sup>), heat capacities (cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), zero-point corrections (Hartree/Particle), dipole moment (Debye), and rotational constants (GHz) for p-nitrophenethyl bromide

| Parameters                                  | DFT/B3LYP//6-31(d,p) | HF/6-31(d,p)   |
|---------------------------------------------|----------------------|----------------|
| Total energy                                | -3086.49793887       | -3081.56762631 |
| Zero-point vibrational energy               | 92.26389384          | 92.31561297    |
| Zero-point correction                       | 0.150493             | 0.161842       |
| Thermal correction to Energy                | 0.161305             | 0.172072       |
| Thermal correction to Enthalpy              | 0.162249             | 0.173017       |
| Thermal correction to Gibbs Free Energy     | 0.110769             | 0.173017       |
| Sum of electronic and zero-point Energies   | -3086.347446         | -3081.405784   |
| Sum of electronic and thermal Energies      | -3086.336634         | -3081.395554   |
| Sum of electronic and thermal Enthalpies    | -3086.335690         | -3081.394610   |
| Sum of electronic and thermal Free Energies | -3086.387170         | -3081.445736   |
| Rotational constant                         | 1.63912              | 1.93022        |
|                                             | 0.27448              | 0.25160        |
|                                             | 0.25173              | 0.22878        |
| Entropy                                     |                      |                |
| Total                                       | 108.348              | 107.603        |
| Translational                               | 42.187               | 42.187         |
| Rotational                                  | 32.318               | 32.337         |
| Vibrational                                 | 33.843               | 33.079         |
| Heat capacity                               |                      |                |
| Total                                       | 39.442               | 36.618         |
| Translational                               | 2.981                | 2.981          |
| Rotational                                  | 2.981                | 2.981          |
| Vibrational                                 | 33.481               | 30.656         |
| Thermal Energy                              |                      |                |
| Total                                       | 101.220              | 107.977        |
| Translational                               | 0.889                | 0.889          |
| Rotational                                  | 0.889                | 0.889          |
| Vibrational                                 | 99.443               | 106.200        |
| $\mu_x$                                     | 4.0619               | 4.2743         |
| $\mu_y$                                     | 3.3731               | 3.5871         |
| $\mu_z$                                     | 1.0882               | 1.3504         |
| $\mu$                                       | 5.3908               | 5.7411         |

The calculated entropy value arises from the combined translational, rotational, and vibrational contributions, with vibrational motion providing the dominant contribution due to the relatively large number of vibrational

degrees of freedom associated with the substituted aromatic structure. As for the numerical values, the entropy is calculated to be approximately 108.348 and 107.603 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, comprising translational (42.187 and 42.187 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), rotational (32.318 and 32.337 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), and vibrational (33.843 and 33.079 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>) contributions. Similarly, the molar heat capacity at constant volume ( $C_v$ ) displays the molecule's ability to store thermal energy through vibrational excitations of its functional groups and aromatic ring. Table 3 shows that the molecule has total  $C_v$  of 39.442 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, 2.981 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> for translational, 2.981 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> for rotational and, 33.481 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> for vibrational parts at DFT computational model as against the values of 36.618 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> for total, 2.981 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> for translational, 2.981 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> for rotational and, 30.656 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> for vibrational parts at HF theoretical calculation method, respectively. The calculated rotational constants (A, B, and C) confirm that p-nitrophenethyl bromide behaves as an asymmetric top molecule, which is expected for a substituted aromatic compound containing both planar and non-planar fragments. The bromoethyl chain introduces slight asymmetry and rotational flexibility, while the aromatic ring and nitro group largely maintain planar geometry. Numerically, the rotational constants are computed to be about 1.63912 (1.93022) GHz, 0.27448 (0.25160) GHz, and 0.25173 (0.22878) GHz, presenting an asymmetric top molecular configuration. Furthermore, total thermal energy values are determined as 101.220 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> and 107.977 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, containing 0.889 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> for translational and rotational parts whereas the vibrational contributions are calculated to be about 99.443 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> and 106.200 cal mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> at DFT/B3LYP//6-31G(d,p) and HF/6-31G(d,p) calculation levels of theory, respectively.

In addition, the total dipole moments are calculated as 5.3908 and 5.7411 D, including  $\mu_x$  of 4.0619 and 4.2743 D,  $\mu_y$  of 3.3731 and 3.5871 D,  $\mu_z$  of 1.0882 and 1.3504 D at B3LYP and HF calculation methods, respectively. the computations indicate that the molecule possesses significant polarity. This strong polarity originates primarily from the electron-withdrawing nitro group and the polar C–Br bond, which generate a pronounced charge separation across the molecule. The resulting internal electric field enhances the ability of the molecule to participate in dipole–dipole interactions, intermolecular charge transfer processes, and molecular recognition mechanisms.

In conclusion, the thermochemical analysis indicates that p-nitrophenethyl bromide is an energetically stable and moderately polar molecular system, whose thermodynamic characteristics are governed by the interplay between aromatic  $\pi$ -electron delocalization, substituent effects, and intramolecular charge redistribution. These properties provide an important basis for understanding its electronic behavior and spectroscopic characteristics.

### 3.3 UV–Vis Spectral Analysis

The electronic absorption properties of p-nitrophenethyl bromide are investigated in order to understand its excited-state behavior and optical characteristics. The UV–Vis absorption spectrum is simulated using quantum

chemical calculations in the gas phase, and the main electronic transitions are analyzed in terms of excitation energies, oscillator strengths, and orbital contributions. The calculated electronic transitions are primarily associated with  $\pi \rightarrow \pi^*$  and  $n \rightarrow \pi^*$  excitations, as presented in Table 4. These transitions are typical for nitro-substituted aromatic systems, where the  $\pi$ -electron system of the benzene ring interacts with the non-bonding electron pairs of the nitro oxygen atoms. The presence of the strongly electron-withdrawing  $-\text{NO}_2$  group significantly modifies the electronic distribution of the aromatic ring, thereby influencing the absorption characteristics of the molecule.

The most intense absorption band in the simulated spectrum originates from a  $\pi \rightarrow \pi^*$  transition involving the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO). The HOMO is mainly localized over the aromatic ring and partially on the ethyl chain, while the LUMO is largely concentrated on the nitro group and the conjugated benzene system. This orbital overlap facilitates efficient intramolecular charge transfer (ICT) from the aromatic donor region toward the electron-accepting nitro group. The presence of such ICT transitions enhances the electronic polarizability of the molecule and contributes to its optical activity in the near-UV region. In addition, weaker  $n \rightarrow \pi^*$  transitions are observed due to excitations involving the non-bonding electron pairs of the oxygen atoms in the nitro group, which typically occur at slightly lower oscillator strengths.

**Table 4.** Theoretical absorption spectra for p-nitrophenethyl bromide

| CI-expansion coefficient |             |           |                 |                         |              |
|--------------------------|-------------|-----------|-----------------|-------------------------|--------------|
| Excitations              | Energy (eV) | Singlet-A | Wavelength (nm) | Oscillator strength (f) | Translations |
| Excited State 1          |             |           |                 |                         |              |
| 53→58                    | 1.3672      | 0.66613   | 906.84          | 0.0005                  | HOMO-4→LUMO  |
| 55→58                    |             | 0.11485   |                 |                         | HOMO-2→LUMO  |
| 57→58                    |             | 0.10345   |                 |                         | HOMO→LUMO    |
| Excited State 2          |             |           |                 |                         |              |
| 51→58                    | 1.9400      | 0.11209   | 639.08          | 0.0000                  | HOMO-6→ LUMO |
| 52→58                    |             | 0.66985   |                 |                         | HOMO-5→ LUMO |
| Excited State 3          |             |           |                 |                         |              |
| 57→58                    | 4.1815      | 0.57765   | 296.51          | 0.0995                  | HOMO→ LUMO   |
| 37→38                    |             |           |                 |                         |              |
| 57→59                    |             | -0.18479  |                 |                         | HOMO→LUMO+1  |

According to table, the first excited state ( $\lambda_{\text{max}}=906.84$  nm) is mainly attributed to an  $n \rightarrow \pi^*$  transition, originating from lone-pair electrons on heteroatoms interacting with aromatic  $\pi^*$  orbitals, and is weakly allowed ( $f =$



0.0005). The second absorption band at 639.08 nm corresponds to overlapping  $\pi \rightarrow \pi^*$  transitions enhanced by conjugation and electron delocalization within the aromatic framework, although it exhibits a very low oscillator strength ( $f \approx 0$ ). In contrast, the intense band observed at 296.51 nm ( $f = 0.0995$ ) is assigned to a strongly allowed  $\pi \rightarrow \pi^*$  transition involving aromatic C=C bonds and interactions with substituent groups. The simulated absorption spectrum therefore reflects the combined influence of aromatic conjugation, substituent-induced electron withdrawal, and molecular asymmetry. The calculated excitation energies are consistent with the HOMO–LUMO energy gap obtained from DFT calculations, confirming the internal consistency of the theoretical results.

To sum up, the UV–Vis spectral analysis indicates that p-nitrophenethyl bromide exhibits characteristic electronic transitions associated with aromatic  $\pi$ -systems and nitro-group charge transfer, suggesting potential relevance for applications involving photochemical processes, organic electronic materials, and molecular sensing systems.

### 3.4 Frontier Molecular Orbital (FMO) Analysis of p-Nitrophenethyl Bromide

Frontier molecular orbital (FMO) analysis provides valuable insight into the electronic structure, chemical reactivity, and charge-transfer behavior of molecular systems. In the present study, HOMO and LUMO of p-nitrophenethyl bromide are theoretically determined and visualized to elucidate the molecule's electronic characteristics and reactive tendencies. The HOMO generally represents the electron-donating capability of a molecule, whereas the LUMO describes its electron-accepting ability. The energy difference between these orbitals ( $\Delta E = E_{\text{HOMO}} - E_{\text{LUMO}}$ ) is widely used as a key indicator of molecular stability, electronic excitation probability, and chemical reactivity. Smaller HOMO-LUMO gaps typically correspond to enhanced electronic polarizability and greater reactivity, while larger gaps indicate higher kinetic stability.

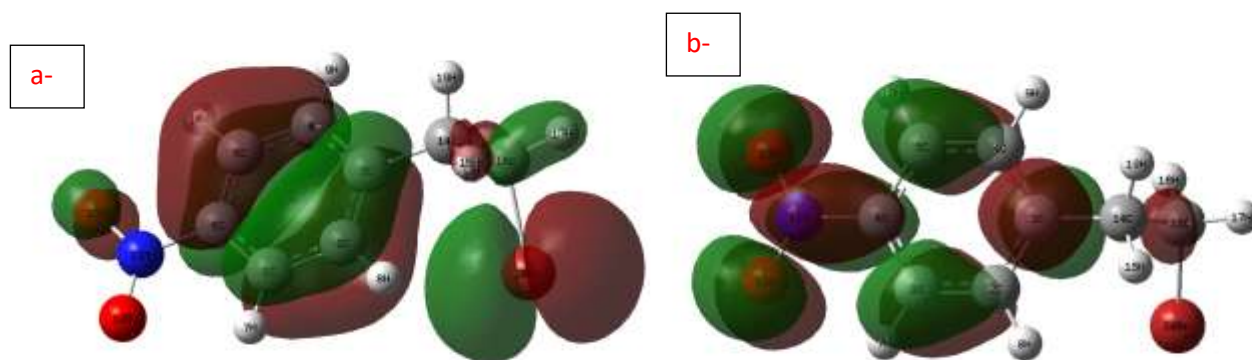


**Figure 4.** 3D spatial distributions of **a**-HOMO and **b**-LUMO orbitals belonging to p-nitrophenethyl bromide molecule

At the DFT/B3LYP/6-31G(d,p) level of theory, the calculated HOMO and LUMO energies reveal a moderate energy separation, indicating that p-nitrophenethyl bromide possesses a balanced combination of electronic stability and excitation capability. Visualization of the three-dimensional orbital distributions shows that the HOMO is primarily localized over the aromatic benzene ring (except for the hydrogen and branched oxygen atom), and partially over the ethyl chain, presenting the  $\pi$ -electron-rich donor region of the molecule. In contrast, the LUMO is predominantly distributed over the nitro group and adjacent aromatic carbon atoms. Also, Bromine and hydrogen atoms remained outside the bubble of LUMOs, which act as electron-accepting sites due to the strong electron-withdrawing nature of the  $-\text{NO}_2$  substituent.

This spatial separation between the HOMO and LUMO orbitals promotes efficient intramolecular charge transfer (ICT) from the electron-rich aromatic framework toward the electron-deficient nitro group. Such ICT processes are characteristic of donor–acceptor substituted aromatic molecules and are consistent with the electronic transitions observed in the UV–Vis spectral analysis.

Based on the FMO energies, several global reactivity descriptors were also evaluated to quantify the electronic behavior of the molecule. These parameters (provided in Table 5) include electronegativity (0.181465 a.u.), chemical hardness (0.092455 a.u.), chemical softness (5.5050922 a.u.), chemical potential (-0.181465 a.u.), and the electrophilicity index (0.1812831 a.u.). The calculated values indicate that the molecule exhibits a moderate degree of chemical hardness together with appreciable softness, suggesting that it can participate in both nucleophilic and electrophilic interactions.

**Table 5.** Calculated energies of p-nitrophenethyl bromide in ground state with singlet symmetry at B3LYP/6-31G(d,p) basis set.

| Quantities                                                            | Values     |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| Lowest MO Eigen value (a.u.)                                          | -482.90624 |
| Highest MO Eigen value (a.u.)                                         | 73.27194   |
| HOMO (a.u.)                                                           | -0.27392   |
| LUMO (a.u.)                                                           | -0.08901   |
| HOMO–LUMO gap (a.u.), $ \Delta E $                                    | 0.18491    |
| $\chi$ (Electronegativity) (a.u.), $[\text{IP} + \text{EA}]/2$        | 0.181465   |
| $\mu$ , Chemical potential, $-\text{[IP} + \text{EA}]/2$              | -0.181465  |
| $\eta$ (Chemical hardness) (a.u.) $[\text{IP} - \text{EA}]/2$         | 0.092455   |
| $\zeta$ (Softness) (a.u.) $^{-1}$ , $1/2\eta$                         | 5.5050922  |
| $\psi$ (Electrophilicity index) (a.u.), $\mu^2/2\eta$                 | 0.1812831  |
| Maximum charge transfer index ( $\Delta N_{\text{max}} = -\mu/\eta$ ) | 1.9627386  |

To sum up, the FMO analysis reveals that p-nitrophenethyl bromide possesses a donor–acceptor electronic structure, in which the aromatic ring functions as an electron donor while the nitro group acts as a strong electron acceptor. This electronic configuration facilitates charge transfer and polarization effects, which are

essential for understanding the molecule's spectroscopic properties, chemical reactivity, and potential applications in photochemical and electronic systems.

### 3.5 Electrostatic Potential and Molecular Electrostatic Potential Analysis of p-Nitrophenethyl Bromide

To further understand the charge distribution and reactive regions of the molecule, electrostatic potential (ESP) and molecular electrostatic potential (MEP) surfaces are simulated by means of the B3LYP/6-31G(d,p) level of theory. These graphical representations provide valuable information about the spatial distribution of electron density, enabling the identification of regions susceptible to electrophilic or nucleophilic attack. The ESP map with charge contours given in Fig. 5 reveals strongly negative potential regions localized around the oxygen, nitrogen, and bromide atoms, highlighting electron-rich sites that are prone to electrophilic attack and capable of acting as hydrogen-bond acceptors as a result of intramolecular charge transfer.

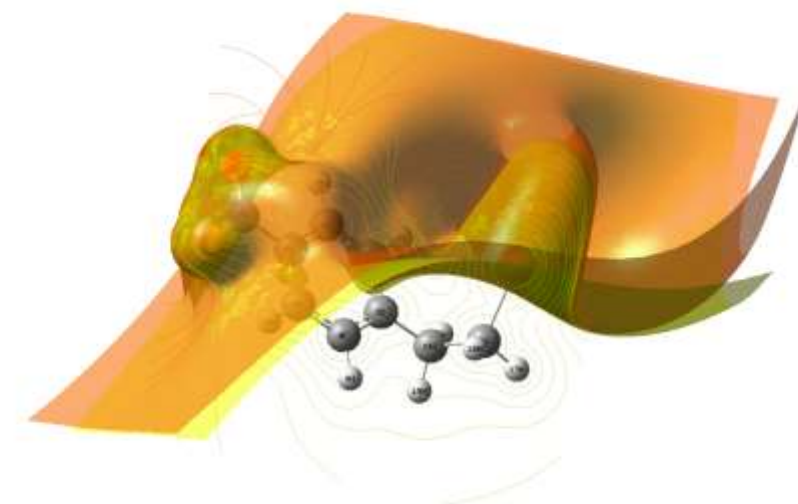


**Figure 5.** 3D plot for ESP map pertaining to p-nitrophenethyl bromide

The MEP surface reveals distinct regions of negative and positive electrostatic potential across the molecular framework, as provided in Fig. 6. The most negative potential regions (typically represented in red) are primarily localized around the oxygen atoms of the nitro group, indicating a high electron density in these regions. A slight reddish/negative tint has formed around the bromine atom. These sites are therefore favorable for electrophilic interactions and may serve as potential hydrogen-bond acceptor centers in intermolecular interactions. Conversely, positive electrostatic potential regions (commonly represented in blue) are mainly concentrated around the hydrogen atoms of the aromatic ring and the ethyl chain, as well as partially near the carbon atoms adjacent to the bromine substituent. These regions may act as hydrogen-bond donors or sites for nucleophilic interactions.

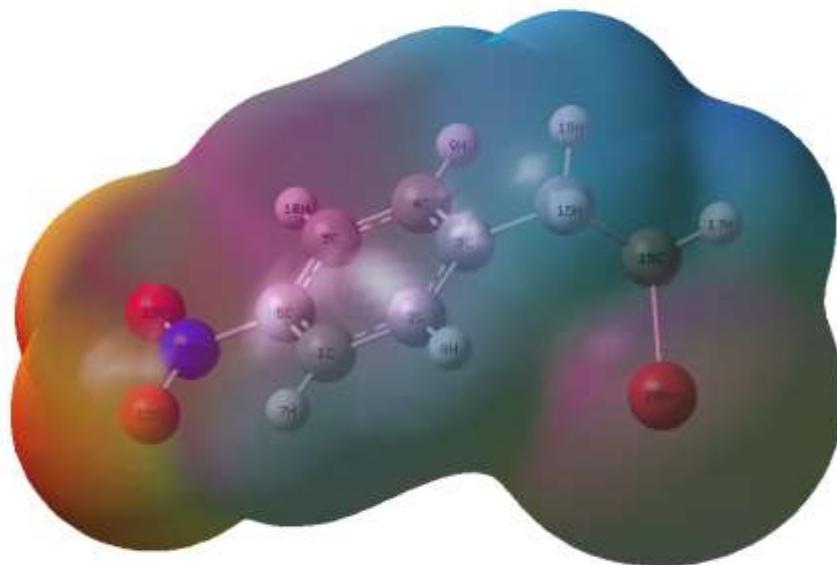


**Figure 6.** 3D plots of MEP image of p-nitrophenethyl bromide

Intermediate potential regions distributed over the benzene ring reflect the delocalized  $\pi$ -electron system characteristic of aromatic compounds. This balanced distribution of electron density contributes to the fundamental dipolar character of the p-nitrophenethyl bromide molecule, which arises from the combined effects of the electron-withdrawing nitro group and the polar C–Br bond.

The coexistence of clearly separated electron-rich and electron-deficient regions demonstrates the polarized electronic structure of p-nitrophenethyl bromide. Such polarization facilitates various non-covalent intermolecular interactions, including hydrogen bonding, electrostatic attraction, and  $\pi$ – $\pi$  stacking interactions.

When interpreted together with the FMO and UV–Vis analyses, the ESP and MEP results confirm the presence of efficient intramolecular charge-transfer pathways within the molecule. These features display that p-nitrophenethyl bromide possesses favorable electronic properties for photochemical processes, molecular recognition phenomena, and potential applications in organic functional materials.

#### 4. Conclusion

In this study, a detailed quantum-chemical investigation of p-nitrophenethyl bromide with the formula of  $C_8H_8BrNO_2$  is carried out using DFT/B3LYP and HF methods with the 6-31G(d,p) basis set so as to explore its structural, thermochemical, spectral, and fundamental electronic properties. Geometry optimization confirms that the molecule possesses a largely planar aromatic structure with a slightly twisted bromoethyl substituent, allowing effective  $\pi$ -electron delocalization within the benzene ring and interaction with the nitro functional group. The geometrical parameters predicted by DFT and HF calculation levels of theory show strong agreement, demonstrating the reliability of the computational approaches employed. Thermochemical analysis

reveals that the molecule is energetically stable and moderately flexible, with significant zero-point vibrational energies and a relatively high dipole moment indicating a strongly polarized molecular framework. The polarity mainly originates from the electron-withdrawing nitro group and the polar C–Br bond, which generate pronounced charge separation and enhance intermolecular interaction capability. The simulated UV–Vis absorption spectrum demonstrated that the electronic transitions are dominated by  $\pi \rightarrow \pi^*$  and  $n \rightarrow \pi^*$  excitations, with the most intense absorption band occurring at approximately 296 nm, corresponding to a strongly allowed aromatic  $\pi \rightarrow \pi^*$  transition. These electronic transitions are closely related to intramolecular charge-transfer processes between the aromatic ring and the nitro group. Frontier molecular orbital analysis revealed a donor–acceptor electronic structure, where the HOMO is mainly localized over the aromatic ring while the LUMO is concentrated around the nitro group. This spatial separation facilitates efficient intramolecular charge transfer, which is further supported by the calculated global reactivity descriptors indicating balanced nucleophilic and electrophilic tendencies. In addition, ESP and MEP surface analyses identified electron-rich regions around the nitro oxygen atoms and positive potential zones near hydrogen atoms and carbon atoms adjacent to the bromine substituent, highlighting potential reactive sites for intermolecular interactions.

All in all, the combined structural, thermochemical, and electronic analyses demonstrate that p-nitrophenethyl bromide possesses a polarized donor–acceptor electronic framework with well-defined reactive regions and favorable charge-transfer characteristics. The fundamental features obtained indicate that the molecule may be of interest in photochemical applications, supramolecular systems, and organic functional materials, while the present theoretical study provides a reliable foundation for future experimental and computational investigations.

## REFERENCES

- Ahamed, A., Samaranayake, P., Madhushan, L., Kooh, M. R. R., Koswattage, K. R., & Thotagamuge, R. (2025). Theoretical investigation into molecular level encapsulation and active layer strategies with carbon dot integration for micro-sized photovoltaic cell. *Journal of Molecular Modeling*, 31, Article 294. <https://doi.org/10.1007/s00894-025-06518-1>
- Becke, A. D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *The Journal of Chemical Physics*, 98(7), 5648–5652. <https://doi.org/10.1063/1.464913>
- Behar, D., & Neta, P. (1981). Intramolecular electron transfer and dehalogenation of anion radicals. 2. Halonitroaromatic compounds. *The Journal of Physical Chemistry*, 85(6), 690–693. <https://doi.org/10.1021/j150606a016>
- Buyukuslu, H., Akdogan, M., Yildirim, G., & Parlak, C. (2010). Ab initio Hartree-Fock and density functional theory study on characterization of 3-(5-methylthiazol-2-ylidiazenyl)-2-phenyl-1H-indole. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 75(4), 1362–1369.
- C, R., Alsuhaibani, A. M., Refat, M. S., Kempegowda, R. M., & Pandurangappa, C. (2025). Design of highly fluorescent imidazole-based metal-free D- $\pi$ -A dye for DSSC application. *Journal of Fluorescence*, 35, 9773–9790. <https://doi.org/10.1007/s10895-025-04278-y>
- Chatterjee, A. (2009). Chemical reactivity: Industrial application. In P. K. Chattaraj (Ed.), *Chemical reactivity theory: A density functional view* (pp. 503–520). CRC Press.
- Chatterjee, A. (2012). Application of reactivity indices within density functional theory to rationale chemical interactions. In M. V. Putz & D. M. P. Mingos (Eds.), *Applications of density functional theory to chemical reactivity* (pp. 159–186). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32753-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32753-7_5)
- Danova, A., Christy, A. C., Musthapa, I., Kurniadewi, F., Chavasiri, W., Mujahidin, D., Roswanda, R., & Hermawati, E. (2025). Discovery of new acetylcholinesterase inhibitors derived from quinazolinones: Synthesis, in vitro, and molecular docking study. *Pharmacia*, 72, 1–10. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.72.e162676>
- de Jong, J. A. (2022). Expanding the scope of clickable azide-functionalized nanoclusters to include Au<sub>144</sub> (Master's thesis, Western University). *Scholarship@Western*. <https://ir.lib.uwo.ca/etd/9008/>
- Dennington, R., Keith, T., & Millam, J. (2007). *GaussView* (Version 4.1.2) [Computer software]. Semichem, Inc.
- Devi, T. L., Devi, M. M., & Singh, O. M. (2025). DES mediated regioselective and domino synthesis of indole-coumarin hybrids with investigations of their photophysical properties. *ChemistrySelect*, 10(27), e202503785. <https://doi.org/10.1002/slct.202503785>
- Dhungana, T., Hashimoto, H., Nagata, K., & Tobita, H. (2025). Catalytic hydrosilylation of carbonyl compounds by a germylyne complex with a Mo $\equiv$ Ge triple bond [Preprint]. *ChemRxiv*. <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2025-1hc87>
- Franci, M. M., Pietro, W. J., Hehre, W. J., Binkley, J. S., Gordon, M. S., DeFrees, D. J., & Pople, J. A. (1982). Self-consistent molecular orbital methods. XXIII. A polarization-type basis set for second-row elements. *The Journal of Chemical Physics*, 77(7), 3654–3665. <https://doi.org/10.1063/1.444267>
- Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G. A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H. P., Izmaylov, A. F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J. L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida,



M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J. A., Jr., Peralta, J. E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J. J., Brothers, E., Kudin, K. N., Staroverov, V. N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J. C., Iyengar, S. S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J. M., Klene, M., Knox, J. E., Cross, J. B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R. E., Yazyev, O., Austin, A. J., Cammi, R., Pomelli, C., Ochterski, J. W., Martin, R. L., Morokuma, K., Zakrzewski, V. G., Voth, G. A., Salvador, P., Dannenberg, J. J., Dapprich, S., Daniels, A. D., Farkas, Ö., Foresman, J. B., Ortiz, J. V., Cioslowski, J., & Fox, D. J. (2009). Gaussian 09, revision A.02 [Computer software]. Gaussian, Inc.

Genç, F., & Kandemirli, F. (2026). Investigation of quantum chemical studies of niclosamide in different solvents using DFT calculations. *Journal of Molecular Modeling*, 32, Article 63. <https://doi.org/10.1007/s00894-026-06641-7>

Gökce, H., & Bahçeli, S. (2026). Biological evaluation, spectroscopic characterization and DFT computations of an oxalamide derivative (BFMO). *Journal of Molecular Structure*, 1349, 143654. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2025.143654>

Gökce, H., Bahçeli, S., & Alpaslan, G. (2024). Structural, vibrational, electronic, NLO and molecular docking analyses of two novel Cu(II) and Pd(II) complexes with pyridine and oxadiazole coordination. *Inorganic Chemistry Communications*, 168, 112852. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112852>

Gong, H., Xiao, J., Gao, H., Zhou, K., Yang, R., & Cai, C. (2026). Replacing low-boiling-point amines: Electrocatalytic phosphinamide synthesis with liquid formamide reagents. *Green Chemistry*, 28, 5047–5053. <https://doi.org/10.1039/D5GC06344B>

Hussein, H. A. (2026). DFT-based theoretical investigation of structural stability, electronic, vibrational, NMR (<sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C), NLO, and thermodynamic properties of substituted 2-hydroxy naphthoyl chalcones. *Theoretical Chemistry Accounts*, 145, Article 17. <https://doi.org/10.1007/s00214-025-03257-7>

Jamal, S., Arshad, M., Mehfooz, M., Qin, W., Alhokbany, N., & Ojha, S. C. (2026). Molecular modeling of indole-based materials with efficient electron withdrawing moieties to enhance optical nonlinearity: Quantum chemical investigation. *Arabian Journal of Chemistry*, 19, 1–13. [https://doi.org/10.25259/AJC\\_401\\_2025](https://doi.org/10.25259/AJC_401_2025)

Johnson, A. M., V, K., & K., N. (2025). A theoretical studies on the energetic properties of triazole-benzene and triazole-pyridine derivatives. *Journal of Molecular Modeling*, 31, Article 261. <https://doi.org/10.1007/s00894-025-06484-8>

Khan, M., Sarwar, F., Gull, K., Arshad, M., Shafiq, I., Arshad, M. N., Alzahrani, K. A., Zhang, G., Shah, M., & Jawaria, R. (2026). DFT insights into the photovoltaic performance of A– $\pi$ –A non-fullerene acceptors for organic solar cells. *Scientific Reports*, 16, Article 9842. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-40331-x>

Konkala, A., & Narra, M. R. (2024). Comparative study on biochemical responses to imidacloprid and clothianidin in cockroaches (*Blattella germanica*). *Physiological Entomology*, 49(4), 401–411. <https://doi.org/10.1111/phen.12458>

Kumar, G. S. (1992). Azo functional polymers: Functional group approach in macromolecular design. Technomic Publishing.

Larson, N. G., Sandin, M. P., & Neufeldt, S. R. (2026). Selectivity for exhaustive cross-coupling of dihaloarenes is affected by the interplay between the halide byproduct, solvent, and ligand. *Organometallics*, 45(6), 651–659. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.5c00423>

- Ma, M., Wu, X., Wang, X., Sun, J., Tian, G., Liu, H., & Su, Z. (2025). Specific microenvironment modulation around Zr clusters via linker engineering in metal-organic frameworks for enhanced catalytic transfer hydrogenation. *Chemical Engineering Journal*, 526, 171169. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.171169>
- Mueller, M., & Hohlneicher, G. (1990). Prediction by AM1 of more reasonable geometries for 1,2-diphenylcycloalkenes than by other semiempirical MO methods. *Journal of the American Chemical Society*, 112(3), 1273–1274.
- Naiknaware, N., Deshmukh, A. H., & Chavan, S. S. (2026). Multifunctional binuclear Ru(III) complexes with alkynyl-imine bridges: Electrochemical, luminescent, and nonlinear optical properties. *Journal of Fluorescence*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10895-026-04735-2>
- Olaleye, S. O., Adegboye, T. S., & Adegoke, O. A. (2025). Photophysical properties of phenylazoquinolin-8-ol dyes: Correlation of experimental and theoretical data. *Walisongo Journal of Chemistry*, 8(1), 24–37. <https://doi.org/10.21580/wjc.v8i1.22957>
- Parlak, C., Akdogan, M., Yildirim, G., Karagoz, N., Budak, E., & Terzioglu, C. (2011). Density functional theory study on the identification of 3-[(2-morpholinoethylimino)methyl]benzene-1,2-diol. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(1), 263–271.
- Pawara, D. B., Ravi, K., Gupta, A. R., Sharma, S., & Biradar, A. V. (2025). SO<sub>3</sub>H functionalized polystyrene resin as an efficient solid acid catalyst for aromatic nitration reactions. *ChemistrySelect*, 10(22), e202403963. <https://doi.org/10.1002/slct.202403963>
- Qi, R., Zhao, Y., Lei, J., Jia, H., & Feng, C. (2026). Nitro-electron trapping engineering for enhanced BPA degradation by metal-free nitro-COFs. *Separation and Purification Technology*, 390, 136975.
- Ritchie, C. D., Kubisty, C., & Ting, G. Y. (1983). Cation-anion combination reactions. 22. Rate and equilibrium constants for reactions of pyronin and thiopyronin with nucleophiles. *Journal of the American Chemical Society*, 105(2), 279–284.
- Stephens, P. J., Devlin, F. J., Chabalowski, C. F., & Frisch, M. J. (1994). Ab initio calculation of vibrational absorption and circular dichroism spectra using density functional force fields. *The Journal of Physical Chemistry*, 98(45), 11623–11627. <https://doi.org/10.1021/j100096a001>
- Su, X., Wei, W., Ding, Z., Li, J., Li, J., & Mo, J. (2026). Electrochemically driven reductive coupling of nitroarenes with alkyl bromides. *Organic Chemistry Frontiers*, 13, 1517–1522. <https://doi.org/10.1039/D5QO01269D>
- Takamuku, S., & Yamamoto, Y. (2024). Pulse radiolysis study related to organic synthesis. In Y. Tabata (Ed.), *Pulse radiolysis of irradiated systems* (pp. 431–450). CRC Press.
- Vararattanavech, A., & Kettermann, A. J. (2003). Multiple roles of glutathione binding-site residues of glutathione S-transferase. *Protein and Peptide Letters*, 10(5), 441–448. <https://doi.org/10.2174/0929866033478654>
- Vararattanavech, A., Prommeenate, P., & Kettermann, A. J. (2006). The structural roles of a conserved small hydrophobic core in the active site and an ionic bridge in domain I of delta class glutathione S-transferase. *Biochemical Journal*, 393(1), 89–95. <https://doi.org/10.1042/BJ20050555>
- Wongsantichon, J., Robinson, R. C., & Kettermann, A. J. (2010). Structural contributions of delta class glutathione transferase active-site residues to catalysis. *Biochemical Journal*, 428(1), 25–32. <https://doi.org/10.1042/BJ20091939>

Young, D. C. (2001). Computational chemistry: A practical guide for applying techniques to real-world problems. John Wiley & Sons.

Zada, L., Ali, M., Latif, A., Waqar, M., Ullah, A., Halim, S. A., Khan, A., Ahmad, M., Abdullah, M. H., Abdellattif, M. H., & Al-Harrasi, A. (2025). Development of hydroxybenzaldehyde-based pyrimidine-2-one scaffolds: Synthesis, characterization, and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity. Results in Chemistry, 18, 102865. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102865>

Zhang, X., Guo, J., & Peng, X. (2026). Density functional theory study on the structure and energy properties of high-energy-density materials based on trinitrophenyl azacyclic compounds. Journal of Molecular Modeling, 32, Article 76. <https://doi.org/10.1007/s00894-026-06651-5>

**P-NİTROFENETİL BROMÜRÜN YAPISAL, TİTREŞİMSSEL, NMR VE YÜK DAĞILIMI  
ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI HF VE DFT ANALİZİ**

**Öğr. Gör. Dr. Nuri Alper METİN<sup>1</sup>, Prof. Dr., Asaf Tolga ÜLGİN<sup>2</sup>, Doç. Dr. Ümit ERDEM<sup>3</sup> ve  
Prof. Dr. Gürcan YILDIRIM<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Elektronik  
Haberleşme Teknolojisi Pr., nurialpermetin@kku.edu.tr, 0000-0002-9962-917X

<sup>2</sup>Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
ulgen\_at@sirnak.edu.tr, 0000-0002-7112-5607

<sup>3</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Elektronik  
Haberleşme Teknolojisi Pr., umiterdem@kku.edu.tr, 0000-0002-0480-8176

<sup>4</sup>Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
yildirim\_g@ibu.edu.tr, 0000-0002-5177-3703

**Özet**

C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>BrNO<sub>2</sub> kimyasal formülüne sahip p-nitrofenetil bromürün kapsamlı bir teorik incelemesi, hem ab initio Hartree-Fock (HF) hem de yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Molekülün yapısal ve spektroskopik özelliklerine elektron korelasyonunun etkisini araştırmak amacıyla, HF ve B3LYP seviyelerinde 6-31G(d,p) temel seti ile geometri optimizasyonları ve elektronik yapı hesaplamaları yapılmıştır. Her iki hesaplama yaklaşımından elde edilen optimize edilmiş geometrik parametreler iyi bir tutarlılık göstermekte ve benimsenen teorik çerçevenin güvenilirliğini doğrulamaktadır. Bununla birlikte, elektron korelasyon etkilerinin dahil edilmesi nedeniyle DFT/B3LYP sonuçları, mevcut deneysel verilerle daha yakın bir uyum göstermektedir. Molekülün fizikoşimik özelliklerini aydınlatmak için titreşim frekansı hesaplamaları, Raman aktiviteleri, indirgenmiş kütleler, kuvvet sabitleri, kızılötesi yoğunlukları, depolarizasyon oranları, nükleer manyetik rezonans (1H ve 13C) kimyasal kaymaları ve Mulliken ve Atomik Polar Tensör (APT) şemalarına dayalı atomik yük dağılımları dahil olmak üzere bir dizi teorik analiz yürütülmüştür. Titreşim frekansları, anharmoniklik ve sistematik hesaplama hatalarını düzeltmek için uygun şekilde ölçeklendirilmiştir. Teorik IR ve Raman spektrumları, aromatik halka, nitro sübstituent ve bromoetil yan zincirinin karakteristik spektral özelliklerini yüksek doğrulukla yeniden üretmektedir. GIAO yaklaşımı, referans olarak tetrametilsilan (TMS) kullanılarak teorik 1H ve 13C NMR kimyasal kaymalarını hesaplamak için de kullanılmıştır. B3LYP seviyesinde hesaplanan NMR parametreleri, özellikle aromatik iskelet üzerindeki güçlü elektron çekici –NO<sub>2</sub> grubunun neden olduğu kalkanlama etkilerinin tanımlanmasında, HF sonuçlarına kıyasla deneysel eğilimlerle daha iyi bir uyum göstermektedir. Ek olarak, Mulliken ve APT yük analizleri, nitro grubu, aromatik halka ve bromoetil sübstitüenti arasında önemli bir molekül içi yük yeniden dağılımını ortaya koyarak, kayda değer elektronik polarizasyon ve konjugatif etkileşimlerin varlığını göstermektedir. Özetle, bu teorik çalışma, p-nitrofenetil bromürün yapısal, spektroskopik ve elektronik özelliklerinin ayrıntılı bir tanımını sunarak, B3LYP/6-31G(d,p) teori seviyesinin sübstitüe aromatik sistemler için güvenilir tahminler sunduğunu göstermektedir. Sonuçlar, nitro-sübstitüe aromatik bileşiklerin kimyasal

reaktivitesini ve potansiyel uygulamalarını tahmin etmek için gerekli olan elektron delokalizasyonu, sübstitüent etkileri ve molekül içi yük transfer süreçlerinin daha derinlemesine anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** p-Nitrofenetil bromür; HF; DFT; Titreşim spektroskopisi; NMR kimyasal kaymaları; Atomik yük dağılımı

## COMPARATIVE HF AND DFT ANALYSIS OF THE STRUCTURAL, VIBRATIONAL, NMR AND CHARGE DISTRIBUTION PROPERTIES OF P-NITROPHENETHYL BROMIDE

### Abstract

A comprehensive theoretical investigation of p-nitrophenethyl bromide with the chemical formula of  $C_8H_8BrNO_2$  is carried out using both ab initio Hartree–Fock (HF) and density functional theory (DFT) methods. Geometry optimizations and electronic structure calculations are performed at the HF and B3LYP levels with the 6-31G(d,p) basis set so as to investigate the influence of electron correlation on the structural and spectroscopic properties of the molecule. The optimized geometrical parameters obtained from both computational approaches exhibit good consistency, confirming the reliability of the adopted theoretical framework. However, the DFT/B3LYP results show closer agreement with available experimental data due to the inclusion of electron correlation effects. A series of theoretical analyses are conducted to elucidate the physicochemical characteristics of the molecule, including vibrational frequency calculations, Raman activities, reduced masses, force constants, infrared intensities, depolarization ratios, nuclear magnetic resonance ( $^1H$  and  $^{13}C$ ) chemical shifts, and atomic charge distributions based on Mulliken and Atomic Polar Tensor (APT) schemes. The vibrational frequencies are scaled appropriately to correct for anharmonicity and systematic computational errors. The theoretical IR and Raman spectra reproduce the characteristic spectral features of the aromatic ring, nitro substituent, and bromoethyl side chain with good accuracy. The GIAO approach is also employed to calculate theoretical  $^1H$  and  $^{13}C$  NMR chemical shifts using tetramethylsilane (TMS) as a reference. The calculated NMR parameters at the B3LYP level show better agreement with experimental trends compared with the HF results, particularly in describing the deshielding effects caused by the strongly electron-withdrawing  $-NO_2$  group on the aromatic framework. In addition, Mulliken and APT charge analyses reveal significant intramolecular charge redistribution between the nitro group, aromatic ring, and bromoethyl substituent, indicating the presence of notable electronic polarization and conjugative interactions.

To sum up, the present theoretical study provides a detailed description of the structural, spectroscopic, and electronic properties of p-nitrophenethyl bromide, demonstrating that the B3LYP/6-31G(d,p) level of theory offers reliable predictions for substituted aromatic systems. The results contribute to a deeper understanding of electron delocalization, substituent effects, and intramolecular charge transfer processes, which are essential for predicting the chemical reactivity and potential applications of nitro-substituted aromatic compounds.

**Keywords:** p-Nitrophenethyl bromide; HF; DFT; Vibrational spectroscopy; NMR chemical shifts; Atomic charge distribution

## 1. INTRODUCTION

Halogenated nitroaromatic compounds constitute an important class of organic molecules due to their extensive applications in synthetic organic chemistry, pharmaceutical intermediates, functional materials, and energetic compounds (Alex et al., 2017; Auer et al., 1998; Cao et al., 2023; Castro-Ferreira et al., 2012; Chen et al., 2025; Chatterjee et al., 2012; Duan et al., 2022; Hong et al., 2026; Niyirora & Cyganowski, 2025; Pietrowski, 2012; Semnani & Keshavarz, 2010). Among the derivatives, p-nitrophenethyl bromide represents a particularly interesting system because it simultaneously contains a strongly electron-withdrawing nitro group and a reactive bromoethyl substituent attached to an aromatic ring. The coexistence of these functional groups creates a chemically versatile molecular framework that plays a significant role in determining the compound's electronic structure, reactivity patterns, and intermolecular interaction characteristics. In particular, the bromide moiety acts as an efficient leaving group, enabling the molecule to participate in various nucleophilic substitution reactions and synthetic transformations widely used in organic chemistry (Konkala & Narra, 2024). In addition, halogenated aromatic derivatives are frequently involved in cross-coupling reactions that provide important pathways for the synthesis of advanced functional molecules and polymers (Gong et al., 2026; Larson et al., 2026). The presence of these substituents therefore makes p-nitrophenethyl bromide an attractive precursor for numerous chemical modifications and functionalization processes.

Nitro-substituted aromatic compounds with the  $-\text{NO}_2$  group have long attracted considerable attention because of their unique electronic and structural properties. The  $-\text{NO}_2$  group, acting as a strong electron-withdrawing substituent through both inductive and resonance effects, significantly alters the electron density distribution of the aromatic ring (Naiknaware et al., 2026; Qi et al., 2026). This perturbation influences molecular stability, polarity, and chemical reactivity, while also affecting intermolecular interactions such as hydrogen bonding, dipole-dipole interactions, and  $\pi$ - $\pi$  stacking phenomena (Alsuhaibani et al., 2025; Genç & Kandemirli, 2026; Hussein, 2026; Khan et al., 2026; Ma et al., 2025). Such electronic modifications are particularly important in determining the physicochemical behavior of substituted benzene derivatives and their potential applications in pharmaceuticals, dyes, and functional organic materials (Khan et al., 2026; Ma et al., 2025). At the same time, the bromoethyl side chain provides an electrophilic reaction center capable of undergoing substitution reactions, polymerization processes, and other transformations frequently employed in synthetic chemistry (Danova et al., 2025; Kumar, 1992). Consequently, molecules containing both nitro and halogen functionalities serve as valuable model systems for investigating structure-property relationships in substituted aromatic compounds.



In recent decades, quantum chemical computational methods have become indispensable tools for studying the structural and electronic properties of molecular systems at the atomic level. Among these methods, ab initio Hartree–Fock (HF) and density functional theory (DFT) approaches are widely used to predict molecular geometries, electronic distributions, thermodynamic parameters, vibrational spectra, and magnetic resonance properties with high accuracy (Buyukuslu et al., 2010). The theoretical techniques allow detailed evaluation of molecular properties that may be difficult to determine experimentally, including electron density distributions, frontier molecular orbital energies, and intramolecular charge transfer pathways (Gökce & Bahçeli, 2025). In addition, computational chemistry provides valuable information about molecular stability, chemical reactivity, and spectroscopic characteristics, thereby complementing experimental observations and enabling deeper interpretation of molecular behavior (Gökce & Bahçeli, 2025). The Hartree–Fock method, based on a mean-field approximation of electron–electron interactions, provides a fundamental ab initio framework for describing molecular wavefunctions and electronic structures. Although the HF approach neglects explicit electron correlation effects, it still offers valuable baseline information regarding molecular geometry, orbital structure, and electronic distributions. In contrast, density functional theory, particularly when hybrid exchange–correlation functionals such as B3LYP are employed, incorporates electron correlation contributions more effectively and often yields improved predictions for molecular properties such as total energies, dipole moments, vibrational frequencies, and electronic descriptors. Consequently, comparative HF and DFT calculations provide a useful strategy for evaluating the influence of electron correlation on molecular structure and electronic behavior.

Furthermore, quantum-chemical analyses based on atomic charge distribution studies provide important information about chemical reactivity, intermolecular interactions, and reactive site localization. These descriptors help identify potential electrophilic and nucleophilic centers within the molecule and clarify the role of substituent effects in modulating electron density across the aromatic framework. Therefore, the primary aim of the present work is to investigate the title compound using HF and DFT approaches. Although there is some theoretical research in the literature on this molecule, it is insufficient. There are some calculations performed by the Gaussian program for the compound, but at a lower basis-set level. While the results are consistent with low-order basis calculations, higher-order calculations performed at the B3LYP/6-31G(d,p) level yield more accurate results. In addition, a previous study investigated how the basicity of para-substituted phenolates affects the elimination–substitution reaction rate with p-nitrophenethyl bromide. Experimental basicity data were compared with reactivity descriptors obtained from density functional theory to evaluate the applicability of the Hard and Soft Acids and Bases (HSAB) principle. The results showed that increasing phenolate basicity leads to changes in electronic properties (Méndez et al., 1998). On the other hand, in the current work, geometry

optimizations, electronic structure analyses, vibrational frequency calculations, nuclear magnetic resonance parameters, and atomic charge distributions are evaluated to obtain a detailed understanding of the molecule's structural and spectroscopic properties. Special attention is given to intramolecular charge redistribution between the nitro group, aromatic ring, and bromoethyl substituent, as well as to the influence of electron correlation on the predicted molecular properties. By combining HF and DFT methodologies, this study provides a comprehensive theoretical description of the title compound and contributes to the broader understanding of halogenated nitrobenzene derivatives, which are widely used as intermediates in organic synthesis and functional material development.

## 2. COMPUTATIONAL DETAILS

In the present study, a comprehensive computational approach was employed to investigate the structural, electronic, and spectroscopic properties of p-nitrophenethyl bromide (1-(2-bromoethyl)-4-nitrobenzene,  $C_8H_8BrNO_2$ ), whose optimized molecular structure is illustrated in Fig. 1. The computational analyses include molecular geometry optimization, atomic charge distribution analysis, vibrational frequency assignments, solvent effects, and nuclear magnetic resonance (NMR) chemical shift calculations using tetramethylsilane (TMS) as the internal reference. These investigations were carried out to elucidate the electronic structure, intramolecular charge transfer (ICT) behavior, electron delocalization pathways within the aromatic system, and the influence of the electron-withdrawing nitro group and bromoethyl substituent on the molecular reactivity.

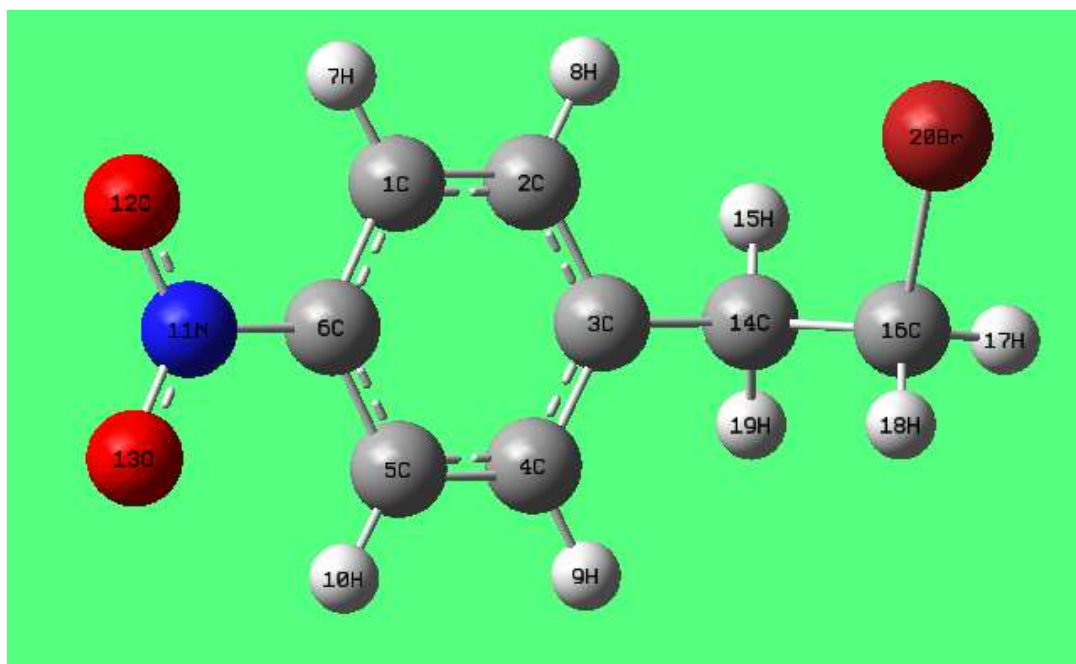


**Figure 1.** Optimized molecular structure for 1-(2-bromoethyl)-4-nitrobenzene compound

The quantum chemical calculations are performed using both the Hartree–Fock (HF) method (Bachrach, 2007; Young, 2001) and Density Functional Theory (DFT) with the hybrid B3LYP functional (Stephens et al., 1994), combined with the 6-31G(d,p) basis set (Binkley & Pople, 1977; Parlak et al., 2011). Benchmark comparisons between HF and DFT methods are conducted so as to evaluate their relative accuracy in predicting structural and spectroscopic parameters. In general, the DFT method provides improved agreement with experimental observations due to its inclusion of electron correlation effects. Therefore, most electronic and spectroscopic properties discussed in this work are primarily interpreted at the B3LYP/6-31G(d,p) level of theory.

All calculations are carried out using the Gaussian 09 computational package (Frisch et al., 2009). Molecular visualization, frontier molecular orbital representations, electrostatic potential surface mappings, and contour plots were generated using GaussView on a high-performance workstation (Dennington et al., 2007).

The vibrational properties of the p-nitrophenethyl bromide compound are analyzed in detail. Raman activities ( $S_i$ ), obtained directly from Gaussian calculations, are converted to relative Raman intensities ( $I_i$ ) according to Raman scattering theory (Keresztury et al., 1993). The relationship between Raman activity and intensity can be expressed as follows.

$$I_i = \frac{f(v_0 - v_i)^4 S_i}{v_i [1 - \exp(-hc v_i / KT)]} \quad 1$$

where,  $v_0$  represents the excitation frequency of the laser source,  $v_i$  denotes the vibrational wavenumber of the normal mode, and  $h$ ,  $c$ , and  $k$  correspond to the Planck constant, speed of light, and Boltzmann constant, respectively. A normalization factor  $f$  is applied to facilitate comparison between theoretical and experimental spectra.

To compensate for systematic overestimations of vibrational frequencies arising from the harmonic approximation and basis-set limitations, calculated frequencies are scaled using factors of 0.9613 for B3LYP/6-31G(d,p) and 0.915 for HF/6-31G(d,p), as recommended in previous theoretical studies (Alecú et al., 2010; Merrick et al., 2007). The investigated molecule contains 20 atoms, corresponding to 60 total Cartesian degrees of freedom. After subtracting six degrees of freedom associated with translational and rotational motions, the molecule exhibits 54 fundamental vibrational modes ( $3N-6$ ). The molecule belongs to the  $C_1$  point group symmetry, meaning that all vibrational modes are non-degenerate and simultaneously active in both IR and Raman spectra (Atkins & Friedman, 1996; Wilson et al., 1980).

Accordingly, the integration of electronic structure calculations, global and local reactivity descriptors, and detailed vibrational analyses establishes a comprehensive backbone for interpreting the structure–property relationships of the p-nitrophenethyl bromide compound. This combined theoretical approach enables a more

detailed understanding of the interplay between molecular structure, substituent effects, and spectroscopic behavior.

In addition, key vibrational parameters, including reduced masses, force constants, infrared (IR) intensities, and depolarization ratios (P and U) are calculated using two different computational methods to compare each other. The comparative evaluation of these parameters displays further validation of the theoretical models studied in the current study and enhances the reliability of the spectroscopic interpretation. All in all, the combination of electronic structure calculations, charge distribution analysis, and vibrational spectroscopy provides a reliable theoretical background for understanding the structure–property relationships of p-nitrophenethyl bromide. All the computations obtained enable correlation with potential experimental observations and provide predictive information regarding its electronic behavior, spectroscopic features, and chemical reactivity.

### 3. RESULT AND DISCUSSION

#### 3.1. NMR Spectral Analyses of P-nitrophenethyl Bromide Molecule

Nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy is one of the most powerful analytical techniques for molecular structure determination, providing valuable information about the local electronic environments surrounding hydrogen and carbon nuclei. In aromatic organic compounds, the  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR chemical shifts are highly sensitive to substituent effects, electron delocalization, and inductive or resonance contributions, making them particularly useful for evaluating electronic structure and substituent-induced perturbations.

In this work, the Gauge-Independent Atomic Orbital (GIAO) method is employed to calculate theoretical  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR chemical shifts for p-nitrophenethyl bromide. The calculations were performed using both HF and B3LYP methods with extended basis sets to examine the influence of electron correlation and basis-set expansion on the predicted NMR parameters. Tetramethylsilane (TMS) is used as the reference compound for chemical shift calculations.

The theoretical isotropic chemical shifts are compared with available experimental values reported for similar nitro-substituted aromatic derivatives. The B3LYP-based GIAO calculations show excellent agreement with experimental trends, particularly in reproducing the deshielding effects induced by the strongly electron-withdrawing  $-\text{NO}_2$  group on the aromatic ring. The aromatic protons adjacent to the nitro substituent display higher chemical shift values due to decreased electron density and increased magnetic deshielding.

**Table 1.** NMR chemical (experimental and theoretical) shifts belonging to N-ethylacetanilide molecule

| Atoms | TMS HF/6-31G(d) | TMS B3LYP/6-311+G(2d,p) | CH4-HF/6-31G(d)           | Exp. in CDCl <sub>3</sub> |
|-------|-----------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| C6    | 162.432         | 144.913                 | 161.547                   |                           |
| C3    | 150.168         | 132.648                 | 149.283                   | 147.13                    |
| C1    | 147.254         | 129.734                 | 146.368                   | 146.27                    |
| C2    | 143.722         | 126.203                 | 142.837                   | 129.62                    |
| C4    | 127.075         | 109.555                 | 126.190                   | 123.79                    |
| C5    | 122.754         | 105.234                 | 121.868                   |                           |
| C16   | 51.651          | 34.1313                 | 50.7657                   | 38.66                     |
| C14   | 8.376           | -9.1437                 | 7.4907                    |                           |
|       | TMS HF/6-31G(d) | TMS B3LYP/6-311+G(2d,p) | Exp. in CDCl <sub>3</sub> |                           |
| H8    | 23.3635         | 22.648                  |                           |                           |
| H10   | 8.2149          | 7.4994                  | 8.179                     |                           |
| H9    | 7.4234          | 6.7079                  | 7.397                     |                           |
| H7    | 6.6932          | 6.2077                  |                           |                           |
| H19   | 5.7524          | 5.0369                  |                           |                           |
| H17   | 5.0234          | 4.3079                  |                           |                           |
| H18   | 4.9560          | 4.2405                  | 3.61                      |                           |
| H15   | 2.1425          | 1.4270                  |                           |                           |

For <sup>13</sup>C NMR, the carbon atoms of the aromatic ring exhibit characteristic chemical shifts typically within the 120–160 ppm region, while the carbon atoms belonging to the bromoethyl side chain appear at lower chemical shift values due to their aliphatic nature. The theoretical results accurately reproduce the relative ordering of carbon environments and confirm the strong electron-withdrawing influence of the nitro group on the aromatic framework. In more detail, the B3LYP/6-311+G(d,p) method predicts chemical shifts in the range of -9.1437–144.913 ppm, which are in reasonable agreement with the experimental values (38.66–147.13 ppm). Although the theoretical calculations slightly overestimate the overall chemical-shift span, they reproduce the relative ordering of the carbon environments with good accuracy. Here, the minus value stems from the fact that the carbon nucleus is more shielded than the reference TMS values due to high electron density or strong shielding effects. In contrast, the HF/6-31G(d) calculations show larger deviations, with predicted shifts ranging from 8.376 to 162.432 ppm, indicating a tendency toward exaggerated deshielding. This discrepancy further highlights the limitations of the HF approach and underscores the improved reliability of DFT methods for predicting NMR chemical shifts.

As for <sup>1</sup>H NMR, the calculated isotropic chemical shifts at the B3LYP/6-311+G(2d,p) level fall within the range of 1.4270–22.648 ppm, showing very good agreement with the experimental values of 3.610–8.179 ppm obtained in CDCl<sub>3</sub>. In comparison, the HF/6-31G(d) calculations yield a narrower range (2.1425–23.3635 ppm), reflecting systematic deviations that arise from the Hartree–Fock method’s neglect of electron correlation effects. The superior agreement of the DFT results indicates that inclusion of electron correlation significantly

improves the description of the local magnetic shielding environment. Hence, the B3LYP/GIAO method provides more reliable predictions than the HF approach, primarily because the DFT methodology incorporates electron correlation effects that significantly influence magnetic shielding constants. These findings demonstrate that DFT-based NMR calculations constitute an effective tool for the structural characterization of substituted aromatic compounds such as p-nitrophenethyl bromide.

### 3.2. Atomic charge distribution analysis

Atomic charge distribution plays a crucial role in understanding electron delocalization, molecular polarity, and reactive site identification. In this study, the charge distribution of p-nitrophenethyl bromide is analyzed using Mulliken population analysis and the Atomic Polar Tensor (APT) approach (Helgaker et al. (1986) ; Olsen and Jørgensen (1985)) at both HF and B3LYP/6-31G(d,p) levels of theory for the first time.

Mulliken population analysis partitions electron density among atoms based on atomic orbital contributions. Although the absolute values of Mulliken charges are somewhat dependent on the chosen basis set, the method remains valuable for identifying qualitative trends in electron distribution and intramolecular charge transfer. In contrast, APT charges are derived from the response of the molecular dipole moment to atomic displacements and are closely related to infrared intensities. Consequently, APT analysis provides a more physically meaningful description of polarization effects and charge flow during vibrational motion. One can see the numerical values related to the Mulliken and atomic polar tensor (APT) charge distributions for the p-nitrophenethyl bromide molecule are summarized in Table 2. For carbon atoms, the APT charges obtained from the DFT calculations range from -0.153114 (C6 bonded to nitrogenous group atoms) to +0.327629 (C14 bonded to bromide atom), whereas the HF calculation presents a slightly wider range from -0.192590 (C2) to +0.390877 (C14). In contrast, the Mulliken population analysis yields values between -0.257732 (C14 between the carbon atoms) and +0.242086 (C6) at the B3LYP/6-31G(d,p) level and -0.235701 (C16) to +0.118155 (C6) at the HF/6-31G(d,p) level. Although the absolute values differ between the two schemes, both methods display consistent charge distribution trends, displaying the electron-withdrawing and electron-donating effects imposed by the local chemical environment.

For the nitrogen atoms, Mulliken analysis gives the charge of 0.386638 (N11) at the B3LYP/6-31+G(d,p) level, while the HF method predicts the value of 0.524937, respectively. The APT analysis, however, indicates significantly higher charges, with values of +1.215981 at the DFT level, whereas the HF/APT calculation yields the positive value of +1.538089 for the nitrogenous atom. This discrepancy highlights the greater sensitivity of the APT method to electronic polarization effects.



**Table 2** Point Atomic Charge Distributions for p-nitrophenethyl Bromide

| Label                  | DFT/B3LYP/6-31+(d,p) |                         | HF/6-31+(d,p)           |                    |
|------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
|                        | APT atomic charges   | Mulliken atomic charges | Mulliken atomic charges | APT atomic charges |
| <b>C<sub>1</sub></b>   | 0.027466             | -0.089085               | -0.101639               | 0.069737           |
| <b>C<sub>2</sub></b>   | -0.103428            | -0.114565               | -0.168681               | -0.192590          |
| <b>C<sub>3</sub></b>   | 0.129112             | 0.137972                | 0.012564                | 0.192840           |
| <b>C<sub>4</sub></b>   | -0.100800            | -0.134414               | -0.174773               | -0.159845          |
| <b>C<sub>5</sub></b>   | 0.014065             | -0.085168               | -0.094520               | 0.029747           |
| <b>C<sub>6</sub></b>   | -0.153114            | 0.242086                | 0.118155                | -0.110911          |
| <b>H<sub>7</sub></b>   | 0.092041             | 0.139599                | 0.220716                | 0.102081           |
| <b>H<sub>8</sub></b>   | 0.046282             | 0.110736                | 0.181141                | 0.062207           |
| <b>H<sub>9</sub></b>   | 0.027163             | 0.095518                | 0.163609                | 0.036614           |
| <b>H<sub>10</sub></b>  | 0.091858             | 0.138077                | 0.218629                | 0.101971           |
| <b>N<sub>11</sub></b>  | 1.215981             | 0.386638                | 0.524937                | 1.538089           |
| <b>O<sub>12</sub></b>  | -0.645772            | -0.396073               | -0.472676               | -0.849303          |
| <b>O<sub>13</sub></b>  | -0.651573            | -0.397589               | -0.473186               | -0.857516          |
| <b>C<sub>14</sub></b>  | 0.063013             | -0.257732               | -0.220560               | 0.118126           |
| <b>H<sub>15</sub></b>  | -0.011413            | 0.133300                | 0.148000                | -0.053753          |
| <b>C<sub>16</sub></b>  | 0.327629             | -0.197333               | -0.235701               | 0.390877           |
| <b>H<sub>17</sub></b>  | -0.046269            | 0.154561                | 0.176907                | -0.026569          |
| <b>H<sub>18</sub></b>  | -0.020533            | 0.155908                | 0.183625                | -0.038675          |
| <b>H<sub>19</sub></b>  | -0.038578            | 0.122242                | 0.170624                | -0.024409          |
| <b>Br<sub>20</sub></b> | -0.263129            | -0.144677               | -0.177169               | -0.328718          |

The oxygen atoms exhibit strongly negative charges in all analyses. Within the DFT calculation method, APT charges are -0.645772 (O12) and -0.651573 (O13), whereas Mulliken point charges are found to be about -0.396073 and -0.397589. Similar trends are obtained using the HF computational model, with APT charges of -0.849303 and -0.857516, and Mulliken charges of -0.472676 and -0.473186. These pronounced negative values are consistent with the high electronegativity of oxygen and the localization of lone-pair electrons, which contribute significantly to intermolecular hydrogen bonding and charge redistribution.

For hydrogen atoms, Mulliken charges calculated at the B3LYP/6-31G(d,p) level range from +0.095518 (H8) to +0.155908 (H18). The relatively smaller positive charges correspond to hydrogens attached to the aromatic ring, reflecting the shielding influence of the  $\pi$ -electron system. Conversely, hydrogens bonded to more electronegative atoms display higher positive charges due to stronger electron-withdrawing effects. In the HF/Mulliken analysis, the most positive hydrogen charge is +0.148000 (H15), while the smallest value is +0.220716 (H7). The APT charges for hydrogen atoms show a maximum of +0.092041 (H7) and a minimum of -0.046269 (H17) at the DFT level, whereas the HF calculations produce corresponding values of -0.053753 (H15) and +0.102081 (H7). As for the bromine atom, the DFT calculation method shows the values of -0.263129 for APT point charge analysis and -0.144677 for Mulliken analysis, while the HF method indicates the values of -0.177169 for Mulliken point charge analysis and -0.328718 for APT analysis, respectively.

Accordingly, the results recorded demonstrate that while Mulliken and APT schemes yield different absolute magnitudes, they consistently describe the same qualitative distribution of electronic density across the molecule. In more detail, the calculated charge distributions reveal significant electronic polarization within the molecule. The oxygen atoms of the nitro group carry substantial negative charges due to their high electronegativity and the presence of lone-pair electrons, while the nitrogen atom exhibits a partial positive charge resulting from electron withdrawal toward the oxygen atoms. The bromine atom in the bromoethyl substituent also exhibits a negative charge contribution associated with its large electronegativity and polarizability.

The aromatic carbon atoms display varying charge values depending on their proximity to the nitro substituent, reflecting strong  $\pi$ -electron delocalization within the benzene ring. Hydrogen atoms bonded to the aromatic ring possess smaller positive charges due to the shielding effect of  $\pi$ -electron density, whereas hydrogens located in the aliphatic chain exhibit slightly larger positive values.

These results clearly indicate the presence of intramolecular charge redistribution between the nitro group, aromatic ring, and bromoethyl substituent. Such electronic anisotropy plays a key role in determining the reactivity patterns, intermolecular interactions, and potential electrophilic or nucleophilic attack sites in the molecule.

### 3.3. Vibrational frequencies

A detailed vibrational frequency analysis is carried out to characterize the spectroscopic behavior and structural features of p-nitrophenethyl bromide. The vibrational spectra are computed using both HF and B3LYP/6-31G(d,p) methods, with calculated frequencies scaled by appropriate factors to correct for anharmonicity effects. The molecule exhibits 54 fundamental vibrational modes, all of which are active in both infrared and Raman spectra due to the absence of symmetry restrictions in the  $C_1$  point group. Table 4 indicates all the vibrational frequencies and some critical parameters of p-nitrophenethyl bromide compound. According to the table, the aromatic C–H stretching vibrations are typically observed in the 3000–3100  $\text{cm}^{-1}$  region, while aliphatic C–H stretching modes associated with the ethyl side chain appear slightly below this region. The theoretical calculations reproduce these spectral features with good accuracy. The DFT/B3LYP//6-31G(d,p) calculation method indicates the values intervals 3121.266  $\text{cm}^{-1}$ –2920.052  $\text{cm}^{-1}$  whereas the HF method shows the values between 2913.716 and 3130.100  $\text{cm}^{-1}$ . Experimental modes are recorded from 3110 to 2938 for KBR disc and from 2926  $\text{cm}^{-1}$  to 3110  $\text{cm}^{-1}$  for nujol mull.

**Table 3.** Vibrational frequencies and some critical parameters of p-nitrophenethyl bromide.

| *Scaled Freq. |          | IR :<br>KBr<br>disc | IR :<br>nujol<br>mull | Red. Masses |         | Frc consts |         | IR Inten |          | Raman Activ |          | Depolar (P) |        | Depolar (U) |        |
|---------------|----------|---------------------|-----------------------|-------------|---------|------------|---------|----------|----------|-------------|----------|-------------|--------|-------------|--------|
| DFT           | HF       |                     |                       | DFT         | HF      | DFT        | HF      | DFT      | HF       | DFT         | HF       | DFT         | HF     | DFT         | HF     |
| 25.79879      | 9.242232 |                     |                       | 70.991      | 58.149  | 0.003      | 0.0003  | 0.9855   | 1.3277   | 6.1261      | 5.4916   | 0.7443      | 0.7475 | 0.8534      | 0.8555 |
| 45.25541      | 70.58941 |                     |                       | 122.111     | 65.535  | 0.0159     | 0.023   | 0.428    | 1.2005   | 1.7382      | 1.5121   | 0.7432      | 0.7499 | 0.8527      | 0.8571 |
| 65.83502      | 101.5464 |                     |                       | 61.213      | 64.972  | 0.0169     | 0.0471  | 0.0507   | 0.7428   | 0.9767      | 0.2404   | 0.7454      | 0.6887 | 0.8541      | 0.8156 |
| 93.79279      | 162.5337 |                     |                       | 53.296      | 53.483  | 0.0299     | 0.0994  | 1.5364   | 2.6241   | 0.5861      | 0.7885   | 0.7352      | 0.6325 | 0.8474      | 0.7749 |
| 151.1878      | 209.8767 |                     |                       | 42.248      | 31.32   | 0.0616     | 0.0971  | 2.5148   | 1.6857   | 0.5769      | 2.7025   | 0.3446      | 0.4804 | 0.5126      | 0.649  |
| 210.372       | 281.6766 |                     |                       | 51.324      | 53.66   | 0.1448     | 0.2996  | 1.6712   | 0.9372   | 1.9613      | 1.045    | 0.739       | 0.6135 | 0.8499      | 0.7605 |
| 249.3463      | 286.6916 |                     |                       | 49.81       | 32.964  | 0.1975     | 0.1907  | 0.2462   | 6.0662   | 1.9353      | 2.9931   | 0.6108      | 0.6332 | 0.7584      | 0.7754 |
| 327.4177      | 346.5781 |                     |                       | 64.16       | 58.343  | 0.4385     | 0.4932  | 2.8967   | 5.3112   | 2.8615      | 3.2329   | 0.4431      | 0.3057 | 0.6141      | 0.4682 |
| 356.2917      | 419.7214 |                     |                       | 24.065      | 29.621  | 0.1948     | 0.3672  | 0.535    | 0.0392   | 0.973       | 0.0852   | 0.7444      | 0.3347 | 0.8535      | 0.5015 |
| 388.5645      | 458.2835 |                     |                       | 40.425      | 29.74   | 0.3891     | 0.4396  | 0.9948   | 15.511   | 1.443       | 0.3312   | 0.2343      | 0.7497 | 0.3796      | 0.857  |
| 406.0662      | 488.1641 |                     |                       | 30.253      | 35.538  | 0.318      | 0.596   | 0.0917   | 28.533   | 0.0625      | 0.9184   | 0.4155      | 0.434  | 0.587       | 0.6053 |
| 513.2329      | 506.2402 | 495                 |                       | 35.203      | 103.096 | 0.5912     | 0.0186  | 9.5249   | 0.2859   | 2.0306      | 0.2797   | 0.5981      | 0.7324 | 0.7485      | 0.8455 |
| 513.5146      | 530.7156 |                     |                       | 53.408      | 59.644  | 0.8979     | 11.822  | 1.8282   | 3.6329   | 1.0276      | 3.4391   | 0.6754      | 0.2972 | 0.8062      | 0.4582 |
| 533.2727      | 549.1428 | 526                 | 526                   | 47.086      | 47.603  | 0.8537     | 10.102  | 15.4295  | 31.3821  | 12.4914     | 18.365   | 0.2297      | 0.2677 | 0.3736      | 0.4223 |
| 597.9181      | 609.4669 | 606                 | 606                   | 39.4        | 38.7    | 0.8981     | 10.116  | 3.6385   | 9.512    | 1.0671      | 1.3652   | 0.6674      | 0.6943 | 0.8005      | 0.8196 |
| 622.0232      | 635.1928 | 632                 |                       | 68.588      | 69.404  | 16.92      | 19.706  | 0.5586   | 2.7639   | 7.0854      | 7.1485   | 0.7493      | 0.7454 | 0.8567      | 0.8541 |
| 682.3453      | 696.396  | 660                 | 659                   | 36.297      | 34.754  | 10.775     | 11.861  | 20.2511  | 3.3262   | 0.5687      | 0.9809   | 0.7495      | 0.3871 | 0.8568      | 0.5581 |
| 729.1265      | 759.2949 | 706                 | 706                   | 39.955      | 42.962  | 13.543     | 17.43   | 13.6045  | 13.9976  | 1.5955      | 9.7342   | 0.6871      | 0.1155 | 0.8145      | 0.2072 |
| 743.6464      | 772.8632 | 750                 | 750                   | 40.834      | 33.517  | 14.397     | 14.089  | 5.6921   | 51.6458  | 4.449       | 3.8771   | 0.0799      | 0.7443 | 0.1479      | 0.8534 |
| 814.2398      | 857.2698 | 806                 | 806                   | 14.028      | 18.954  | 0.593      | 0.9803  | 6.446    | 4.5235   | 3.0756      | 1.7382   | 0.7499      | 0.5254 | 0.8571      | 0.6888 |
| 822.6026      | 870.0165 | 819                 |                       | 15.149      | 12.829  | 0.6536     | 0.6834  | 12.734   | 12.39    | 1.7996      | 2.5574   | 0.7294      | 0.676  | 0.8436      | 0.8067 |
| 835.7027      | 881.7685 | 834                 | 834                   | 67.494      | 38.772  | 30.054     | 21.215  | 398.269  | 454.751  | 17.8923     | 7.1923   | 0.094       | 0.1881 | 0.1719      | 0.3167 |
| 875.3297      | 892.3104 | 855                 | 855                   | 20.557      | 21.233  | 10.043     | 11.898  | 14.7734  | 7.9925   | 0.7437      | 11.5164  | 0.2735      | 0.1104 | 0.4295      | 0.1989 |
| 899.2339      | 942.1377 |                     |                       | 18.011      | 19.297  | 0.9286     | 12.054  | 3.9796   | 26.1802  | 6.2423      | 3.0468   | 0.464       | 0.2906 | 0.6338      | 0.4504 |
| 943.2419      | 1015.805 | 1016                | 1015                  | 13.394      | 14.946  | 0.7598     | 10.853  | 0.2122   | 0.5638   | 0.5889      | 2.9564   | 0.6441      | 0.7367 | 0.7836      | 0.8484 |
| 948.2378      | 1018.045 |                     |                       | 13.268      | 26.853  | 0.7606     | 19.585  | 0.9016   | 3.3645   | 1.5228      | 1.3638   | 0.7305      | 0.6938 | 0.8443      | 0.8192 |
| 979.6979      | 1024.661 |                     |                       | 23.439      | 13.632  | 14.343     | 10.072  | 4.44     | 0.3509   | 8.294       | 0.1586   | 0.6192      | 0.6101 | 0.7648      | 0.7578 |
| 1080.107      | 1032.688 | 1032                | 1031                  | 12.46       | 22.732  | 0.9268     | 17.06   | 4.9967   | 0.3884   | 1.05        | 2.7104   | 0.7398      | 0.7238 | 0.8504      | 0.8398 |
| 1085.98       | 1099.147 | 1097                | 1096                  | 29.485      | 18.781  | 22.171     | 15.968  | 39.3837  | 0.9602   | 51.2929     | 1.4875   | 0.1829      | 0.5039 | 0.3092      | 0.6701 |
| 1109.165      | 1135.484 | 1106                | 1107                  | 11.592      | 25.667  | 0.9093     | 23.289  | 3.429    | 29.8659  | 2.8311      | 35.8885  | 0.4736      | 0.196  | 0.6428      | 0.3277 |
| 1159.616      | 1148.781 | 1125                | 1126                  | 14.29       | 13.261  | 12.252     | 12.316  | 8.3992   | 7.6746   | 26.2841     | 8.0349   | 0.3721      | 0.3496 | 0.5423      | 0.5181 |
| 1161.793      | 1173.011 |                     |                       | 12.58       | 19.971  | 10.826     | 19.338  | 4.7057   | 10.0458  | 4.1169      | 1.5048   | 0.6469      | 0.5925 | 0.7856      | 0.7441 |
| 1184.376      | 1201.721 | 1199                | 1198                  | 19.91       | 13.369  | 17.806     | 13.587  | 1.3771   | 4.4277   | 15.8139     | 4.6901   | 0.2457      | 0.7436 | 0.3944      | 0.8529 |
| 1246.508      | 1219.038 | 1224                | 1223                  | 12.749      | 19.443  | 12.63      | 20.334  | 50.4404  | 9.6426   | 2.7535      | 7.5173   | 0.6368      | 0.282  | 0.7781      | 0.4399 |
| 1284.428      | 1252.56  | 1261                | 1260                  | 12.977      | 15.077  | 13.65      | 16.646  | 2.1959   | 16.4926  | 0.5201      | 10.8676  | 0.3249      | 0.5531 | 0.4904      | 0.7123 |
| 1316.532      | 1310.128 | 1316                | 1315                  | 18.385      | 11.864  | 20.317     | 14.331  | 7.8334   | 65.7259  | 18.3799     | 2.5722   | 0.514       | 0.7374 | 0.679       | 0.8488 |
| 1326.181      | 1332.475 |                     |                       | 33.094      | 13.181  | 37.11      | 16.469  | 8.4103   | 2.1582   | 6.7014      | 0.5521   | 0.4909      | 0.7339 | 0.6585      | 0.8466 |
| 1344.79       | 1380.665 | 1343                | 1377                  | 136.927     | 17.005  | 157.881    | 22.811  | 343.2379 | 20.5803  | 254.6163    | 1.3626   | 0.271       | 0.278  | 0.4265      | 0.4351 |
| 1401.415      | 1442.063 | 1416                |                       | 29.019      | 22.428  | 36.336     | 32.822  | 3.2893   | 4.6862   | 0.3516      | 1.9733   | 0.684       | 0.717  | 0.8123      | 0.8352 |
| 1428.523      | 1460.173 |                     |                       | 10.988      | 11.177  | 14.296     | 16.771  | 6.5766   | 5.2785   | 15.2999     | 11.4504  | 0.7357      | 0.6489 | 0.8477      | 0.787  |
| 1433.637      | 1480.473 | 1448                | 1446                  | 11.099      | 11.348  | 14.545     | 17.504  | 2.729    | 17.3503  | 10.2297     | 9.6798   | 0.7405      | 0.7481 | 0.8509      | 0.8559 |
| 1477.277      | 1500.839 | 1491                | 1489                  | 24.116      | 105.029 | 33.555     | 166.489 | 8.5426   | 392.2495 | 2.3382      | 146.2934 | 0.6131      | 0.2227 | 0.7602      | 0.3643 |
| 1554.334      | 1535.702 | 1569                | 1511                  | 98.615      | 24.644  | 151.902    | 40.9    | 115.2037 | 0.2723   | 8.659       | 20.0082  | 0.7383      | 0.288  | 0.8495      | 0.4472 |
| 1592.586      | 1619.574 | 1599                | 1598                  | 58.786      | 72.266  | 95.064     | 133.397 | 20.1699  | 85.1314  | 1.43.3821   | 2.4582   | 0.4625      | 0.7376 | 0.6324      | 0.849  |
| 1605.587      | 1654.004 | 1608                | 1608                  | 93.318      | 54.397  | 153.38     | 104.726 | 91.3142  | 39.147   | 1.373       | 105.0163 | 0.6967      | 0.5112 | 0.8212      | 0.6765 |

|          |          |      |      |        |         |        |         |         |          |          |          |        |        |        |        |
|----------|----------|------|------|--------|---------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 1725.482 | 1706.3   |      |      | 10.658 | 119.351 | 57.944 | 244.536 | 16.9511 | 410.4467 | 128.2247 | 0.159    | 0.1345 | 0.7225 | 0.2372 | 0.8389 |
| 2920.052 | 2913.716 | 2938 | 2926 | 10.924 | 10.671  | 61.796 | 63.756  | 4.9875  | 16.4983  | 89.9412  | 117.3410 | 0.3818 | 0.1046 | 0.5527 | 0.1894 |
| 2978.627 | 2959.676 | 2956 | 2955 | 10.62  | 10.971  | 60.652 | 67.632  | 15.5074 | 5.3386   | 99.4206  | 84.4173  | 0.1148 | 0.5144 | 0.2059 | 0.6793 |
| 2992.938 | 3002.523 |      |      | 11.119 | 10.595  | 66.32  | 67.215  | 6.5811  | 18.4101  | 93.0696  | 97.8785  | 0.5755 | 0.0886 | 0.7305 | 0.1629 |
| 3058.533 | 3063.537 |      |      | 10.905 | 11.12   | 65.227 | 73.441  | 9.1082  | 4.6123   | 71.9487  | 71.1557  | 0.3428 | 0.6718 | 0.5105 | 0.8037 |
| 3062.905 | 3066.275 | 3083 |      | 10.905 | 10.92   | 66.246 | 72.251  | 4.3538  | 10.8877  | 56.4749  | 777227   | 0.3376 | 0.3157 | 0.5048 | 0.4799 |
| 3086.676 | 3111.77  |      |      | 10.927 | 10.908  | 67.849 | 74.329  | 1.2729  | 2.5626   | 66.853   | 49.0936  | 0.2638 | 0.4806 | 0.4175 | 0.6492 |
| 3120.673 | 3128.916 | 3110 | 3110 | 10.932 | 10.949  | 67.902 | 75.431  | 1.8428  | 1.0002   | 79.3085  | 69.6171  | 0.1944 | 0.2636 | 0.3255 | 0.4172 |
| 3121.266 | 3130.1   |      |      | 27.965 | 10.957  | 17.638 | 75.55   | 4.7441  | 1.2917   | 1.3223   | 83.0622  | 0.5685 | 0.1483 | 0.7249 | 0.2583 |

The nitro group vibrations constitute some of the most intense bands in the spectrum. The asymmetric NO<sub>2</sub> stretching mode generally appears in the range of 1500–1600 cm<sup>-1</sup>, whereas the symmetric stretching vibration occurs around 1300–1380 cm<sup>-1</sup>. These vibrations exhibit strong IR intensities due to the significant dipole moment changes associated with the stretching of the highly polar N–O bonds. The C=C stretching vibrations of the benzene ring are typically observed between 1400 and 1650 cm<sup>-1</sup>, reflecting the conjugated nature of the aromatic system. The calculated frequencies are in good agreement with reported experimental ranges for nitro-substituted benzene derivatives. Lower-frequency modes correspond to bending, twisting, and torsional motions involving the aromatic ring and the bromoethyl side chain. These modes contribute to the overall skeletal flexibility of the molecule and are important for understanding intramolecular interactions and conformational behavior.

The comparison between HF and DFT results shows that HF calculations systematically predict higher vibrational frequencies, whereas the B3LYP method provides values closer to experimental observations due to its improved treatment of electron correlation.

All in all, the vibrational analysis confirms that the B3LYP/6-31G(d,p) level of theory accurately reproduces the spectroscopic features of p-nitrophenethyl bromide. The agreement between theoretical predictions and experimental spectral trends validates the reliability of the adopted computational protocol for studying substituted aromatic systems.

#### 4. Conclusion

In this study, the molecular structure and spectroscopic properties of p-nitrophenethyl bromide are systematically investigated using HF and DFT calculations. Geometry optimizations performed at the HF and B3LYP/6-31G(d,p) levels provided stable molecular structures, with the DFT approach yielding results that are generally more consistent with experimental observations due to its improved treatment of electron correlation effects. Moreover, the GIAO-based NMR calculations successfully reproduced the characteristic <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C chemical shifts associated with the aromatic ring and the bromoethyl side chain. The theoretical results clearly display the strong electron-withdrawing influence of the nitro group, which leads to significant magnetic

deshielding effects on adjacent aromatic protons and carbons. Among the computational methods examined, the B3LYP approach provided the most reliable prediction of NMR parameters, confirming its suitability for the theoretical characterization of substituted aromatic systems.

The Mulliken and Atomic Polar Tensor charge analyses reveal strong electronic polarization within the molecule. In particular, the oxygen atoms of the nitro group possess substantial negative charge densities, while the nitrogen atom carries a partial positive charge due to electron withdrawal toward the oxygen atoms. The bromine atom also contributes to the overall charge distribution through its high polarizability. These findings reveal the presence of significant intramolecular charge transfer between the nitro group, aromatic ring, and bromoethyl substituent, which plays a crucial role in determining the electronic properties and potential reactivity of the of p-nitrophenethyl bromide compound.

Furthermore, the vibrational frequency analysis demonstrates that the B3LYP/6-31G(d,p) method accurately reproduces the characteristic IR and Raman spectral features of the compound, including aromatic C–H stretching modes, nitro group vibrations, and benzene ring C=C stretching bands. The agreement between calculated and experimental spectral trends confirms the reliability of the computational protocol for describing the vibrational behavior of nitro-substituted aromatic compounds.

In conclusion, the combined DFT and HF theoretical analyses provide a comprehensive understanding of the structural, electronic, and spectroscopic characteristics of p-nitrophenethyl bromide. The results obtained indicate that DFT-based approaches are particularly effective for predicting molecular properties and interpreting experimental spectroscopic data. These findings not only contribute to the fundamental understanding of substituted aromatic systems but also provide useful insights for future studies involving reactivity analysis, intermolecular interactions, and potential applications in organic synthesis and materials chemistry.

## REFERENCES

- Alecu, I. M., Zheng, J., Zhao, Y., & Truhlar, D. G. (2010). Computational thermochemistry: Scale factor databases and scale factors for vibrational frequencies obtained from electronic model chemistries. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 6\*(9), 2872–2887. <https://doi.org/10.1021/ct100326h>
- Alex, H., Loos, P., Baramov, T., Barry, J., Godiawala, T., Hassfeld, J., & Steinfeldt, N. (2017). Polymer encapsulated cobalt-based catalysts (Co EnCat™) for selective continuous hydrogenation of 1-iodo-4-nitrobenzene. *ChemCatChem*, 9\*(16), 3210–3217. <https://doi.org/10.1002/cctc.201700391>
- Atkins, P. W., & Friedman, R. S. (1997). *Molecular quantum mechanics* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Auer, E., Freund, A., Pietsch, J., & Tacke, T. (1998). Carbons as supports for industrial precious metal catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 173\*(2), 259–271.
- Bachrach, S. M. (2007). *Computational organic chemistry*. John Wiley & Sons.
- Binkley, J. S., & Pople, J. A. (1977). Self-consistent molecular orbital methods. XIX. Split-valence Gaussian-type basis sets for beryllium. *The Journal of Chemical Physics*, 66\*(2), 879–880. <https://doi.org/10.1063/1.433929>
- Buyukuslu, H., Akdogan, M., Yildirim, G., & Parlak, C. (2010). Ab initio Hartree-Fock and density functional theory study on characterization of 3-(5-methylthiazol-2-yl-diaz-enyl)-2-phenyl-1H-indole. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 75\*(4), 1362–1369.
- Cao, L., Abbas, S. A., Jeong, S. H., Seo, D., Nam, K. M., & Park, J. K. (2023). Chemoselective nitro reduction using nitrogen-doped carbon-encapsulated Ni catalyst and Y-type packed bed column for continuous flow reaction. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 365\*(13), 2230–2239. <https://doi.org/10.1002/adsc.202300357>
- Castro-Ferreira, M. P., Roelofs, D., van Gestel, C. A. M., Verweij, R. A., Soares, A. M. V. M., & Amorim, M. J. B. (2012). *Enchytraeus crypticus* as model species in soil ecotoxicology. *Chemosphere*, 87\*(11), 1222–1227.
- Chatterjee, M., Chatterjee, A., Kawanami, H., Ishizaka, T., Suzuki, T., & Suzuki, A. (2012). Rapid hydrogenation of aromatic nitro compounds in supercritical carbon dioxide: Mechanistic implications via experimental and theoretical investigations. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 354\*(10), 2009–2018. <https://doi.org/10.1002/adsc.201200103>
- Chen, X., Feng, W., Liang, Z., Guo, Z., Chen, L., & Chen, W. (2026). Why 1,3,5-trichloro-2,4-dinitrobenzene (TCDNB) is more soluble in nitric acid than in sulfuric acid: Thermodynamic analysis and molecular dynamics simulation. *Journal of Molecular Liquids*, 444\*, 129185. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2025.129185>
- Danova, A., Christy, A. C., Musthapa, I., Kurniadewi, F., Chavasiri, W., Mujahidin, D., Roswanda, R., & Hermawati, E. (2025). Discovery of new acetylcholinesterase inhibitors derived from quinazolinones: Synthesis, in vitro, and molecular docking study. *Pharmacia*, 72\*, 1–10. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.72.e162676>
- Dennington, R., Keith, T., & Millam, J. (2007). *GaussView* (Version 4.1.2) [Computer software]. Semichem, Inc.
- Duan, X., Yin, J., Feng, A., Huang, M., Fu, W., Xu, W., Huang, Z., & Zhang, J. (2022). Continuous hydrogenation of halogenated nitroaromatic compounds in a micropacked bed reactor. *Journal of Flow Chemistry*, 12\*(1), 121–129. <https://doi.org/10.1007/s41981-021-00200-2>
- Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G. A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H. P., Izmaylov, A. F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J. L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J. A., Jr., Peralta, J. E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J. J., Brothers, E., Kudin, K. N., Staroverov, V. N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J. C., Iyengar, S. S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J. M., Klene, M., Knox, J. E., Cross, J. B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R. E., Yazyev, O., Austin, A. J., Cammi, R., Pomelli, C., Ochterski, J. W., Martin, R. L., Morokuma, K., Zakrzewski,



- V. G., Voth, G. A., Salvador, P., Dannenberg, J. J., Dapprich, S., Daniels, A. D., Farkas, O., Foresman, J. B., Ortiz, J. V., Cioslowski, J., & Fox, D. J. (2009). \*Gaussian 09, revision A.02\* [Computer software]. Gaussian, Inc.
- Genç, F., & Kandemirli, F. (2026). Investigation of quantum chemical studies of niclosamide in different solvents using DFT calculations. \*Journal of Molecular Modeling, 32\*, Article 63. <https://doi.org/10.1007/s00894-026-06641-7>
- Gong, H., Xiao, J., Gao, H., Zhou, K., Yang, R., & Cai, C. (2026). Replacing low-boiling-point amines: Electrocatalytic phosphinamide synthesis with liquid formamide reagents. \*Green Chemistry, 28\*, 5047–5053. <https://doi.org/10.1039/D5GC06344B>
- Gökce, H., & Bahçeli, S. (2026). Biological evaluation, spectroscopic characterization and DFT computations of an oxalamide derivative (BFMO). \*Journal of Molecular Structure, 1349\*, 143654. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2025.143654>
- Helgaker, T. U., Jensen, H. J. A., & Jørgensen, P. (1986). Analytical calculation of MCSCF dipole-moment derivatives. *The Journal of Chemical Physics, 84*(11), 6280–6284. <https://doi.org/10.1063/1.450772>
- Hong, E., Ku, H., Kim, E.-J., Hong, D., Park, H., Kim, S., Goh, G., Lee, D., Shin, J., & Oh, S. H. (2026). Innovative approaches to a scalable catalytic flow reaction: A focus on selective nitro-group hydrogenation in a fixed-bed system. \*Organic Process Research & Development, 30\*(3), 795–805. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.5c00519>
- Hussein, H. A. (2026). DFT-based theoretical investigation of structural stability, electronic, vibrational, NMR (1H and 13C), NLO, and thermodynamic properties of substituted 2-hydroxy naphthoyl chalcones. \*Theoretical Chemistry Accounts, 145\*, Article 17. <https://doi.org/10.1007/s00214-025-03257-7>
- Keresztury, G., Holly, S., Varga, J., Besenyi, G., Wang, A. Y., & Durig, J. R. (1993). Vibrational spectra of monothiocarbamates-II. IR and Raman spectra, vibrational assignment, conformational analysis, and ab initio calculations. \*Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy, 49\*(13–14), 2007–2026. [https://doi.org/10.1016/S0584-8539\(09\)91012-1](https://doi.org/10.1016/S0584-8539(09)91012-1)
- Khan, M., Sarwar, F., Gull, K., Arshad, M., Shafiq, I., Arshad, M. N., Alzahrani, K. A., Zhang, G., Shah, M., & Jawaria, R. (2026). DFT insights into the photovoltaic performance of A– $\pi$ –A non-fullerene acceptors for organic solar cells. \*Scientific Reports, 16\*, Article 9842. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-40331-x>
- Konkala, A., & Narra, M. R. (2024). Comparative study on biochemical responses to imidacloprid and clothianidin in cockroaches (\*Blattella germanica\*). \*Physiological Entomology, 49\*(4), 401–411. <https://doi.org/10.1111/phen.12458>
- Kumar, G. S. (1992). \*Azo functional polymers: Functional group approach in macromolec\*. CRC Press.
- Larson, N. G., Sandin, M. P., & Neufeldt, S. R. (2026). Selectivity for exhaustive cross-coupling of dihaloarenes is affected by the interplay between the halide byproduct, solvent, and ligand. \*Organometallics, 45\*(6), 651–659. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.5c00423>
- Ma, M., Wu, X., Wang, X., Sun, J., Tian, G., Liu, H., & Su, Z. (2025). Specific microenvironment modulation around Zr clusters via linker engineering in metal-organic frameworks for enhanced catalytic transfer hydrogenation. \*Chemical Engineering Journal, 526\*, 171169. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.171169>
- Méndez, F., Romero, M. D. L., De Proft, F., & Geerlings, P. (1998). The basicity of p-substituted phenolates and the elimination-substitution ratio in p-nitrophenethyl bromide: A HSAB theoretical study. \*The Journal of Organic Chemistry, 63\*(17), 5774–5778.
- Merrick, J. P., Moran, D., & Radom, L. (2007). An evaluation of harmonic vibrational frequency scale factors. \*The Journal of Physical Chemistry A, 111\*(45), 11683–11700. <https://doi.org/10.1021/jp073974n>
- Naiknaware, N., Deshmukh, A. H., & Chavan, S. S. (2026). Multifunctional binuclear Ru(III) complexes with alkynyl-imine bridges: Electrochemical, luminescent, and nonlinear optical properties. \*Journal of Fluorescence\*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10895-026-04735-2>

- Niyirora, P., & Cyganowski, P. (2025). Catalytic production of aromatic amines from nitroaromatics—Addressing a critical challenge in environmental remediation. *\*Chemistry—A European Journal*, 31\*(24), e202500281. <https://doi.org/10.1002/chem.202500281>
- Olsen, J., & Jørgensen, P. (1985). Linear and non-linear response functions for an exact state and for an MCSCF state. *The Journal of Chemical Physics*, 82(7), 3235–3264. <https://doi.org/10.1063/1.457471>
- Parlak, C., Akdogan, M., Yildirim, G., Karagoz, N., Budak, E., & Terzioğlu, C. (2011). Density functional theory study on the identification of 3-[(2-morpholinoethylimino)methyl]benzene-1,2-diol. *\*Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79\*(1), 263–271.
- Pietrowski, M. (2012). Recent developments in heterogeneous selective hydrogenation of halogenated nitroaromatic compounds to halogenated anilines. *\*Current Organic Synthesis*, 9\*(4), 470–487.
- Qi, R., Zhao, Y., Lei, J., Jia, H., & Feng, C. (2026). Nitro-electron trapping engineering for enhanced BPA degradation by metal-free nitro-COFs. *\*Separation and Purification Technology*, 390\*, 136975. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2026.136975>
- Ravi, C., Alsuhaibani, A. M., Refat, M. S., Kempegowda, R. M., & Pandurangappa, C. (2025). Design of highly fluorescent imidazole-based metal-free D- $\pi$ -A dye for DSSC application. *\*Journal of Fluorescence*, 35\*(10), 9773–9790. <https://doi.org/10.1007/s10895-025-04278-y>
- Semnani, A., & Keshavarz, M. H. (2010). Using molecular structure for reliable predicting enthalpy of melting of nitroaromatic energetic compounds. *\*Journal of Hazardous Materials*, 178\*(1–3), 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.072>
- Stephens, P. J., Devlin, F. J., Chabalowski, C. F., & Frisch, M. J. (1994). Ab initio calculation of vibrational absorption and circular dichroism spectra using density functional force fields. *\*The Journal of Physical Chemistry*, 98\*(45), 11623–11627. <https://doi.org/10.1021/j100096a001>
- Wilson, E. B., Jr., Decius, J. C., & Cross, P. C. (1980). *\*Molecular vibrations: The theory of infrared and Raman vibrational spectra\**. Dover Publications.
- Young, D. C. (2001). *\*Computational chemistry: A practical guide for applying techniques to real-world problems\**. John Wiley & Sons.
- Zada, L., Ali, M., Latif, A., Waqar, M., Ullah, A., Halim, S. A., Khan, A., Ahmad, M., Abdullah, M. H., Abdellattif, M. H., & Al-Harrasi, A. (2025). Development of hydroxybenzaldehyde-based pyrimidine-2-one scaffolds: Synthesis, characterization, and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity. *\*Results in Chemistry*, 18\*, 102865. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102865>
- Zhang, X., Guo, J., & Peng, X. (2026). Density functional theory study on the structure and energy properties of high-energy-density materials based on trinitrophenyl azacyclic compounds. *\*Journal of Molecular Modeling*, 32\*, Article 76. <https://doi.org/10.1007/s00894-026-06651-5>

## UZUN MESAFE GECE TRENLERİNDE YOLCU UYKU KALİTESİNİ ETKİLEYEN ÇEVRESEL FAKTÖRLER

Öğr. Gör. Muhammed Emin ARI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Raylı Sistemler Makinistliği, muhammedeminari@karabuk.edu.tr,  
0000-0003-0438-4868

### Özet

Uzun mesafe gece trenleri, yolculara seyahat ve dinlenme işlevini aynı anda sunan özel bir ulaşım türüdür. Türkiye’de özellikle son yıllarda TCDD Taşımacılık A.Ş. tarafından işletilen Turistik Doğu Ekspresi gibi uzun hatlı turistik tren seferlerine yönelik ilginin artması, gece trenlerinde yolcu deneyiminin ve konforunun daha görünür hale gelmesine katkı sağlamıştır. Bu çalışmada, uzun mesafe gece trenlerinde yolcu uyku kalitesini etkileyen başlıca çevresel faktörlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, demiryolu taşımacılığında yolcu konforu, iç ortam koşulları ve uyku kalitesi üzerine yapılan literatür incelenmiş; özellikle gürültü, titreşim, sıcaklık, aydınlatma ve hava kalitesi gibi çevresel değişkenler ele alınmıştır. İncelemeler sonucunda, tekerlek-ray etkileşimi, araç içi mekanik sistemler ve yolcu hareketliliğinden kaynaklanan gürültünün; hat düzensizlikleri ve araç dinamiğine bağlı titreşimlerle birlikte uyku bölünmeleri üzerinde belirgin etkilere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, kompartıman veya kuşet ortamındaki sıcaklık değişimleri, yetersiz havalandırma ve uygun olmayan aydınlatma koşullarının da uykuya dalma süreci ile uyku sürekliliğini olumsuz etkileyebildiği değerlendirilmiştir. Bulgular, gece trenlerinde uyku kalitesinin tek bir etkene bağlı olmadığını, aksine birden fazla çevresel faktörün birleşik etkisiyle şekillendiğini göstermektedir. Sonuç olarak, gece trenlerinde yolcu memnuniyetinin artırılması için ses ve titreşim yalıtımı, termal konforun iyileştirilmesi, aydınlatmanın kontrol edilebilir hale getirilmesi ve iç hava kalitesinin artırılmasına yönelik tasarım ve işletme önlemlerinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Raylı sistem araçları, uzun mesafe gece trenleri, yolcu konforu, demiryolu taşımacılığı, gürültü ve titreşim

## ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING PASSENGER SLEEP QUALITY ON LONG-DISTANCE NIGHT TRAINS

### Abstract

Long-distance night trains are a unique mode of transportation that offers passengers the dual functions of travel and rest. In Türkiye, the growing interest in long-distance tourist train services—such as the Touristic Eastern Express operated by TCDD Taşımacılık A.Ş. —particularly in recent years, has led to greater focus on passenger experience and comfort on night trains. This study aims to evaluate the primary environmental factors affecting passenger sleep quality on long-distance night trains. As part of the study, the literature on passenger comfort, indoor environmental conditions, and sleep quality in rail transportation was reviewed, with specific attention to environmental variables such as noise, vibration, temperature, lighting, and air quality. The findings revealed that noise generated by wheel-rail interaction, onboard mechanical systems, and passenger movement, along with vibrations caused by track irregularities and vehicle dynamics, significantly disrupt sleep. Furthermore, it has been determined that temperature fluctuations in the compartment or couchette, inadequate ventilation, and unsuitable lighting conditions can also negatively affect the process of falling asleep and sleep continuity. The findings indicate that sleep quality on night trains is not determined by a single factor but is shaped by the combined effects of multiple environmental factors. Consequently, it has been concluded that design and operational measures to improve sound and vibration insulation, enhance thermal comfort, make lighting adjustable, and improve indoor air quality are crucial for increasing passenger satisfaction on night trains.

**Keywords:** Railway vehicles, long-distance night trains, passenger comfort, rail transport, noise and vibration

## 1. GİRİŞ

Demiryolu taşımacılığında uzun mesafe gece trenleri, yolcuların yalnızca bir noktadan diğerine ulaşmasını sağlayan bir araç olmakla kalmayıp, aynı zamanda seyahat süresince dinlenme ve geceleme ihtiyaçlarını karşılayan mobil yaşam alanları olarak işlev görmektedir. Bu özellikleriyle gece trenleri, yolculara seyahat ederken uyuma ve varış noktasına uykusunu almış, dinlenmiş bir şekilde ulaşma imkânı sunmaktadır (Heufke Kantelaar, Molin, Cats, Donners ve Wee, 2022). Türkiye'de faaliyet gösteren ve geniş bir coğrafyaya yayılan Doğu Ekspresi, Van Gölü Ekspresi ve Güney Kurtalan Ekspresi gibi köklü anahat trenleri, bu ulaşım ve konaklama işlevini bir arada sunan en önemli örnekler arasında yer almaktadır (Bingöl ve Kozak, 2020; *Doğu Ekspresi'nin Kars İli Ekonomisine Katkısı Araştırma Raporu*, 2023; Orhan ve Hoccoğlu, 2023).

Gece trenleri, sundukları bu temel ulaşım işlevlerinin ötesinde, özellikle son yıllarda turistik ve deneyim odaklı bir seyahat biçimi olarak da büyük ilgi görmektedir. Seyahat severlerin farklı deneyim arayışları, nostalji yaşama istekleri ve eşsiz doğa manzaralarına tanıklık etme arzuları, tren yolculuklarını başlı başına cazip bir turistik ürüne dönüştürmüştür (Fan ve diğerleri, 2022; Wawryszczuk ve Kardas-Cinal, 2025). Bu artan turistik talebe doğrudan yanıt verebilmek amacıyla Türkiye'de hayata geçirilen Turistik Doğu Ekspresi, bünyesinde barındırdığı yataklı vagon konsepti ve rotasındaki uzun süreli kültürel molalarıyla turistik ekspres trenlerin en başarılı örneklerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Şekil 1) (*Doğu Ekspresi'nin Kars İli Ekonomisine Katkısı Araştırma Raporu*, 2023).



**Şekil 1.** Doğu Ekspresi treni (*Doğu Ekspresi'nin Kars İli Ekonomisine Katkısı Araştırma Raporu*, 2023)

İster salt ulaşım ister turistik amaçlı olsun, bu uzun süreli yolculuklarda yolcu memnuniyetini ve konfor algısını belirleyen en temel unsurların başında uyku kalitesi gelmektedir. Uyku, insan sağlığı, fiziksel restorasyon ve bilişsel fonksiyonlar için hayati bir süreçtir; hareket halindeki bir araçta bu sürecin kesintisiz yaşanabilmesi,



yolcunun sabah hissettiği dinlenmişlik hali ile doğrudan ilişkilidir (Elmenhorst, Griefahn, Rolny ve Basner, 2019; J. Liu, Ghastine, Um, Rovit ve Wu, 2020; Smith, Cordoza ve Basner, 2022). Ortamdaki uyaranlar sebebiyle yetersiz veya bölünmüş bir uyku süreci geçirilmesi, yolcularda ertesi gün yorgunluk hissine, reaksiyon sürelerinde yavaşlamaya ve konfor algısında belirgin bir düşüşe yol açarak genel seyahat deneyimini olumsuz yönde etkilemektedir (Elmenhorst ve diğerleri, 2019; Smith ve diğerleri, 2022).

Hareket halindeki bir demiryolu platformunda kaliteli bir uyku deneyimi sunabilmek, durağan konut ortamlarından temelden farklı olan ve birçok fiziksel parametrenin eşzamanlı yönetimini gerektiren karmaşık bir çevresel mühendislik problemidir. Bu süreçte yolcu konforu; gürültü, titreşim, sarsıntı, sıcaklık, aydınlatma, havalandırma ve iç hava kalitesi gibi birbiriyle sürekli etkileşim halinde olan çok sayıda çevresel faktörün etkisi altındadır (Wawryszczuk ve Kardas-Cinal, 2025). Trenin altyapısından, tekerlek-ray etkileşiminden ve kabin içi sistemlerden kaynaklanan bu dinamik faktörlerin her biri, uyku mimarisini bozabilecek ve yolcu rahatlığını sekteye uğratabilecek potansiyel çevresel uyaranlar olarak değerlendirilmektedir (Croy, Smith ve Waye, 2013; Fan ve diğerleri, 2022; Smith, Croy, Ögren ve Persson Waye, 2013).

Bu çalışmanın amacı, uzun mesafe gece trenlerinde seyahat eden yolcuların uyku kalitesini ve genel konfor algısını doğrudan etkileyen çevresel parametreleri incelemektir. Bildiri kapsamında, hareketli bir araç üzerindeki uyku iklimini şekillendiren gürültü, titreşim, sıcaklık, aydınlatma ve iç hava kalitesi gibi faktörler kısa, net ve literatür temelli bir biçimde değerlendirilmektedir. Yapılan bu teorik değerlendirme ile, yolcu refahını optimize etmeye yönelik demiryolu araç tasarımı parametrelerine dikkat çekilmesi ve uzun mesafe tren seyahatlerinin sürdürülebilirliğine akademik bir katkı sunulması hedeflenmektedir.

## **2. YÖNTEM**

### **2.1. Araştırma Yaklaşımı**

Bu çalışma, mevcut akademik literatürün incelenerek nitel bir senteze dönüştürüldüğü derinlemesine bir literatür taraması yaklaşımıyla yürütülmüştür. İncelemenin temelini, ulusal ve uluslararası veri tabanlarında yer alan hakemli akademik makaleler oluşturmaktadır. Literatür taraması sürecinde, araştırma problemiyle doğrudan ilişkili olan "demiryolu yolcu konforu", "iç ortam koşulları", "gece trenleri", "yataklı trenler", "uyku kalitesi", "gürültü", "titreşim", "ısı konforu", "aydınlatma", "havalandırma" ve "iç ortam çevresel koşulları" gibi konuları merkeze alan çalışmalar esas alınmıştır. Elde edilen kaynaklar, çevresel faktörlerin yolcu uyku kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya koyacak biçimde tematik olarak sınıflandırılmış ve bulgular bu çerçevede nitel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2).





**Şekil 2.** Çalışma kapsamında ele alınmış uyku kalitesini etkileyen çevresel faktörler

## 2.2. Değerlendirme Kapsamı

Çalışmanın kapsamı, uzun mesafe gece trenlerinde yolcuların uyku kalitesini etkileyen fiziksel ve çevresel faktörlerle sınırlandırılmıştır. Bu nedenle bireysel sağlık durumu, psikolojik etkenler, yaş, kişisel uyku alışkanlıkları ve benzeri öznel değişkenler değerlendirme dışında bırakılmıştır. Bildiri kapsamında incelenen çevresel faktörler, literatürde öne çıkan başlıklar dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Bu doğrultuda değerlendirme; gürültü, titreşim ve sarsıntı, sıcaklık ve termal konfor, aydınlatma ile havalandırma ve iç hava kalitesi olmak üzere beş temel başlık altında ele alınmıştır.

## 3. BULGULAR

### 3.1. Gürültünün Uyku Kalitesine Etkisi

Uzun mesafe gece trenlerinde yolcu uyku kalitesini etkileyen en belirgin çevresel faktörlerin başında gürültü gelmektedir. Tren içi gürültü; tekerlek-ray etkileşimi, aerodinamik akış ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinden kaynaklanan karmaşık bir spektruma sahiptir (Fan ve diğerleri, 2022; Foyzunnahar ve diğerleri, 2024). Literatürdeki bulgular, demiryolu gürültüsünün uyku üzerindeki etkisinin, ani yükselme süreleri ve düşük frekanslı bileşenlerin yoğunluğu nedeniyle diğer ulaşım modlarından farklılaştığını göstermektedir (Elmenhorst ve diğerleri, 2019). Örneğin, 237 kişi üzerinde yaptıkları laboratuvar çalışmasında 109.836 gürültü olayı analiz edilmiş ve demiryolu, karayolu ve uçak gürültüsünün uyku sırasında uyanmaya neden olma olasılığını karşılaştırılmıştır (Elmenhorst ve diğerleri, 2019). Polisomnografik ölçümlere göre, aynı maksimum ses düzeyinde uyanma olasılığı uçak < kara yolu < demiryolu şeklinde sıralanmaktadır (Tablo 1) (Elmenhorst ve diğerleri, 2019). Çalışmada, 70 dB seviyesinde demiryolu gürültüsünün uyanmaya yol açma olasılığının uçak gürültüsüne göre %7'den fazla daha yüksek olduğu gösterilmiştir (Elmenhorst ve diğerleri, 2019). Ayrıca gürültü olaylarının sayısının artması ve sesin ani yükselmesi uyanma olasılığını artırmaktadır. Bu

bulgular, demiryolu gürültüsünün gece uykusu üzerinde belirgin bir olumsuz etkiye sahip olduğunu ve gece trenlerinde akustik koşulların yolcu uyku kalitesi açısından kritik bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

**Tablo 1.** Eşit ses basınç seviyelerinde farklı ulaşım modlarının uyanma olasılığı üzerindeki etkileri

| Gürültü Seviyesi | Ulaşım Modu | Uyanma Olasılığı | Fizyolojik Tepki (Kalp Hızı Artışı) |
|------------------|-------------|------------------|-------------------------------------|
| 70 dB            | Uçak        | Düşük            | Düşük                               |
| 70 dB            | Karayolu    | Orta             | Orta                                |
| 70 dB            | Demiryolu   | Yüksek           | Yüksek                              |

Gürültü, yalnızca uykunun bölünmesine yol açmamakta; birey tam olarak uyanmasa dahi çeşitli istemsiz fizyolojik tepkileri tetikleyerek uykunun dinlendirici niteliğini zayıflatabilmektedir. Sesin başlamasından kısa bir süre sonra kalp hızında ani artışlar gözlemlenmekte, bu durum uykunun dinlendirici yapısını bozmaktadır (Croy ve diğerleri, 2013; Smith ve diğerleri, 2013). Uykunun bu şekilde parçalanması, yolcularda ertesi sabah yorgunluk hissine ve reaksiyon sürelerinde yavaşlamaya yol açarak genel seyahat konforunu doğrudan düşürmektedir.

### 3.2. Titreşim ve Sarsıntının Uyku Kalitesine Etkisi

Gece trenlerinde titreşim ve sarsıntı, yolcunun hareket ve denge algısını sürekli etkileyerek uyku derinliğini ve uykunun dinlendirici niteliğini azaltabilen başlıca fiziksel faktörlerdir (Croy ve diğerleri, 2013; Smith ve diğerleri, 2013). Deneysel çalışmalar, titreşim genliğinin (örneğin 0.4 mm/s'den 1.4 mm/s'ye) artmasının sübjektif uyku kalitesini belirgin şekilde düşürdüğünü, uykuya dalmayı zorlaştırdığını ve sabah yorgunluğunu artırdığını ortaya koymaktadır (Smith ve diğerleri, 2013). Literatür, gece boyunca maruz kalınan demiryolu titreşimlerinin kalp hızı üzerindeki etkisinin gürültüden daha uzun sürdüğünü göstermektedir. Titreşimin otonom sinir sistemi üzerindeki etkisinin gürültüye kıyasla daha kalıcı olduğu ve kalp hızında gecikmeli ancak uzun süreli artışlara neden olduğu gözlemlenmiştir. Gürültüye bağlı ilk 9. saniyedeki kalp hızı artışından sonra, titreşimlerin etkisiyle yaklaşık 17. saniyede başlayan ikinci bir yükselme evresi gözlenir (Croy ve diğerleri, 2013). Bu gecikmeli tepki, titreşimin otonom sinir sistemi üzerindeki kalıcı uyarıcı etkisini kanıtlamaktadır (Şekil 3).



**Şekil 3.** Uyku sırasında gürültü ve titreşimin kalp hızına etkisi

Literatürde dikkat çeken bir diğer bulgu, hareket yönünün uyku mimarisi üzerindeki etkisidir. Tren kaynaklı titreşim maruziyeti, gece uykusunda uyarılma ve uyanma olasılığını artırarak uyku evresi geçişlerini sıklaştırmakta ve böylece uyku sürekliliğini olumsuz etkileyebilmektedir; ayrıca yoğun kurpa sahip hat kesimlerinde belirginleşen yanal ivme ve yanal jerk bileşenleri, yolcu konforunda düşüş ve daha yüksek rahatsızlık algısıyla ilişkilendirilmektedir (C. Liu, Thompson, Griffin ve Entezami, 2020; Smith, Croy, Hammar ve Persson Waye, 2016; Smith ve diğerleri, 2013; Suzuki, Shiroto, Tanaka, Tezuka ve Takai, 2000; “Technical Briefs”, 2009). Bununla birlikte, titreşimlerin gürültü ile sinerjik bir etkileşim gösterdiği; her iki uyarana eşzamanlı maruz kalmanın, tekil etkilere kıyasla uyanma sıklığını ve konforsuzluk algısını çok daha fazla artırdığı tespit edilmiştir (Smith ve diğerleri, 2013).

### 3.3. Sıcaklık ve Termal Konforun Etkisi

Hareketli ve sınırlı bir hacme sahip olan gece treni kompartımanlarında, uyku mikroklimasını oluşturan sıcaklık ve termal konfor, uyku verimliliği üzerinde kritik bir role sahiptir (Han, Estrella Guillén, Liu, Chen ve Samuelson, 2025; Y. Zhang, Li, Sun, Liu ve Chen, 2015). İnsan vücudunun uyku sırasındaki ısı toleransı uyanık duruma göre daha dar bir aralıktadır. Literatür, 21°C ile 23°C arasındaki sıcaklıkların uyku için en uygun aralık olduğunu; 25°C ve üzerindeki sıcaklıkların ise vücut ısı dengesini zorlayarak uyku huzursuzluğunu artırdığını göstermektedir (Han ve diğerleri, 2025). Ortam sıcaklığındaki 1.4°C'lik küçük artışların dahi uyku verimliliğini düşürdüğü, uykuya dalma süresini uzattığı ve REM uykusunun süresini kısalttığı tespit edilmiştir (Han ve diğerleri, 2025).

Bunun yanı sıra, tren içi iklimlendirme sistemlerinin yarattığı hava akımları da uyku kalitesini doğrudan etkiler. Yüz bölgesine direkt temas eden yüksek hızlı hava akımları (cereyan riski) yolcuları uykudan uyandırma potansiyeline sahipken, yetersiz hava sirkülasyonu termal konforsuzluğu artırmaktadır

(Hamidi Jahromi, Di Fraia, Massarotti ve Mauro, 2026). Dolayısıyla dengeli ve cereyansız bir termal ortamın sürdürülebilmesi, kesintisiz bir uyku deneyimi için şarttır.

### **3.4. Aydınlatma Koşullarının Etkisi**

Görsel çevre ve aydınlatma koşulları, yolcuların biyolojik saatini ve uykuya geçiş süreçlerini düzenleyen en güçlü dışsal uyaranlardan biridir (Alam, Abbas, Sharf ve Khan, 2024). Standart olarak kullanılan parlak beyaz LED aydınlatmalar ve yolcuların dijital ekranlarından yayılan 400-500 nm dalga boyundaki mavi ışık, retinadaki ışığa duyarlı hücreleri uyararak uyku hormonu olan melatoninin salgılanmasını ciddi ölçüde baskılamaktadır (Alam ve diğerleri, 2024; Silvani, Werder ve Perret, 2022). Çalışmalar, bu tür aydınlatmalara 2 saat maruz kalmanın uykuya dalma süresini ortalama 1,1 saat geciktirebildiğini ve biyolojik uyku-uyanıklık döngüsünün doğal zamanlamasını değiştirebildiğini göstermektedir (Pham, Chuang, Kuo, Yeh ve Liao, 2021). Ayrıca, trenin gece boyunca geçtiği istasyonlardan veya dış ortamlardan gelen ışık sızıntılarının engellenmesi, uyku derinliğinin korunması ve uyanma sıklığının azaltılması açısından görsel konforun vazgeçilmez bir parçasıdır. Dolayısıyla, dışarıdan gelen istasyon ve sokak aydınlatmalarını tamamen engelleyen perdelerin varlığı, görsel konforun korunması açısından kritiktir.

### **3.5. Havalandırma ve İç Hava Kalitesinin Etkisi**

Havalandırma ve iç hava kalitesi, uzun mesafe gece trenlerinde yolcu uyku kalitesini etkileyen temel çevresel belirleyicilerden biridir. Tren kabinleri ve uyku ortamları üzerine yapılan literatür, yetersiz havalandırmanın karbondioksit (CO<sub>2</sub>) birikimine, havanın bayat algılanmasına ve buna bağlı uyku kalitesinde bozulmaya yol açtığını göstermektedir. Raylı sistem kabinlerinde yapılan saha çalışmalarında, tren ve diğer kara ulaşım kabinlerinin önemli bir bölümünde havalandırma ölçütlerinin yetersiz kaldığı ve iç hava kalitesinin kusurlu olduğu ifade edilmiştir; bu durum uzun süreli gece yolculuklarında daha da kritik hale gelmektedir (Ogundiran, Nyembwe, Ribeiro ve da Silva, 2024; Ogundiran, Nyembwe, Ribeiro ve Gameiro da Silva, 2023). Özellikle yataklı vagon ve kuşetli kompartımanlara benzer küçük hacimli uyku ortamlarında, gece boyunca solunum kaynaklı CO<sub>2</sub> artışı uyku bütünlüğünü bozabilmektedir. Literatürde, yatak odalarındaki ortalama gece CO<sub>2</sub> düzeyi yükseldikçe derin uyku oranının azaldığı, uyku verimliliğinin düştüğü ve havanın tazeliğine ilişkin olumsuz algının daha kötü öznel uyku kalitesiyle ilişkili olduğu gösterilmiştir (Sekhar ve diğerleri, 2020; Xiong, Lan, Lian ve De dear, 2020; X. Zhang, Luo, Xie ve Liu, 2021).

Tren içi HVAC tasarımına odaklanan çalışmalar da bu bulguları desteklemektedir. Yataklı vagon kompartımanlarında yapılan sayısal analizler, hava üfleme biçiminin yalnızca termal konforu değil, kirletici uzaklaştırma etkinliğini de belirlediğini; özellikle yolcunun bulunduğu bölgeye daha kontrollü ve hedefli hava sağlayan havalandırma çözümlerinin hem daha homojen sıcaklık dağılımı hem de daha iyi kirletici giderimi sağlayabildiğini göstermiştir (Liying, Zhang ve Zhang, 2020; Sun ve Jiang, 2022). Benzer biçimde uzun mesafe

trenlerde düşük momentumlu havalandırma sistemlerinin yolcu termal konforunu anlamlı biçimde değiştirdiği ve bazı çözümlerin daha yüksek konfor sağladığı bildirilmiştir (Maier, Hoermann, Goerke ve Zierke, 2023). Uyku çalışmaları ise havalandırmanın zayıflamasıyla CO<sub>2</sub>'nin yaklaşık 1000 ppm ve üzerine çıkmasının uyku verimliliğini düşürdüğünü, uyanık kalma süresini artırdığını ve daha yüksek düzeylerde derin uykuyu azaltabildiğini göstermektedir; ayrıca daha yüksek CO<sub>2</sub> düzeylerinde dönme, huzursuzluk ve uyanma sayısında artış rapor edilmiştir (Kang ve diğerleri, 2024; Wang ve diğerleri, 2023). Bu nedenle, uzun mesafe gece trenlerinde yeterli taze hava debisinin korunması, CO<sub>2</sub> birikiminin sınırlandırılması ve yolcu başı hava dağıtımının iyileştirilmesi, yalnızca konfor için değil, uyku sürekliliği ve dinlendirici uyku açısından da kritik görünmektedir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen literatür temelli değerlendirmeler ışığında, uzun mesafe gece trenlerinin yolcular için yalnızca bir noktadan diğerine ulaşımı sağlayan araçlar olmadığı; aynı zamanda seyahat süresince dinlenme ve geceleme ihtiyaçlarının karşılandığı mobil yaşam alanları olduğu bir kez daha anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, yolcu konforunun ve genel seyahat memnuniyetinin en önemli bileşenlerinin başında uyku kalitesi gelmektedir. Hareket halindeki bir demiryolu aracında kaliteli ve kesintisiz bir uyku deneyiminin sağlanması, kabin içindeki fiziksel koşulların ne ölçüde optimize edildiğine doğrudan bağlıdır.

Yapılan incelemeler; gürültü, titreşim ve sarsıntı, sıcaklık ve termal konfor, aydınlatma, havalandırma ile iç hava kalitesi gibi çevresel faktörlerin, yolcuların uykuya dalma süresi, uykunun bölünmeden sürdürülmesi ve sabah varış noktasına dinlenmiş bir şekilde uyanması üzerinde kritik etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Literatürün genel eğilimi değerlendirildiğinde, uykunun fizyolojik yapısını bozma, otonomik tepkileri tetikleme ve uyanışlara neden olma potansiyeli bakımından özellikle gürültü, titreşim ve termal koşulların uyku kalitesi üzerinde çok daha belirgin ve baskın etkiler oluşturduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, biyolojik uyku-uyanıklık düzenini destekleyen uygun aydınlatma koşulları ile temiz hava sirkülasyonunu belirleyen havalandırma ve iç hava kalitesi de, bütüncül bir uyku konforunun inşasında kesinlikle ihmal edilmemesi gereken temel tamamlayıcı faktörler olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, gece trenlerindeki yolcu deneyiminin salt bir yer değiştirme eyleminden ziyade, fiziksel ve zihinsel bir dinlenme süreci olduğu unutulmamalıdır. Uzun mesafe gece trenlerinin sürdürülebilir bir seyahat alternatifi olarak tercih edilebilirliğini koruması ve yolcu refahının maksimize edilmesi için, incelenen tüm bu çevresel konfor koşullarının hem demiryolu araçlarının tasarım aşamasında hem de günlük işletme süreçlerinde bütüncül bir mühendislik yaklaşımıyla dikkate alınması gerekmektedir. Tasarım ve işletme standartlarının, çevresel uyaranları minimize edecek şekilde geliştirilmesi, gelecekteki demiryolu seyahatlerinin konforunu ve kalitesini doğrudan artıracaktır.

## KAYNAKLAR

- Alam, M., Abbas, K., Sharf, Y. ve Khan, S. (2024). Impacts of Blue Light Exposure From Electronic Devices on Circadian Rhythm and Sleep Disruption in Adolescent and Young Adult Students. *Chronobiology in Medicine*, 6(1), 10-14. doi:10.33069/CIM.2024.0004
- Bingöl, S. ve Kozak, M. A. (2020). Turistik Tren Yolculuklarına Nostaljik Yaklaşım: Doğu, Güney Kurtalan Ve Van Gölü Ekspresleri. *Journal of Recreation and Tourism Research*, 7(3), 325-349. doi:10.31771/JRTR.2020.67
- Croy, I., Smith, M. G. ve Waye, K. P. (2013). Effects of train noise and vibration on human heart rate during sleep: an experimental study. *BMJ Open*, 3(5), e002655. doi:10.1136/BMJOPEN-2013-002655
- Doğu Ekspresi'nin Kars İli Ekonomisine Katkısı Araştırma Raporu. (2023).
- Elmenhorst, E. M., Griefahn, B., Rolny, V. ve Basner, M. (2019). Comparing the Effects of Road, Railway, and Aircraft Noise on Sleep: Exposure–Response Relationships from Pooled Data of Three Laboratory Studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1073. doi:10.3390/IJERPH16061073
- Fan, C., Lin, Y., Lin, S., Li, Y., Wu, F., Xiong, X., ... Peng, Y. (2022). Influencing factors and mechanism of high-speed railway passenger overall comfort: Insights from source functional brain network and subjective report. *Frontiers in Public Health*, 10, 993172. doi:10.3389/FPUBH.2022.993172/
- Foyzunnahar, M., Islam, M. Z., Mamun, A. Al, Hoque, N., Dola, R. J., Anny, A. A., ... Sattar, S. (2024). Environmental Noise and Sleep Among Population Residing Near Railway Tracks. *Journal of Preventive and Social Medicine*, 43(2), 29-37. doi:10.3329/JOPSOM.V43I2.84196
- Hamidi Jahromi, R., Di Fraia, S., Massarotti, N. ve Mauro, A. (2026). Air quality and thermal comfort conditions in train cabins: a systematic review. *Energy and Buildings*, 354, 116998. doi:10.1016/J.ENBUILD.2026.116998
- Han, J. M., Estrella Guillén, E., Liu, S., Chen, Y. ve Samuelson, H. W. (2025). Using explainable artificial intelligence to predict sleep interruptions from indoor environmental conditions: an empirical study. *Building Research & Information*, 53(5), 636-655. doi:10.1080/09613218.2025.2482959
- Heufke Kantelaar, M., Molin, E., Cats, O., Donners, B. ve Wee, B. van. (2022). Willingness to use night trains for long-distance travel. *Travel Behaviour and Society*, 29, 339-349. doi:10.1016/J.TBS.2022.08.002
- Kang, M., Yan, Y., Guo, C., Liu, Y., Fan, X., Wargocki, P. ve Lan, L. (2024). Ventilation causing an average CO2 concentration of 1,000 ppm negatively affects sleep: A field-lab study on healthy young people. *Building and Environment*, 249, 111118. doi:10.1016/J.BUILDENV.2023.111118



- Liu, C., Thompson, D., Griffin, M. J. ve Entezami, M.  
(2020). Effect of train speed and track geometry on the ride comfort in high-speed railways based on ISO 2631-1. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 234(7), 765-778. doi:10.1177/0954409719868050
- Liu, J., Ghastine, L., Um, P., Rovit, E. ve Wu, T. (2020). Environmental exposures and sleep outcomes: A review of evidence, potential mechanisms, and implications. *Environmental research*, 196, 110406. doi:10.1016/J.ENVRES.2020.110406
- Liyang, S., Zhang, Y. ve Zhang, X.  
(2020). Effect of air supply mode on the airflow distribution inside soft sleeper compartments of air-conditioned trains. *Science and Technology for the Built Environment*, 27(4), 414-426. doi:10.1080/23744731.2020.1827866
- Maier, J., Hoermann, H. J., Goerke, P. ve Zierke, O. (2023). Thermal comfort of novel low-momentum ventilation concepts for passengers in long-distance trains. *Indoor and Built Environment*, 32(7), 1319-1334. doi:10.1177/1420326X231160038
- Ogundiran, J. O., Nyembwe, J. P. K. B., Ribeiro, A. S. N. ve da Silva, M. G. (2024). A Field Survey on Indoor Climate in Land Transport Cabins of Buses and Trains. *Atmosphere 2024, Vol. 15*, 15(5). doi:10.3390/ATMOS15050589
- Ogundiran, J. O., Nyembwe, J. P. K. B., Ribeiro, A. S. N. ve Gameiro da Silva, M.  
(2023). Indoor Environmental Quality Assessment of Train Cabins and Passenger Waiting Areas: A Case Study of Nigeria. *Sustainability 2023, Vol. 15*, 15(23). doi:10.3390/SU152316533
- Orhan, F. ve Hocaoglu, H. (2023). Orient Ekspres'ten Turistik Dogu Ekspresi'ne: Türkiye'de demiryollarının turistik önemi üzerine bir inceleme. *International Journal of Geography and Geography Education*, 50(50), 247-266. doi:10.32003/IGGE.1307140
- Pham, H. T., Chuang, H. L., Kuo, C. P., Yeh, T. P. ve Liao, W. C. (2021). Electronic Device Use before Bedtime and Sleep Quality among University Students. *Healthcare 2021, Vol. 9*, 9(9). doi:10.3390/HEALTHCARE9091091
- Sekhar, C., Akimoto, M., Fan, X., Bivolarova, M., Liao, C., Lan, L. ve Wargocki, P.  
(2020). Bedroom ventilation: Review of existing evidence and current standards. *Building and Environment*, 184, 107229. doi:10.1016/J.BUILDENV.2020.107229
- Silvani, M. I., Werder, R. ve Perret, C.  
(2022). The influence of blue light on sleep, performance and wellbeing in young adults: A systematic review. *Frontiers in Physiology*, 13, 943108. doi:10.3389/FPHYS.2022.943108

- Smith, M. G., Cordoza, M. ve Basner, M. (2022). Environmental Noise and Effects on Sleep: An Update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 130(7), 076001. doi:10.1289/EHP10197
- Smith, M. G., Croy, I., Hammar, O. ve Persson Waye, K. (2016). Vibration from freight trains fragments sleep: A polysomnographic study. *Scientific Reports* 2016 6:1, 6(1), 24717-. doi:10.1038/srep24717
- Smith, M. G., Croy, I., Ögren, M. ve Persson Waye, K. (2013). On the Influence of Freight Trains on Humans: A Laboratory Investigation of the Impact of Nocturnal Low Frequency Vibration and Noise on Sleep and Heart Rate. *PLOS ONE*, 8(2), e55829. doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0055829
- Sun, L. ve Jiang, Y.  
(2022). Effect of air supply mode on airflow distribution in winter train sleeper compartments. *International Journal of Ventilation*, 21(2), 122-139. doi:10.1080/14733315.2020.1859058
- Suzuki, H., Shioto, H., Tanaka, A., Tezuka, K. ve Takai, H. (2000). Psychophysical Evaluation of Railway Vibrational Discomfort on Curved Sections. *Quarterly Report of RTRI*, 41(3), 106-111. doi:10.2219/RTRIQR.41.106
- Technical Briefs. (2009). *Noise & Vibration Worldwide*, 40(8), 24-28. doi:10.1260/095745609789686911
- Wang, R., Li, W., Gao, J., Zhao, C., Zhang, J., Bie, Q., ... Chen, X.  
(2023). The Influence of Bedroom CO<sub>2</sub> Concentration on Sleep Quality. *Buildings* 2023, Vol. 13, 13(11). doi:10.3390/BUILDINGS13112768
- Wawryszczuk, R. ve Kardas-Cinal, E.  
(2025). Impact of Environmental Factors on Passenger Ride Comfort. *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, 15(4). doi:10.3390/APP15041986
- Xiong, J., Lan, L., Lian, Z. ve De dear, R.  
(2020). Associations of bedroom temperature and ventilation with sleep quality. *Science and Technology for the Built Environment*, 26(9), 1274-1284. doi:10.1080/23744731.2020.1756664
- Zhang, X., Luo, G., Xie, J. ve Liu, J.  
(2021). Associations of bedroom air temperature and CO<sub>2</sub> concentration with subjective perceptions and sleep quality during transition seasons. *Indoor Air*, 31(4), 1004-1017. doi:10.1111/INA.12809;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
- Zhang, Y., Li, J., Sun, H., Liu, J. ve Chen, Q. (2015). Evaluation of Different Air Distribution Systems for Sleeping Spaces in Transport Vehicles. *Building and Environment*, (94).

## RAYLI SİSTEM ARAÇ BOJİLERİNDE HAFİFLETME YAKLAŞIMLARI: METALDEN KOMPOZİTE GEÇİŞ

Öğr. Gör. Muhammed Emin ARI<sup>1</sup>/ Dr. Öğr. Üyesi Cahit BİLGİ<sup>2</sup> / Prof. Dr. Bilge DEMİR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Raylı Sistemler Makinistliği, muhammedeminari@karabuk.edu.tr, 0000-0003-0438-4868

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Uçak Teknolojisi, cahit.bilgi@iuc.edu.tr, 0000-0002-7432-2817

<sup>3</sup>Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği, bdemir@karabuk.edu.tr, 0000-0002-3617-9749

### Özet

Raylı sistem araçlarının toplam kütlelerinin önemli bir bölümünü oluşturan ve aracın dinamik performansını doğrudan etkileyen bojiler, yapısal tasarımda kütsel açıdan en kritik alt sistemlerin başında gelmektedir. Artan taşıma kapasitesi, enerji verimliliği, düşük dingil yükü ve minimum hat aşınması talepleri, boji yapılarında kütle azaltımını modern mühendisliğin temel bir zorunluluğu haline getirmiştir. Bu nedenle boji tasarımı, yalnızca taşıyıcı bir alt sistemin boyutlandırılması olarak değil, araç performansını bütüncül biçimde etkileyen stratejik bir mühendislik problemi olarak ele alınmalıdır. Günümüzde yüksek dayanımlı çelikler, alüminyum alaşımları ve topoloji optimizasyonu gibi geleneksel metal esaslı hafifletme yaklaşımları başarıyla uygulansa da, metallerin fiziksel sınırları daha ileri kütle düşüş hedeflerine ulaşılmasını kısıtlamaktadır. Bu nedenle, yüksek özgül dayanım ve rijitlik sunan ileri kompozit malzemeler endüstri için güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Kompozitler, yapısal kütleyi azaltarak enerji sarfiyatını düşürmenin yanı sıra üstün korozyon direnci ve titreşim sönümleme kapasitesi ile operasyonel avantajlar sunar. Özellikle boji gibi sürekli dinamik yüklemelere, çevresel etkilere ve güvenlik temelli tasarım gerekliliklerine maruz kalan yapılarda, malzeme seçimi doğrudan performans, dayanıklılık ve işletme güvenilirliği ile ilişkilidir. Buna karşın; yüksek üretim maliyetleri, katı yangın ve toksisite sertifikasyon standartları, darbe kaynaklı iç hasarların tespitindeki zorluklar ve üretim tekrarlanabilirliği gibi unsurlar bu teknolojik sıçramanın önündeki başlıca engellerdir. Bu çalışmada, raylı sistem araç bojilerinde kullanılan hafifletme yaklaşımları kısaca değerlendirilmiş, metal esaslı çözümler ile kompozit malzemeye geçiş eğilimi karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve kısa ile orta vadede hibrit çözümler ile aşamalı geçiş stratejilerinin daha uygulanabilir bir yaklaşım sunduğu ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Raylı sistem araçları, boji hafifletme, hafif yapı tasarımı, kompozit malzemeler

## LIGHTWEIGHT APPROACHES IN RAILWAY VEHICLE BOGIES: TRANSITION FROM METAL TO COMPOSITE

### Abstract

Bogies, which account for a significant portion of the total mass of rail vehicles and directly affect the vehicle's dynamic performance, are among the most critical subsystems in terms of mass in structural design. Increasing demands for higher carrying capacity, energy efficiency, low axle load, and minimal track wear have made weight reduction in bogie structures a fundamental requirement of modern engineering. Therefore, bogie design should be approached not merely as the sizing of a load-bearing subsystem, but as a strategic engineering problem that holistically affects vehicle performance. While traditional metal-based lightweighting approaches—such as high-strength steels, aluminum alloys, and topology optimization—are successfully applied today, the physical limitations of metals restrict the achievement of further mass reduction targets. Consequently, advanced composite materials, which offer high specific strength and stiffness, are emerging as a strong alternative for the industry. Composites not only reduce structural mass to drastically lower energy consumption but also provide operational advantages through superior corrosion resistance and vibration damping capabilities. Particularly in structures subjected to continuous dynamic loads—such as those in railway applications—as well as environmental effects and safety-based design requirements, material selection is directly linked to performance, durability, and operational reliability. However, high production costs, stringent fire and toxicity certification standards, difficulties in detecting impact-induced internal damage, and production reproducibility are the primary obstacles to this technological leap. In this study, lightweighting approaches used in rail vehicle bogies were briefly evaluated, the trend toward transitioning from metal-based solutions to composite materials was examined comparatively, and it was demonstrated that hybrid solutions and phased transition strategies offer a more feasible approach in the short to medium term.

**Keywords:** Railway vehicles, bogie lightweighting, structural optimization, composite materials

## 1. GİRİŞ

Modern demiryolu sistemlerinde çevresel sürdürülebilirlik, artan yolcu kapasitesi ve yüksek hız talepleri, araç kütlesinin azaltılmasını endüstrinin en öncelikli mühendislik hedeflerinden biri haline getirmiştir (Arı & Esen, 2022; Ulbricht vd., 2023). Araç kütlesi; sistemin ivmelenme ve frenleme yeteneklerini, çekiş için gereken enerji tüketimini ve buna bağlı operasyonel maliyetleri doğrudan belirlemektedir (Bruni vd., 2022; Ulbricht vd., 2023). Ayrıca yüksek kütleli araçlar, demiryolu altyapısı üzerinde ciddi dingil yükleri yaratarak raylarda yorulma, dalgalı aşınma ve balast deformasyonları gibi hasarlara yol açmakta, bu durum da altyapı bakım maliyetlerini katlayarak artırmaktadır (Bruni vd., 2022; Liu vd., 2016; Zhang vd., 2025). Bu bağlamda, hem çevresel etkileri ve enerji sarfiyatını en aza indirmeyi hem de işletme verimliliğini maksimize etmeyi amaçlayan hafif yapısal tasarım felsefesi, modern raylı sistem tasarımları için estetik bir tercih olmaktan çıkıp vazgeçilmez bir zorunluluk halini almıştır (Ulbricht vd., 2023).

Bir raylı sistem aracının toplam kütlesinin yaklaşık %30 ila %41'i (araç tipine ve türüne göre farklılık gösterebilir) gibi önemli bir bölümünü oluşturan bojiler, yapısal kütle azaltımı çalışmalarında stratejik bir merkez konumundadır (Cascino vd., 2026; Kim vd., 2013; Mahboubizadeh vd., 2023a; Mistry, Johnson, McRobie, vd., 2021). Boji, yalnızca vagon veya lokomotif gövdesini destekleyen basit bir taşıyıcı alt sistem olarak değerlendirilemez; aksine tekerlek takımlarını yöneten, cer ve fren mekanizmalarını barındıran, birinci ve ikinci derece süspansiyon elemanlarını entegre eden son derece kritik ve karmaşık bir yapıdır (Cascino vd., 2024; Khadir, 2017). Özellikle bojilerdeki tekerlek takımları ve şasi gibi “yaylanmayan kütlelerin” azaltılması, tekerlek-ray etkileşiminden doğan dinamik darbe kuvvetlerini önemli ölçüde zayıflatmakta ve hat hasarlarını minimize etmektedir (Bruni vd., 2022; Johnson vd., 2022; Ulbricht vd., 2022; Zhang vd., 2025). Bu nedenle, bojilerin yapısal kütlesinde sağlanacak etkin bir düşüş; sadece aracın hafiflemesine değil, sürüş konforunun artmasına, raydan çıkma güvenliğinin iyileşmesine ve aracın genel dinamik performansının yükselmesine olanak tanımaktadır.

Geleneksel boji tasarımlarında, yüksek mekanik dayanım ve yorulma performansı gereksinimleri nedeniyle çelik esaslı yapılar yaygın olarak tercih edilmiş; bazı yüksek hızlı ve özel raylı sistem uygulamalarında ise ağırlık azaltma amacıyla alüminyum alaşımları da kullanılmıştır (Jeon vd., 2013; Queguineur vd., 2025; Seo vd., 2023). Günümüzde bu yapılar topoloji optimizasyonu gibi ileri mühendislik yaklaşımlarıyla belirli ölçülerde hafifletilmiş olsa da, metallerin sahip olduğu fiziksel sınırlar daha ileri kütle azaltım hedeflerine ulaşılmasını engellemektedir (Cascino vd., 2024, 2026; Ulbricht vd., 2023). Bu darboğazı aşmak adına; geleneksel metallere kıyasla çok daha yüksek özgül dayanım, üstün yorulma direnci, korozyon bağışıklığı ve yapısal titreşim sönümleme kapasitesi sunan karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP) ve cam fiber takviyeli polimerler (GFRP) gibi kompozit malzemeler, boji çerçevelerinde %50'ye varan kütle düşüşü sağlayarak

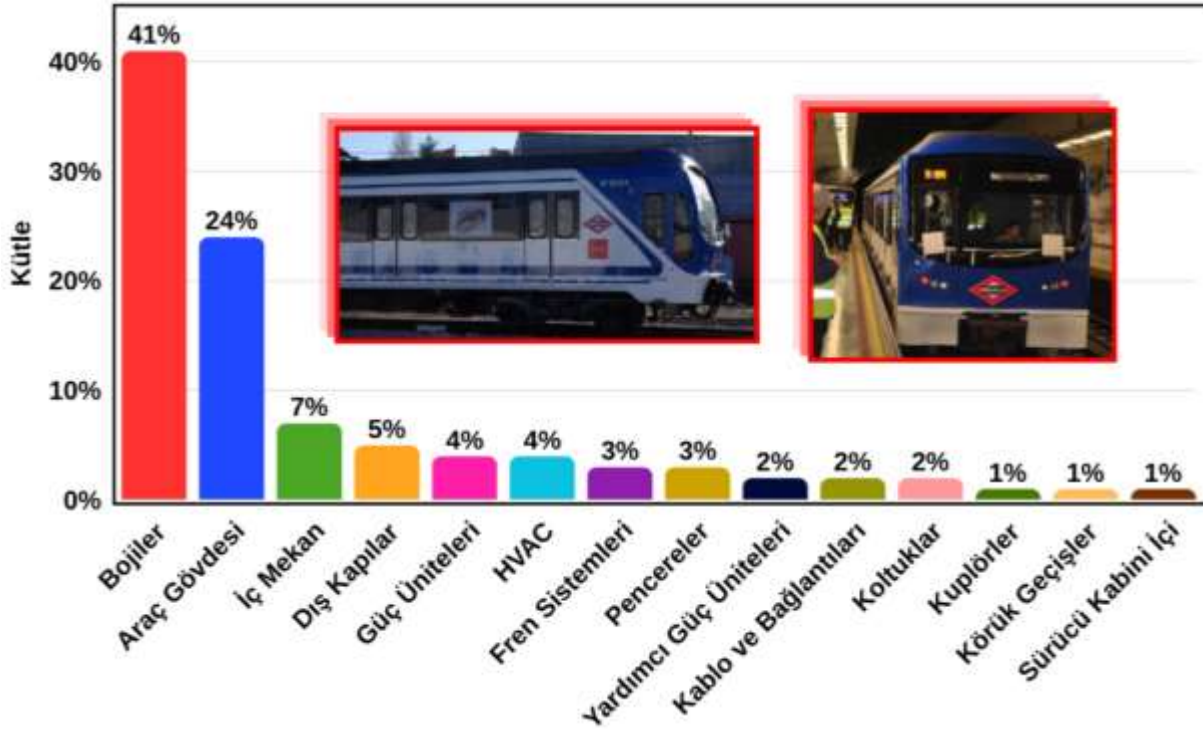
endüstriye güçlü bir alternatif sunmaktadır (Robinson vd., 2017; Ulbricht, 2019a). Ancak bu yenilikçi malzemelere geçiş safhası; yüksek ham madde ve üretim maliyetleri, EN 45545-2 gibi katı yangın, duman ve toksisite sertifikasyon standartlarına uyum zorunluluğu ve operasyon sırasındaki gizli darbe delaminasyonlarının tespitinde ultrasonik veya termografik tahribatsız muayene yöntemlerinin gerekliliği gibi yeni operasyonel zorlukları da beraberinde getirmektedir (EN 45545-2+A1 - Railway applications - Fire protection on railway vehicles - Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components, 2013; Ulbricht vd., 2023). Tasarım karmaşasını ve üretim maliyetlerini optimize edebilmek amacıyla günümüzde, ana taşıyıcı kırımların kompozitten, karmaşık bağlantı ve süspansiyon arayüzlerinin ise metalden üretildiği metal-kompozit hibrit yapılar, en uygulanabilir mühendislik çözümü olarak öne çıkmaktadır (Lovska vd., 2026; Ulbricht, 2019b).

Bu çalışmanın amacı, raylı sistem araç bojilerinde uygulanan güncel hafifletme yaklaşımlarını değerlendirmek ve geleneksel metalik çözümlerden ileri kompozit malzemelere geçiş eğilimini teknik, dinamik ve operasyonel boyutlarıyla karşılaştırmalı olarak ele almaktır. Bildiri kapsamında, metalden kompozite ve hibrit yapılara geçişin sağladığı kütleli azalış ve enerji verimliliği avantajları incelenecektir. Bununla birlikte çalışma; yeni nesil kompozit malzemelerin demiryolu endüstrisine entegrasyonunda karşılaşılan üretim zorluklarını tartışmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, kompozit malzemelerin boji tasarımlarındaki yenilikçi rolünü bütüncül bir yaklaşımla sentezleyerek, geleceğin yüksek performanslı ve hafif raylı araç mimarilerine güçlü bir teorik temel sunmayı hedeflemektedir.

## 2. YÖNTEM

Raylı sistem araçlarında bojiler, toplam araç kütleli bir bölümünü oluşturan ve sistemin dinamik performansını yöneten stratejik alt sistemlerdir. Örneğin, MODURBAN adı verilen 6 araçlı metro treninin toplam kütleli %41'ini boji yapıları oluşturmaktadır (Carruthers vd., 2009). Bu değer, araç genelindeki ekipman kütleli en yüksek değeridir (Şekil 1). Boji kütleli düşürülmesinin ivmelenme, enerji tüketimi, hat aşınması ve yaşam döngüsü maliyetleri üzerindeki bu kritik etkilerinden yola çıkılarak, bu çalışmanın metodolojik altyapısı literatürdeki güncel kompozit hafifletme yaklaşımlarının sistematik bir analizine dayandırılmıştır.





**Şekil 1.** MODURBAN metro treni ve ekipman kütle dağılımları

Bu çalışmada temel veri toplama ve araştırma yöntemi olarak kapsamlı bir literatür taraması kullanılmıştır. Veri toplama aşamasında; ilk olarak metalik yapılar üzerindeki geleneksel kütle azaltım limitleri incelenmiş, ardından odak noktası radikal malzeme ikamesini temsil eden ileri kompozit uygulamalarına kaydırılmıştır. Bu doğrultuda, kompozit malzemelerden imal edilmiş boji tasarımlarına yönelik güncel akademik makaleler, endüstriyel Ar-Ge projeleri ve teknik test raporları taranmıştır. Literatürdeki veriler; uygulanan tasarım felsefesi, tercih edilen malzemenin cinsi ve geleneksel metalik eşdeğerlerine kıyasla elde edilen kütle azaltım yüzdesi olmak üzere belirli parametreler etrafında sınıflandırılmıştır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Bojilerde Hafifletme İhtiyacına Dair Analiz

Raylı sistem araçlarında bojiler, yalnızca taşıyıcı bir iskelet olmanın ötesinde; aracın toplam darasının çok önemli bir bölümünü oluşturan ve dinamik performansı yöneten stratejik alt sistemlerdir. Bu nedenle, boji kütlelerinde sağlanacak herhangi bir yapısal azaltım, aracın toplam ağırlığının düşmesine doğrudan ve güçlü bir katkı sunar. Daha hafif bir araç gövdesi ve boji yapısı, sistemin ivmelenme ile frenleme performansını belirgin ölçüde iyileştirirken, çekiş için gereken enerji tüketimini de ciddi oranda azaltmaktadır (Bulakh, 2025; Ulbricht vd., 2022; Winnett vd., 2017). Dolayısıyla bojilerde hedeflenen kütle azaltımı, raylı sistem operasyonlarında işletme verimliliğini maksimize etmenin ve karbon emisyonlarını düşürmenin en temel yollarından biri olarak öne çıkmaktadır (Bulakh, 2025; Keating vd., 2017).

Boji kütlesinin düşürülmesi, yalnızca enerji tasarrufu bağlamında değil, ray-tekerlek etkileşiminin dinamiği açısından da hayati bir öneme sahiptir. Daha düşük boji kütlesi, altyapıya aktarılan dingil yükünü ve özellikle yaylanmayan kütleden kaynaklanan dinamik darbe kuvvetlerini doğrudan hafifletir (Bruni vd., 2022; Ulbricht vd., 2023). Tekerlek ve ray arayüzündeki bu olumlu iyileşme; raylarda oluşabilecek yuvarlanma temas yorulması hasarlarını, dalgalı aşınmaları ve tekerlek aşınmalarını yavaşlatarak hem hat hem de araç bakım ihtiyaçları üzerinde güçlü bir azaltıcı etki yaratır (Bruni vd., 2022). Bu durum, bakım-onarım duruşlarını en aza indirerek sistemin operasyonel kullanılabilirliğini artırır.

Bojilerin hafifletilmesi tek başına bir malzeme değiştirmesi değil, aracın dinamik performansı, işletme ekonomisi ve bakım kolaylığını aynı potada eriten çok yönlü bir yapısal tasarım felsefesidir (Bruni vd., 2022; Ulbricht vd., 2023). Bu yenilikçi ve bütüncül yaklaşım, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasını desteklerken yüksek taşıma kapasitesi sunan modern raylı araçların yaşam döngüsü maliyetlerini de ciddi biçimde düşürmektedir (Robinson vd., 2017; Ulbricht vd., 2023). Böylesine kapsamlı operasyonel ve ekonomik faydaları elde edebilmek amacıyla endüstri, radikal malzeme değişimlerinden önce ilk aşamada çelik ve metalik yapılar üzerinde uygulanan geleneksel hafifletme yaklaşımlarına yönelmiştir.

### **3.2. Metalden Kompozite Geçiş**

Metalik malzemelerin doğasından kaynaklanan fiziksel sınırların aşılması, demiryolu endüstrisini CFRP'ler başta olmak üzere ileri kompozit malzemelere yöneltmiştir. Kompozitler, düşük yoğunluklarına karşın sundukları yüksek özgül dayanım ve yüksek özgül rijitlik özellikleri ile hafif yapısal tasarım açısından yüksek bir potansiyel taşımaktadır (Robinson vd., 2017; Ulbricht vd., 2023). Şekil 1'de de belirtildiği gibi toplam araç kütlesinin yaklaşık %41'ini bojiler oluşturur (Carruthers vd., 2009). Boji kütlenin yaklaşık %20'sini ise aracın ivmelenme ve frenleme gibi dinamik hareketleri ile durağan haldeki hareketine bağlı yükleri desteklemek için oluşturulmuş boji şasileri oluşturur (Diltemiz & Eroğlu, 2023). Bu nedenle boji şasilerinde yaygın olarak kullanılan çelik malzemelere alternatif olarak kompozit yapıların değerlendirilmesi, hafiflik ve performans beklentileri açısından dikkat çekici bir yaklaşım haline gelmiştir. Güvenlik açısından son derece kritik olan ve operasyon süresince ağır dinamik yüklemelere maruz kalan boji şasilerinde bu malzemelerin ilgi çekmesinin nedeni yalnızca sağladıkları kütleli düşüş değildir; kompozitler aynı zamanda korozyona karşı üstün direnç ve yüksek titreşim sönümleme kapasitesi gibi ek mekanik avantajlar sunarak sistemin genel dinamik kararlılığına ve yorulma ömrüne doğrudan katkı sağlamaktadır (Robinson vd., 2017; Ulbricht vd., 2022). Bu nedenle demiryolu araç tasarımında hedef yalnızca ağırlığın azaltılması değil, tekerlek-ray etkileşiminden doğan gürültünün sınırlandırılması ve titreşim kaynaklı konforsuzluğun azaltılmasıdır. Özellikle fiber takviyeli polimer (FRP) esaslı kompozitler; hafiflik, yüksek özgül mukavemet, korozyon dayanımı, düşük çatlak ilerleme

eğilimi ve darbe sönümleme kabiliyeti nedeniyle boji çerçeveleri için uzun süredir dikkate alınan malzeme grupları arasında bulunmaktadır (Robinson vd., 2017).

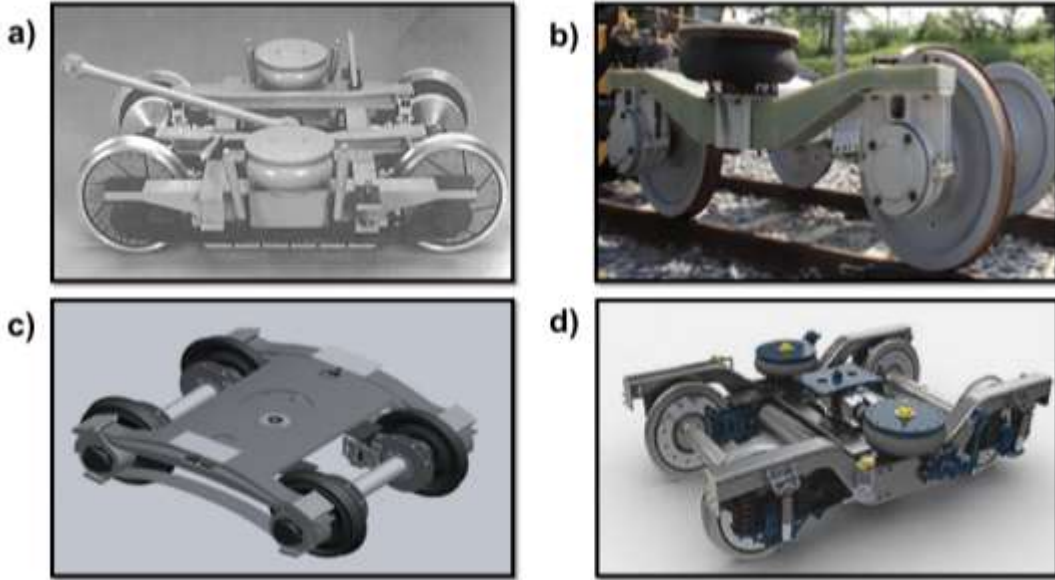
Kompozit malzemelerin boji yapılarında kullanımı, çelik veya alüminyumun doğrudan yerine geçen basit bir malzeme revizyonu olarak değerlendirilemez. Kompozitlerin anizotropik doğası; yapısal yük yollarına göre şekillendirilen yeni bir tasarım felsefesini, farklı üretim teknolojilerini ve katmana özel hasar kriterlerinin kullanıldığı karmaşık performans değerlendirmelerini zorunlu kılan yepyeni bir mühendislik yaklaşımı gerektirir (Ulbricht vd., 2023). Nitekim 1980’li yıllardan itibaren kompozit bojilere ilişkin çalışmalar yürütülmüş ve metalik sistemlere kıyasla daha verimli ve daha sürdürülebilir alternatifler geliştirilmeye çalışılmıştır (Geuenich, 1985; Geuenich vd., 1983). Bu bağlamda, literatürdeki ve endüstrideki uygulamalar temel olarak iki farklı ekseninde gelişim göstermektedir: taşıyıcı iskeletin bütünüyle kompozitten üretildiği "tam kompozit boji" tasarımları ile ana yük taşıyıcıların kompozitten, gerilme yığılmasının yüksek olduğu karmaşık bağlantı arayüzlerinin ise metalden üretildiği "hibrit yapısal çözümler" (Cascino vd., 2024; Ulbricht vd., 2023). Bu gelişim çizgisinin erken örneklerinden biri, AEG Westinghouse ile Messerschmitt-Bolkow-Blohm (MBB) iş birliği kapsamında geliştirilen ve GFRP esaslı ilk yolcu treni bojilerinden biri olarak literatüre geçen tasarım olup, söz konusu çalışmada yaklaşık %25’lik bir hafifleme rapor edilmiştir (Geuenich vd., 1983; Leo vd., 1986). Benzer biçimde, daha sonraki araştırmalarda GFRP kompozit boji yapılarının çelik muadillerine göre yaklaşık %31 düzeyinde ağırlık avantajı sağlayabildiği ve dinamik davranış bakımından umut verici sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Kim vd., 2016). Ayrıca bazı çalışmalarda GFRP esaslı boji tasarımlarında yaklaşık 1 tonluk kütle azaltımı elde edildiği ve bu yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle statik yükleme koşullarında doğrulandığı bildirilmektedir (Hou & Jeronimidis, 2012). Japonya’da geliştirilen efWING konsepti ise CFRP yaprak yay entegrasyonu sayesinde yaklaşık %40’lık hafifleme sağlamış, aynı zamanda titreşim kaynaklı salınımların sönümlenmesinde kompozit elemanların işlevsel katkısını ortaya koymuştur (Nishimura vd., 2016). Daha yakın tarihli araştırmalarda ise CFRP boji çerçeveleri ile metalik benzerlerine kıyasla %50’ye ulaşan ağırlık azaltımlarının mümkün olabildiği gösterilmiştir (Ulbricht vd., 2023). Tablo 1’de raylı sistem araç bojilerinde kompozit malzeme kullanımına dair literatür verileri ve Şekil 3’te bazı kompozit malzemelerden imal edilmiş boji modelleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Raylı sistem araç bojilerinde kompozit malzeme kullanımına dair literatür verileri

| Üretici                                                | Ülke         | Boji Adı        | Malzeme | Kütle azaltma oranı            | Referans                              |
|--------------------------------------------------------|--------------|-----------------|---------|--------------------------------|---------------------------------------|
| AEG Westinghouse- MBB                                  | Almanya      | -               | GFRP    | Boji kütlelerinde %25          | (Geuenich, 1985; Geuenich vd., 1983)  |
| Korean Railroad Research Institute                     | Güney Kore   | -               | GFRP    | Boji şasisi kütlelerinde %31   | (Kim vd., 2010, 2013)                 |
| Alstom                                                 | Fransa       | TER Bogie Frame | GFRP    | Boji şasisi kütlelerinde %30   | (Maurin vd., 2002)                    |
| Eureka Project- Department of Trade and Industry (DTI) | AB Ülkeleri  | Eurobogies      | GFRP    | Boji şasisi kütlelerinde 1 ton | (Hou & Jeronimidis, 2012)             |
| University of Huddersfield                             | İngiltere    | CaFiBo          | CFRP    | Boji kütlelerinde %36          | (Crosbee vd., 2020)                   |
| Kawasaki Heavy Industries                              | Japonya      | efWING          | CFRP    | Boji kütlelerinde %40          | (Nishimura vd., 2016)                 |
| CRRC – CG Rail                                         | Çin- Almanya | -               | CFRP    | Boji şasisi kütlelerinde %50   | (Ulbricht, 2019a; Ulbricht vd., 2023) |



**Şekil 2.** Geleneksel boji ve süspansiyon yapısı (sol) - efWING boji ve süspansiyon yapısı (sağ) (Nishimura vd., 2016)



**Şekil 3.** Kompozit malzeme kullanılarak imal edilen boji örnekleri, **a)** (Geuenich, 1985; Geuenich vd., 1983), **b)** (Kim vd., 2016), **c)** (Hou & Jeronimidis, 2012), **d)** (Ulbricht, 2019b; Ulbricht vd., 2023)

Sonuç olarak, kompozit malzemeler, demiryolu araç bojilerinin hafifletilmesinde geleneksel metalik sınırları aşan son derece güçlü bir potansiyel sunmaktadır. Buna rağmen, literatürde çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma bulunmasına karşın kompozit bojilerin ticari raylı araçlarda yaygın biçimde kullanılmadığı görülmektedir. Bu yenilikçi teknolojiye geçiş süreci; üretim ve hammadde maliyetleri, farklı malzemelerin birleştirilmesi, katı demiryolu sertifikasyon standartları ve hasar toleransı gibi bir dizi teknik ve uygulamaya dönük soruyu da beraberinde getirmektedir. Bu sınırlı yaygınlığın arkasında, taşımacılık sektöründeki ekonomik çekinceler kadar, kompozit boji tasarımlarına yönelik standardizasyon ve sertifikasyon altyapısının henüz yeterince olgunlaşmamış olması da etkili olmaktadır (Saeedi vd., 2023). Bu durum, metalden kompozite geçişin sağladığı avantajlar ile karşılaşılabilecek temel zorlukların çok boyutlu bir perspektifle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

### 3.3. Avantajlar ve Temel Zorluklar

Demiryolu bojilerinde kompozit malzemelerin kullanımı, sunduğu yüksek kütle azaltma potansiyeliyle doğrudan enerji verimliliğine katkı sağlayan stratejik kazanımlar sunmaktadır (Ulbricht vd., 2022). Metalik yapılara kıyasla sahip oldukları üstün korozyon direnci, aracın uzun servis ömrü boyunca ağır bakım gereksinimlerini belirgin ölçüde sınırlandırır (Mahboubizadeh vd., 2023b; Mistry, Johnson, McRobie, vd., 2021; Robinson vd., 2017). Bunun yanı sıra, kompozitlerin yüksek içsel sönümleme kapasitesi, ray-tekerlek etkileşiminden doğan yüksek frekanslı titreşimleri etkili biçimde sönümleyerek sistemin genel dinamik davranışına ve yorulma ömrüne olumlu yönde etki etmektedir (Keating vd., 2017; Mahboubizadeh vd., 2023b; Robinson vd., 2017).

Ancak bu teknolojik sıçrama, uygulamada çeşitli mühendislik ve operasyonel zorluklarla karşılaşmaktadır. Yüksek ham madde ve üretim maliyetleri, endüstriyel ölçekte yaygınlaşmanın önündeki en belirgin engellerdendir (Saeedi vd., 2023; Ulbricht vd., 2023). Buna ek olarak, demiryolu sektörünün katı EN 45545-2 yangın, duman ve toksisite standartlarına uyum zorunluluğu, malzeme seçimini ve polimer matris formülasyonlarını kısıtlamaktadır (EN 45545-2+A1 - Railway applications - Fire protection on railway vehicles - Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components, 2013; Ulbricht vd., 2023). İşletme koşullarında, özellikle uçuşan balast taşlarının çarpması gibi etkenlerle oluşabilecek darbe kaynaklı veya iç yapıda yayılan delaminasyon hasarlarının tespiti, ileri tahribatsız muayene yöntemlerini zorunlu kılmaktadır (Johnson vd., 2022; Tian, 2023). Bakım-onarım süreçlerinin geleneksel metal işçiliğine göre daha karmaşık olması, seri üretimde kalite tekrarlanabilirliğinin sağlanması ve kompozit yapılara yönelik katı demiryolu sertifikasyon/standart uyum süreçleri, entegrasyonu zorlaştıran diğer temel unsurlardır (Ulbricht vd., 2023).

Özellikle boji gibi operasyonel güvenlik açısından son derece kritik bir taşıyıcı yapıda, yalnızca hafifliğin elde edilmesi yeterli bir tasarım kriteri değildir; sistemin genel güvenilirliği, hasar toleransı, uzun servis ömrü ve



sahada denetlenebilirliği de en az kütle azaltımı kadar belirleyicidir (Johnson vd., 2022; Ulbricht, 2019b). Dolayısıyla kompozitler yüksek bir potansiyel sunsa da, bu yenilikçi teknolojinin sahaya aktarılabilmesi için mühendislik fizibilitesi, üretim maliyetleri ve mevcut mevzuat boyutlarının birlikte dengelendiği bütüncül bir değerlendirme şarttır. Bu çok boyutlu zorluklar ve katı endüstriyel gereksinimler göz önüne alındığında, kısa vadede tam kompozit bir boji dönüşümünden ziyade, kritik arayüzlerde metallerin korunduğu hibrit veya aşamalı geçiş yaklaşımlarının teknolojik ve ekonomik açıdan çok daha gerçekçi bir çözüm sunduğu görülmektedir (Lambiase vd., 2021; Lovska vd., 2026).

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Raylı sistem araç bojilerinde yapısal hafifletme, modern demiryolu mühendisliğinin en stratejik ve öncelikli konularından biri konumundadır. Geleneksel metal esaslı çözümler, kanıtlanmış güvenilirlikleri ve oturmuş üretim pratikleriyle günümüzde hâlen güçlü ve uygulanabilir bir temel sunmaya devam etmektedir. Ancak, endüstrinin taşıma kapasitesini artırma ve enerji tüketimini minimize etmeye yönelik daha ileri düzey hafifletme hedeflerine ulaşma noktasında, ileri kompozit malzemeler geleneksel sınırları aşan dikkat çekici bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Literatürde CFRP tabanlı prototip boji yapılarının korozyon direnci ve gelişmiş sönümleme potansiyelinin yanı sıra geleneksel çelik yapıdaki bojilere göre %40 -50 hafiflik sağladığı belirtilmiştir (Carruthers vd., 2009; Mistry, Johnson, & Galappaththi, 2021; Nishimura vd., 2016; Ulbricht, 2019a).

Kompozit malzemelerin sunduğu bu yüksek potansiyele karşın; uygulamaya geçiş sürecinde yüksek üretim maliyetleri, karmaşık bağlantı arayüzleri ve katı demiryolu sertifikasyon standartlarına uyum gibi bir dizi teknik, ekonomik ve mevzuata ilişkin temel zorluk bulunmaktadır. Bu bağlamda, kısa ve orta vadede tümüyle kompozitten imal edilmiş radikal bir yapısal dönüşümden ziyade, farklı malzemelerin avantajlarını bir araya getiren hibrit çözümler veya aşamalı geçiş stratejilerinin benimsenmesi çok daha gerçekçi bir mühendislik yaklaşımıdır. Sonuç olarak, boji yapılarında metalden kompozit malzemelere geçiş sektörel bir gereklilik ve ivme kazanan bir eğilim olmakla birlikte; bu yenilikçi teknolojinin endüstriyel olarak olgunlaşabilmesi, konunun gelecekte çok daha kapsamlı araştırma, geliştirme ve saha uygulama çalışmalarıyla desteklenmesine bağlıdır.



## KAYNAKLAR

- Arı, M. E., & Esen, İ. (2022). Design of a Metro Train and Structural Analysis of the Metro Vehicle Body by Finite Element Method. *Railway Engineering*, (15), 30-45. <https://doi.org/10.47072/DEMIRYOLU.1018663>
- Bruni, S., Mistry, P. J., Johnson, M. S., Bernasconi, A., Carboni, M., Formaggioni, D., Carra, G., Macchiavello, S., Ferrante, E., Kaiser, I., Viñolas, J., & Marazzi, I. (2022). A vision for a lightweight railway wheelset of the future. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 236(10), 1179-1197. <https://doi.org/10.1177/09544097221080619>;JOURNAL:JOURNAL:PIFA;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Bulakh, M. (2025). Evaluation and Reduction of Energy Consumption of Railway Train Movement on a Straight Track Section with Reduced Freight Wagon Mass. *Energies* 2025, Vol. 18, 18(2). <https://doi.org/10.3390/EN18020280>
- Carruthers, J. J., Calomfirescu, M., Ghys, P., & Prockat, J. (2009). The application of a systematic approach to material selection for the lightweighting of metro vehicles. <http://dx.doi.org/10.1243/09544097JRRT279>, 223(5), 427-437. <https://doi.org/10.1243/09544097JRRT279>
- Cascino, A., Meli, E., & Rindi, A. (2024). A New Strategy for Railway Bogie Frame Designing Combining Structural-Topological Optimization and Sensitivity Analysis. *Vehicles* 2024, Vol. 6, Pages 651-665, 6(2), 651-665. <https://doi.org/10.3390/VEHICLES6020030>
- Cascino, A., Meli, E., & Rindi, A. (2026). Multi-Stage Topology Optimization for Structural Redesign of Railway Motor Bogie Frames. *Applied Sciences* 2026, Vol. 16, 16(2), 973. <https://doi.org/10.3390/APP16020973>
- Crosbee, D., Rothwell, E., & Iwnicki, S. (2020, Eylül 9). *Developing a carbon fibre railway bogie for passenger trains*. <https://www.globalrailwayreview.com/article/102360/carbon-fibre-bogie-passenger-trains-irr/>
- Diltemiz, S. F., & Eroğlu, E. (2023). Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Termografik Muayene ile Kontrolü. *Demiryolu Mühendisliği*, (17), 186-198. <https://doi.org/10.47072/DEMIRYOLU.1202657>
- EN 45545-2+A1 - *Railway applications - Fire protection on railway vehicles - Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components*. (2013).
- Geuenich, W. (1985). Fibre Composite Bogie Has Creep-Controlled Wheelsets. *Railway Gazette International*, 141(4).
- Geuenich, W., Gunther, C., & Leo, R. (1983). The Dynamics of Fiber Composite Bogies with Creep-controlled wheelsets. *Vehicle System Dynamics*, 12(1-3), 134-140. <https://doi.org/10.1080/00423118308968739>

- Hou, J., & Jeronimidis, G. (2012). A novel bogie design made of glass fibre reinforced plastic. *Materials & Design*, 37, 1-7. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2011.12.026>
- Jeon, K. W., Shin, K. B., & Kim, J. S. (2013). A study on evaluation of fatigue strength of a GFRP composite bogie frame for urban subway vehicles. *Advanced Composite Materials*, 22(4), 213-225. <https://doi.org/10.1080/09243046.2013.795215>
- Johnson, M. S., Evans, R., Mistry, P. J., Li, S., Bruni, S., Bernasconi, A., & Cervello, S. (2022). Structural analysis for the design of a lightweight composite railway axle. *Composite Structures*, 290, 115544. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2022.115544>
- Keating, E. M., Raath, N., Winnett, J., Hughes, D., Hope, G., Ravaioli, M., & Cozien-Cazuc, S. (2017). Opportunities for the Use of Composite Materials in Rail Applications - A Case Study. *International Conference on Composite Materials* 21, 170, 231-242. [https://www.researchgate.net/publication/319680156\\_Opportunities\\_for\\_the\\_Use\\_of\\_Composite\\_Materials\\_in\\_Rail\\_Applications\\_-\\_A\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/319680156_Opportunities_for_the_Use_of_Composite_Materials_in_Rail_Applications_-_A_Case_Study)
- Khadir, D. (2017). *Strength and Fatigue Analysis of Composite Bogie Frame* [Addis Ababa University]. <http://etd.aau.edu.et/handle/123456789/18382>
- Kim, J. S., Lee, W. G., & Kim, I. K. (2013). Manufacturing and testing of a GFRP composite bogie frame with straight side beam members. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(9), 2761-2767. <https://doi.org/10.1007/s12206-013-0722-6>
- Kim, J. S., Yoon, H. J., & Lee, W. G. (2016). A study on comparisons of composite and conventional steel bogie frames. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2016 30:12, 30(12), 5439-5446. <https://doi.org/10.1007/S12206-016-1112-7>
- Kim, J. S., Yoon, H. J., & Shin, K. B. (2010). Design of a composite side beam for the railway bogie frame. *Materials Science Forum*, 654-656, 2676-2679. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.654-656.2676>
- Lambiase, F., Scipioni, S. I., Lee, C. J., Ko, D. C., & Liu, F. (2021). A State-of-the-Art Review on Advanced Joining Processes for Metal-Composite and Metal-Polymer Hybrid Structures. *Materials*, 14(8), 1890. <https://doi.org/10.3390/MA14081890>
- Leo, R., Guenther, C., & Lang, H. P. (1986). New Technologies for Bogies: Prototype of the First Fiber Composite Bogie.[Neue Technologien Fuer Drehgestelle: Prototyp Des Ersten Faserverbundwerkstoff (Fvw)-Drehgestells.]. *Zeitschrift fuer Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik - Glasers Annalen*, 110(6), 193-202.
- Liu, S., Tian, Y., (Bill) Daniel, W. J. T., & Meehan, P. A. (2016). Modelling of track wear damage due to changes in friction conditions: A comparison between AC and DC electric drive locomotives. *Wear*, 366-367, 338-345. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2016.05.023>

- Lovska, A., Blatnický, M., Goglio, L., Cascino, A., Meli, E., & Rindi, A. (2026). High-Fidelity Finite Element Modelling (FEM) and Dynamic Analysis of a Hybrid Aluminium–Honeycomb Railway Vehicle Carbody. *Applied Sciences* 2026, Vol. 16, Page 549, 16(1), 549. <https://doi.org/10.3390/APP16010549>
- Mahboubizadeh, S., Ashkani, O., RezaTabrizi, T., & Hosseini Shekarabi, M. (2023a). Importance and applications of fiber reinforced polymer composite in the transportation industry: A general review. *Materials Chemistry and Mechanics*, 1(3), 16-26. <https://doi.org/10.22034/MCM.2023.3.3>
- Mahboubizadeh, S., Ashkani, O., RezaTabrizi, T., & Hosseini Shekarabi, M. (2023b). Importance and applications of fiber reinforced polymer composite in the transportation industry: A general review. *Materials Chemistry and Mechanics*, 1(3), 16-26. <https://doi.org/10.22034/MCM.2023.3.3>
- Maurin, L., Boussoir, J., Rougeault, S., Bugaud, M., Ferdinand, P., Landrot, A. G., Grunevald, Y. H., & Chauvin, T. (2002). FBG-based smart composite bogies for railway applications. *2002 15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest, OFS 2002*, 91-94. <https://doi.org/10.1109/OFS.2002.1000509>
- Mistry, P. J., Johnson, M. S., & Galappaththi, U. I. K. (2021). Selection and ranking of rail vehicle components for optimal lightweighting using composite materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 235(3), 390-402. <https://doi.org/10.1177/0954409720925685>
- Mistry, P. J., Johnson, M. S., McRobie, C. A., & Jones, I. A. (2021). Design of a Lightweight Multifunctional Composite Railway Axle Utilising Coaxial Skins. *Journal of Composites Science* 2021, Vol. 5, 5(3). <https://doi.org/10.3390/JCS5030077>
- Nishimura, T., Taga, Y., Ono, T., Konoike, F., Tsumura, Y., Inamura, F., & Nagata, J. (2016). efWING - New-Generation Railway Bogie. *Kawasaki Technical Review*, 27-36.
- Queguineur, A., Daareyni, A., Mokhtarian, H., Isakov, M., Rook, R., Ya, W., Goulas, C., Hascoët, J. Y., & Ituarte, I. F. (2025). Digital design and manufacturing of a railway bogie demonstrator via multi-material wire arc directed energy deposition. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2025 136:11, 136(11), 5281-5303. <https://doi.org/10.1007/S00170-025-15132-7>
- Robinson, M., Matsika, E., & Peng, Q. (2017). *Application Of Composites in Rail Vehicles*.
- Saeedi, A., Motavalli, M., & Shahverdi, M. (2023). Recent advancements in the applications of fiber-reinforced polymer structures in railway industry—A review. *Polymer Composites*. <https://doi.org/10.1002/PC.27817>
- Seo, J. W., Hur, H. M., Kwon, S. J., & Moon, K. H. (2023). Effect of multiple weld repairs on fatigue strength of bogie frame of railroad vehicle. *Advances in Mechanical Engineering*, 15(11). <https://doi.org/10.1177/16878132231213596;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Tian, A. (2023). Review And Future of Non-Destructive Testing Methods for Composites in Aircraft. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 71, 259-267. <https://doi.org/10.54097/HSET.V71I.12708>

- Ulbricht, A. (2019a). Development and technological realisation of an innovative lightweight rail vehicle in composite design. *ZevRail*, 143, 220-227.
- Ulbricht, A. (2019b). Rail Vehicle in CFRP-intensive Design. *Lightweight Design worldwide 2019* 12:2, 12(2), 36-41. <https://doi.org/10.1007/S41777-019-0009-4>
- Ulbricht, A., Zeidler, F., Bilkenroth, F., & Soltysiak, S. (2023). Structural lightweight components for energy-efficient rail vehicles using high performance composite materials. *Transportation Research Procedia*, 72, 1685-1692. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2023.11.641>
- Ulbricht, A., Zeidler, F., Renner, S., Bilkenroth, F., & Günther, S. (2022). Novel composite design approaches for structural lightweight components of railway vehicles-development, technological realization and test. İçinde J. Pombo (Ed.), *Fifth International Conference on Railway Technology* (C. 1). Civil-Comp Press. <https://doi.org/10.4203/coc.1.32.5>
- Winnett, J., Hoffrichter, A., Iraklis, A., McGordon, A., Hughes, D. J., Ridler, T., & Mallinson, N. (2017). Development of a very light rail vehicle. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 170(4), 231-242. <https://doi.org/10.1680/JTRAN.16.00038>
- Zhang, H., Shuai, W., Liu, L., Zhang, P., Zhang, K., Lin, H., Zhang, Y., & Li, W. (2025). Prediction of Rail Wear Under Different Railway Track Geometries Using Artificial Neural Networks. *Infrastructures* 2025, Vol. 10, 10(7). <https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES10070154>

## GÖLLER YÖRESİ SARIÇAM (*Pinus sylvestris* L.) ORİJİN DENEMESİNİN YAPRAK VE PİGMENT ÖZELLİKLERİ

Dr. Öğretim Üyesi, Fatma Merve NACAKCI<sup>1\*</sup> / Prof. Dr., Süleyman GÜLCÜ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Mühendisliği, mervenacakci@isparta.edu.tr, 0000-0002-6908-2046

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Mühendisliği, suleymangulcu@isparta.edu.tr, 0000-0002-1995-8580

### Özet

Bu çalışma, Göller Yöresi'nde kurulan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) orijin denemesinin 20 yıllık sonuçlarına dayalı olarak, farklı orijinlerin yaprak morfolojik ve pigment özelliklerinin karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Araştırma materyalini, Isparta (Aydoğmuş) ve Burdur (Kemer) deneme alanlarında yetiştirilen ve daha önce performans bakımından öne çıktığı belirlenen 10 orijin oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında iğne yaprak eni, boyu ve kalınlığı ile klorofil a, klorofil b, toplam klorofil, klorofil floresansı ve karotenoid içerikleri belirlenmiştir. Bulgular, deneme alanları arasında morfolojik ve fizyolojik özellikler bakımından önemli farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Genel olarak Aydoğmuş deneme alanında yaprak morfolojik özelliklerinin daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenirken, pigment içeriklerinde orijinler arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Özellikle Çatacık, Sarıkamış ve Erzurum orijinleri pigment özellikleri bakımından öne çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Aydoğmuş alanında Mesudiye, Çatacık ve Şenkaya; Kemer alanında ise Çatacık, Sarıkamış ve Gölköy orijinleri en iyi performans gösteren orijinler olarak belirlenmiştir. Bu orijinlerin, benzer yetiştirme ortamlarında gerçekleştirilecek ağaçlandırma çalışmalarında potansiyel tohum kaynağı olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Sarıçam, orijin denemesi, klorofil, karotenoid, yaprak özellikleri

## LEAF AND PIGMENT PROPERTIES OF SCOTCH PINE (*Pinus sylvestris* L.) PROVENANCE TRIAL IN THE LAKES REGION

### Abstract

This study aims to compare the leaf morphological and pigment characteristics of different provenances based on the 20-year results of a Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance trial established in the Lakes Region. The research material consists of 10 provenances grown in the experimental sites located in Isparta (Aydoğmuş) and Burdur (Kemer), which were previously identified as superior in terms of performance. Within the scope of the study, needle leaf width, length, and thickness, as well as chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, chlorophyll fluorescence, and carotenoid contents were determined. The findings revealed significant differences in morphological and physiological traits between the trial sites. In general, higher values of leaf morphological traits were observed in the Aydoğmuş site, while variations in pigment contents were detected among the provenances. In particular, Çatacık, Sarıkamış, and Erzurum provenances stood out in terms of pigment characteristics. According to the results, Mesudiye, Çatacık, and Şenkaya provenances in the Aydoğmuş site, and Çatacık, Sarıkamış, and Gölköy provenances in the Kemer site were identified as the top-performing provenances. These provenances are considered to have potential as seed sources for afforestation practices in similar ecological conditions.

**Keywords:** Scotch pine, provenance trial, chlorophyll, carotenoid, leaf traits



## 1. GİRİŞ

Türkiye, ekolojik koşulları itibarıyla yüksek bitki çeşitliliğine sahip ülkeler arasında yer almaktadır. Ülke yüzölçümünün yaklaşık %28,6'sını (22,3 milyon ha) ormanlık alanlar oluşturmaktadır (Anonim, 2015). Türkiye ormanlarında yayılış gösteren başlıca türler arasında Meşe (*Quercus L.*), Kızılçam (*Pinus brutia Ten.*), Karaçam (*Pinus nigra Arnold*), Kayın (*Fagus L.*) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) öne çıkmakta olup, Sarıçam yaklaşık 1,5 milyon hektarlık (%6,80) bir alanda yayılış göstermektedir (Anonim, 2015).

Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), geniş coğrafi yayılışı, birçok ekosistemde önemli bir habitat oluşturması ve Avrupa ormancılığındaki yüksek ekonomik değeri nedeniyle hem ekolojik hem de ekonomik açıdan önemli bir ağaç türü olup, bu özellikleri doğrultusunda bilimsel araştırmalarda da yoğun ilgi görmüştür (Matías ve Jump, 2012). Orijin denemeleri, bitki türlerinin farklı çevresel koşullara genetik uyumu ve fenotipik plastisitesini değerlendirmeye olanak sağlayan, aynı zamanda uygun tohum kaynaklarının belirlenmesi, transfer zonlarının oluşturulması ve iklim değişiminin türler üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasında kullanılan önemli araştırma yaklaşımlarıdır (Matyas, 1996; Işık vd., 2002). Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği, türlerin büyüme ve yayılışlarında değişimlere yol açmakta; bu nedenle bitkilerin çevresel streslere verdikleri tepkileri inceleyen ekofizyolojik çalışmaların önemi giderek artmaktadır (Semerci vd., 2019). Bu tür çalışmalar, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde ormancılık uygulamaları açısından önem taşımakta; Akdeniz ikliminde yaz kuraklığına karşı türlerin fizyolojik tepkilerinin ve kuraklığa dayanıklılık düzeylerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Çalıkoglu, 2002; Dirik, 2000; Mundree vd., 2002).

Bu çalışma; Sarıçam'ın (*Pinus sylvestris L.*) ekolojik ve ekonomik önemi, yüksek plastisite özelliği, iklim değişikliğine bağlı yayılış değişimleri ve artan kuraklık stresinin türler üzerindeki etkileri dikkate alınarak, özellikle bazı yaprak morfolojik özellikleri ve pigment özelliklerini ortaya koyma amacıyla gerçekleştirilmiştir. Gezer vd. (2002) tarafından Göller Yöresi'nde kurulan Sarıçam orijin denemesinde, farklı kökenlerden elde edilen orijinler uzun yıllar morfolojik ve genetik özellikler bakımından değerlendirilmiş olup, bu çalışmada iklim değişikliği etkileri dikkate alınarak en iyi performans gösteren 10 orijinin bazı morfolojik ve pigment özellikleri birlikte incelenerek uygun orijinlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Araştırma Materyali

Araştırma materyalini, Göller Yöresi'nde yer alan Isparta (Aydoğmuş) ve Burdur (Kemer) ilçe sınırlarında 2000 yılında tesis edilen Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) orijin denemeleri oluşturmaktadır. Denemeler, Gezer ve arkadaşları tarafından 27'si Türkiye, 3'ü ise yabancı kökenli olmak üzere toplam 30 farklı orijine ait fidanlarla kurulmuştur. Deneme alanları, tesadüf parselleri deneme desenine uygun olarak üç yinelemeli şekilde düzenlenmiştir. Söz konusu deneme alanlarında yetiştirilen bireyler, kuruluşundan günümüze kadar farklı

dönemlerde birçok kez değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular çeşitli bilimsel çalışmalarda rapor edilmiştir (Gezer vd., 2002; Gülcü ve Bilir, 2015; Gülcü ve Bilir, 2017). Bu çalışmalar kapsamında orijinler; başta morfolojik ve genetik özellikler olmak üzere çeşitli kriterler açısından karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre yöre ve benzer yetiştirme ortamları için uygun tohum kaynaklarına ilişkin öneriler geliştirilmiştir. Yapılan önceki değerlendirmelerde 3, 5, 12, 18, 21, 22, 23, 27, 29 ve 34 numaralı orijinlerin öne çıktığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda, söz konusu çalışmada, daha önce başarılı olduğu tespit edilen ve Tablo 1’de verilen bu 10 orijin araştırma materyali olarak seçilmiştir.

**Tablo 1.** Orijinlere Ait Tohum Kaynağı ve Lokasyon Bilgileri

| Provenance number | Provenance name       | Latitude (N) | Altitude (m) |
|-------------------|-----------------------|--------------|--------------|
| 3                 | Senkaya- Aydere       | 40°38’       | 2050         |
| 5                 | V.Köprü-Ovacık-Kunduz | 41°10’       | 1200         |
| 12**              | Akdağmadeni-Aktaş     | 39°41’       | 910          |
| 18                | Koyulhisar-Ortakent   | 40°23’       | 1950         |
| 21                | Çatacık-Değirmendere  | 39°58’       | 1550         |
| 22                | Vezirköprü-Gölköy     | 41°10’       | 1300         |
| 23                | Mesudiye-Arpaalan     | 40°22’       | 1650         |
| 27                | Sarıkamış-Merkez      | 40°18’       | 2350         |
| 29                | Akyazı-Dokurcun       | 40°37’       | 1450         |
| 34**              | Erzurum-Merkez        | 39°54’       | 1570         |

\*\*Tohum bahçesi

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1.İğne yaprak en, boy, kalınlık ölçümleri

Arazi çalışmalarının ardından toplanan sürgün örnekleri, kilitli plastik poşetlere yerleştirilerek suya dayanıklı kalemle numaralandırılmıştır. Ölçümler, her iki alanda her orijinin üç tekerrüründen seçilen birer ağacın son yıl sürgünlerinden alınan beşer iğne yaprak üzerinde gerçekleştirilmiş ve toplamda 300 iğne yaprak  $[(10 \times 3 \times 5) \times 2]$  değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yaprak eni, boyu ve kalınlığı (mm) ölçülmüştür.

### 2.2.2. Pigment tayini

Pigment tayini Arnon (1949) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde %80’lik aseton çözeltisi hazırlanmış ve 0,1 g iğne yaprak örnekleri sıvı azotta dondurulmuştur. Örnekler, iki adet çelik bilye ile birlikte homojenizatörde 5 dakika (50000 salınım/dakika) süreyle parçalanmış, ardından üzerine %80’lik aseton çözeltisi ilave edilerek yeniden homojenize edilmiştir. İşlem sonrasında bilyeler uzaklaştırılmış ve örnekler 15000 g’de (12000 rpm) 4 °C’de 10 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası elde edilen süpernatanttan 1 mL alınarak cam tüplere aktarılmış ve üzerine 4 mL %80’lik aseton ilave edilerek seyreltilmiştir. Örnekler vortex cihazı ile homojenize edildikten sonra, her tüpten 1 mL alınarak spektrofotometrik analiz için küvetlere aktarılmıştır. Ölçümler 450, 645 ve 663 nm dalga boylarında

gerçekleştirilmiş ve her örnek için üç tekrar yapılmıştır. Analizler sonucunda klorofil a (Chl\_a), klorofil b (Chl\_b), toplam klorofil (T\_Ch) ve karotenoid (Car) miktarları belirlenmiştir.

### 2.2.3. CCM300 ile ölçümler

Bireylerde toplam klorofil miktarı ( $T\_Chl^*$ ) ve klorofil floresansı (Cfr) ölçümleri, CCM-300 klorofil analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bireyden alınan üç yaprağa ait ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak, ilgili bireyin ortalama klorofil ve floresans değerleri hesaplanmıştır. Ölçümler, her orijinin her tekerrüründe bir ağaç seçilmek suretiyle toplam 60 birey üzerinde yürütülmüştür.

### 2.2.4. İstatistiksel analiz

Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesinde varyans analizi, Tukey çoklu karşılaştırma testi ve korelasyon analizinden yararlanılmıştır. Tek yönlü varyans analizi, orijinlere ait özellik ortalamalarının farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla uygulanmış; istatistiksel olarak anlamlı bulunan ( $p \leq 0,05$  ve  $p \leq 0,01$ ) özellikler için Tukey testi ile homojen gruplar oluşturulmuştur. Ayrıca çoklu varyans analizi ile ölçülen karakterler açısından orijin, alan ve bunların etkileşimleri ile iki yıllık ölçümlerde orijin-yıl, alan-yıl ve orijin-alan-yıl etkileşimlerinin anlamlılığı değerlendirilmiştir.

## 3. BULGULAR

### 3.1. Bulgulara Ait Alt Başlık

İğne yaprakların eni, boyu ve kalınlığı birlikte değerlendirildiğinde, her üç özellik açısından da Aydoğmuş'ta elde edilen ortalama değerlerin Kemer'e göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Ortalama değerler, standart sapmaları ve homojen gruplar

| Orijin      | Lw          |             | Ll            |              | Lt          |              |
|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|-------------|--------------|
|             | A           | K           | A             | K            | A           | K            |
| Şenkaya     | 1.28±0.18a  | 1.11±0.08ab | 47.53±9.49a   | 34.8±6.49ab  | 0.58±0.04a  | 0.5±0.05a    |
| Kunduz      | 1.06±0.13cd | 1.18±0.16a  | 45.33±12.88ab | 32.53±4.24bc | 0.54±0.07ab | 0.52±0.05a   |
| Akdağmadeni | 1.15±0.09bc | 1.16±0.08a  | 43.27±4.43ab  | 38.47±1.89a  | 0.50±0.05ab | 0.48±0.06abc |
| Koyulhisar  | 1.15±0.09bc | 1.14±0.16ab | 37.07±7.32b   | 38.8±4.72a   | 0.53±0.09ab | 0.49±0.03ab  |
| Çatacık     | 1.12±0.1abc | 0.97±0.1b   | 44.27±8.53ab  | 23.33±3.64d  | 0.56±0.08a  | 0.42±0.05c   |
| Gölköy      | 1.06±0.05cd | 0.97±0.14b  | 43.13±8.89ab  | 27.6±5.17cd  | 0.54±0.08a  | 0.43±0.06bc  |
| Mesudiye    | 1.2±0.07ab  | 1.07±0.12ab | 45.93±44.45ab | 29.93±4.89bc | 0.54±0.05a  | 0.48±0.03abc |
| Sarıkamış   | 1.23±0.09ab | 1.2±0.25a   | 41.93±6.84ab  | 31.53±6.02bc | 0.53±0.04ab | 0.51±0.1a    |
| Akyazı      | 1.01±0.08d  | 0.98±0.16b  | 40.2±8.84ab   | 31.13±5.01bc | 0.47±0.07b  | 0.46±0.06abc |
| Erzurum     | 1.14±0.11bc | 1.17±0.16a  | 40.33±5.67ab  | 32.13±4.29bc | 0.51±0.06ab | 0.48±0.07abc |
| Ortalama    | 1.14        | 1.10        | 42.90         | 32.03        | 0.53        | 0.48         |

A: Aydoğmuş, K: Kemer, Lw: Yaprak eni, Ll: Yaprak boyu, Lt: Yaprak kalınlığı

Yaprak eni bakımından Aydoğmuş'ta en yüksek ortalamalar Şenkaya, Sarıkamış ve Mesudiye orijinlerinde; Kemer'de ise Sarıkamış, Kunduz ve Erzurum orijinlerinde saptanmıştır. Yaprak boyu açısından, Aydoğmuş'ta Şenkaya, Mesudiye ve Kunduz orijinleri öne çıkarken; Kemer'de Koyulhisar, Akdağmadeni ve Şenkaya

orijinleri daha yüksek ortalama değerlere ulaşmıştır. Yaprak kalınlığı bakımından ise Aydoğmuş'ta Şenkaya, Çatacık ve Mesudiye; Kemer'de ise Kunduz, Sarıkamış ve Şenkaya orijinlerinin diğerlerine göre daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Orijinler ile deneme alanlarının yaprak özellikleri yönünden karşılaştırılmasına yönelik gerçekleştirilen çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Yaprak ve pigment özelliklerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

| Orijin      | df | Lw<br>P | Ll<br>P | Lt<br>P | Chl_a<br>P | Chl_b<br>P | T_Ch<br>P | Cfr<br>P            | Car<br>P |
|-------------|----|---------|---------|---------|------------|------------|-----------|---------------------|----------|
| Orijin      | 9  | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000**    | 0.001**    | 0.000**   | 0,191 <sup>ns</sup> | 0.000**  |
| Alan        | 1  | 0.003** | 0.000** | 0.000** | 0.000**    | 0.000**    | 0.000**   | 0,000**             | 0.000**  |
| Orijin*Alan | 9  | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000**    | 0.004**    | 0.000**   | 0,074 <sup>ns</sup> | 0.002**  |

\*\* p≤0.001

Orijinler klorofil a içerikleri açısından değerlendirildiğinde, Aydoğmuş deneme alanında Sarıkamış, Erzurum ve Çatacık; Kemer'de ise Çatacık, Sarıkamış ve Gököy orijinlerinin en yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Klorofil b miktarları incelendiğinde, Aydoğmuş'ta en yüksek değerlere sırasıyla Sarıkamış, Çatacık ve Koyulhisar orijinlerinin; Kemer'de ise Akdağmadeni, Çatacık ve Akyazı orijinlerinin ulaştığı tespit edilmiştir. Toplam klorofil miktarları bakımından değerlendirildiğinde, Aydoğmuş'ta Sarıkamış, Erzurum ve Çatacık; Kemer'de ise Çatacık, Akyazı ve Gököy orijinlerinin yapraklarının daha yüksek toplam klorofil içerdiği ortaya konulmuştur. Klorofil floresansı ölçümlerine göre, en yüksek değerler Aydoğmuş'ta Mesudiye, Çatacık ve Akdağmadeni; Kemer'de ise Sarıkamış, Çatacık ve Erzurum orijinlerinde belirlenmiştir. Karotenoid içerikleri açısından ise Aydoğmuş'ta Sarıkamış, Çatacık ve Erzurum; Kemer'de Çatacık, Gököy ve Akyazı orijinleri ilk üç sırada yer almıştır. Pigment özelliklerine ilişkin gerçekleştirilen çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

**Tablo 4.** Ortalama değerler, standart sapmaları ve homojen grupları

| Orijin          | Chl_a        |              | Chl_b       |             | T_Ch            |               | Cfr         |             | Car          |               |
|-----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
|                 | A            | K            | A           | K           | A               | K             | A           | K           | A            | K             |
| Şenkaya         | 7.33±0.69d   | 10.11±2.1ab  | 1.18±0.51c  | 2.19±0.64ab | 236.44±25.06d   | 341.5±75.0ab  | 1.178±0.06a | 1.108±0.05a | 49.58±1.36b  | 83.2±20.1b    |
| Kunduz          | 9.09±1.04bcd | 8.85±0.77b   | 1.77±0.57bc | 2.17±0.22b  | 301.6±41.4bcd   | 306.03±2.29b  | 1.173±0.11a | 1.137±0.07a | 71.71±1.41a  | 81.13±7.1b    |
| Akdağm<br>adeni | 7.91±2.31cd  | 9.74±1.84ab  | 1.97±0.77ab | 3.01±1.09a  | 274.4±85.2cd    | 354.3±81.2ab  | 1.207±0.13a | 1.117±0.06a | 69.8±23.67ab | 96.29±21.7ab  |
| Koyulhi<br>sar  | 8.71±1.21bcd | 10.02±1.47ab | 2.14±0.42ab | 2.83±0.62ab | 301.1±44.9bcd   | 356.7±55.2ab  | 1.197±0.03a | 1.092±0.06a | 73.99±1.86a  | 98.51±19.46ab |
| Çatacık         | 9.48±0.81abc | 11.38±0.89a  | 2.45±0.22ab | 2.95±0.22ab | 331.22±28.45abc | 397.98±2.187a | 1.217±0.07a | 1.157±0.04a | 84.46±6.12a  | 108.46±3.73a  |
| Gököy           | 8.75±0.52bcd | 11.24±0.39a  | 2.13±0.07ab | 2.8±0.3ab   | 302.3±15.44bcd  | 389.66±1.703a | 1.127±0.09a | 1.15±0.03a  | 74.63±3.87a  | 100.9±7.89ab  |
| Mesudiy<br>e    | 8.96±1.42bcd | 9.81±1.27ab  | 2.10±0.42ab | 2.34±0.36ab | 307.4±50.1bcd   | 337.5±44.0ab  | 1.22±0.05a  | 1.115±0.02a | 74.8±15.1a   | 86.87±12.23b  |

|           |             |             |             |             |                 |              |             |             |             |               |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Sarıkamış | 11.6±2.53a  | 11.29±1.44a | 2.55±0.77a  | 2.31±0.53ab | 392.9±90.7a     | 377.7±52.8ab | 1.203±0.1a  | 1.177±0.06a | 88.48±2.02a | 90.96±14.14ab |
| Akyazı    | 8.42±0.34cd | 11.22±1.06a | 2.02±0.25ab | 2.85±0.51ab | 290.12±12.17bcd | 390.6±42.8a  | 1.173±0.09a | 1.148±0.08a | 71.5±5.42a  | 100.22±1.01ab |
| Erzurum   | 10.7±1.27ab | 9.98±1.7ab  | 2.13±0.2ab  | 2.24±0.32ab | 356.3±39.5ab    | 339.1±55.9ab | 1.195±0.09a | 1.157±0.06a | 81.88±3.74a | 84.56±12.09b  |
| Ortalama  | 9.10        | 10.36       | 2.05        | 2.57        | 309.37          | 359.11       | 1.189       | 1.136       | 74.08       | 93.11         |

Chl a: Klorofil a, Chl b: Klorofil b, TChl: Toplam klorofil, Cfr: Klorofil floresanı, Car: Karotenoid

Korelasyon analizi sonuçlarına göre, morfolojik özellikler arasında genel olarak pozitif ve anlamlı ilişkiler belirlenmiştir (Tablo 5). Yaprak eni ile yaprak boyu ( $r=0.520$ ,  $p\leq 0.05$ ) ve yaprak kalınlığı ( $r=0.711$ ,  $p\leq 0.01$ ) arasında; ayrıca yaprak boyu ile yaprak kalınlığı arasında ( $r=0.818$ ,  $p\leq 0.01$ ) güçlü pozitif korelasyonlar saptanmıştır. Bu durum, yaprak morfolojik özelliklerinin birlikte değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Morfolojik özellikler ile pigment içerikleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde ise genel olarak negatif korelasyonlar dikkat çekmektedir. Özellikle yaprak boyu ve kalınlığı ile klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid içerikleri arasında anlamlı ve negatif ilişkiler belirlenmiştir ( $p\leq 0.01$ ). Bu bulgular, yaprak boyutlarındaki artışa bağlı olarak pigment yoğunluğunda azalma eğilimi olabileceğini göstermektedir. Pigment bileşenleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, klorofil a ile klorofil b ( $r=0.734$ ,  $p\leq 0.01$ ) ve toplam klorofil ( $r=0.982$ ,  $p\leq 0.01$ ) arasında; klorofil b ile toplam klorofil ( $r=0.849$ ,  $p\leq 0.01$ ) ve karotenoidler ( $r=0.956$ ,  $p\leq 0.01$ ) arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyonlar saptanmıştır. Ayrıca karotenoidler ile toplam klorofil arasında da güçlü ve pozitif bir ilişki ( $r=0.927$ ,  $p\leq 0.01$ ) bulunmuştur. Bu durum, fotosentetik pigmentlerin birlikte değişim gösterdiğini ve fizyolojik olarak birbirleriyle bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Klorofil floresansı (Cfr) ile yaprak boyu arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki ( $r=0.444$ ,  $p\leq 0.05$ ) belirlenirken, diğer değişkenlerle olan ilişkilerinin zayıf ve genellikle anlamsız olduğu görülmüştür. Toplam klorofil (T\_ChI<sup>^</sup>) değişkeninin ise diğer parametrelerle düşük düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı olmayan ilişkiler gösterdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 5.** Ölçülen karakterler arasında korelasyon

|                    | Lw     | Li      | Ld      | Chl_a  | Chl_b  | T_ChI  | T_ChI <sup>^</sup> | Cfr     | Car |
|--------------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------------------|---------|-----|
| Lw                 | 1      |         |         |        |        |        |                    |         |     |
| Li                 | ,520*  | 1       |         |        |        |        |                    |         |     |
| Ld                 | ,711** | ,818**  | 1       |        |        |        |                    |         |     |
| Chl_a              | -,322  | -,632** | -,566** | 1      |        |        |                    |         |     |
| Chl_b              | -,450* | -,600** | -,684** | ,734** | 1      |        |                    |         |     |
| T_ChI              | -,376  | -,659** | -,630** | ,982** | ,849** | 1      |                    |         |     |
| T_ChI <sup>^</sup> | ,290   | ,438    | ,386    | -,159  | -,375  | -,228  | 1                  |         |     |
| Cfr                | ,295   | ,444*   | ,396    | -,158  | -,373  | -,227  | -,398              | 1       |     |
| Car                | -,493* | -,738** | -,747** | ,850** | ,956** | ,927** | -,396              | 0,999** | 1   |

\*Korelasyon  $p\leq 0.05$  düzeyinde anlamlı \*\*Korelasyon  $p\leq 0.01$  düzeyinde anlamlı

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmada incelenen karakterler bakımından elde edilen bulgular doğrultusunda deneme alanları karşılaştırıldığında, ortalama yaprak eninin Aydoğmuş deneme alanındaki orijinlere ait bireylerde, Kemer deneme alanındakilere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, Kemer deneme alanının Aydoğmuş'a kıyasla daha düşük yağış almasıyla ilişkilendirilebilir. Nitekim Júnior et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada, kuraklık stresinin yaprak eninde değişimlere yol açtığı, yaprak boyunun bu stresten belirgin şekilde etkilenmediği, ancak yaprak enindeki azalmaya bağlı olarak toplam yaprak alanının da küçüldüğü ifade edilmiştir. Orijin bazında değerlendirildiğinde, Sarıkamış orijinine ait bireylerin her iki deneme alanında da yaprak eni bakımından ilk üç sırada yer aldığı görülmektedir. Bu durum, Sarıkamış orijininin mevcut çevresel koşullara diğer orijinlere göre daha iyi uyum sağlayabildiğini göstermektedir. Günümüzde yaprak boyu değerleri çoğunlukla yaprak alanının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Flower-Ellis ve Olsson, 1993). Bu kapsamda, Aydoğmuş'taki ortalama yaprak boyunun Kemer'e göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yaprak boyunun da yaprak eni gibi Aydoğmuş'ta daha yüksek olması, bu alanın Kemer'e kıyasla daha az kurak ve daha fazla yağış alan bir ekolojik yapıya sahip olmasıyla açıklanabilir. Literatürde, kuraklık stresi altında bitkilerin su kaybını azaltmak ve su içeriğini korumak amacıyla yaprak kalınlığını artırabildikleri belirtilmektedir (Lopez vd., 1997; Trujillo vd., 2013). Bu doğrultuda, Aydoğmuş'ta Şenkaya, Kemer'de ise Kunduz orijinine ait bireylerin diğer orijinlere göre daha yüksek yaprak kalınlığına sahip olduğu belirlenmiştir. Gitelson vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada, F735/F700 klorofil floresan oranının yapraktaki klorofil içeriği ile pozitif yönde ilişkili olduğu ve bu oranın klorofil miktarının belirlenmesinde kullanılabileceği ifade edilmiştir. CCM300 Klorofil içeriği ölçüm cihazı ise iğne yapraklı türler ile küçük ve düzensiz morfolojiye sahip bitkilerin yapraklarında ölçüm yapmaya uygun bir cihaz olup, bu tür bitkilerde klorofil ve klorofil floresansının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Repo vd., 2016; Ali vd., 2018; Marchetti vd., 2018). Bu doğrultuda, söz konusu çalışmada da klorofil floresanı ölçümleri CCM300 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Klorofil a, klorofil b, toplam klorofil, klorofil floresanı ve karotenoid içerikleri birlikte değerlendirildiğinde, Çatacık, Erzurum ve Sarıkamış orijinlerinin diğerlerine kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğu ve bu yönüyle öne çıktığı belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu orijinlerin stres koşullarına karşı daha yüksek tolerans gösterebildiğine işaret etmektedir. Günümüzde kurak ve yarı kurak alanlarda bulunan, ayrıca iklim değişikliği ve küresel ısınmanın etkisiyle gelecekte daha şiddetli kuraklık stresine maruz kalması beklenen sarıçam doğal yayılış alanlarında gerçekleştirilecek ağaçlandırma çalışmalarında, bu orijinlerin öncelikli olarak dikkate alınması ve değerlendirilmesi uygun bir yaklaşım olacaktır. Nitekim, bitkilerin özellikle su kıtlığı, yüksek sıcaklık ve anormal ışık koşulları gibi stres faktörleri altında klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid



içeriklerinde azalma meydana geldiği pek çok araştırmada ortaya konulmuştur (Brett ve Singer, 1973; Yordanov vd., 2000; Ashraf, 2003; Pukacki ve Kaminska-Rozek, 2005; Flexas vd., 2006; Saucedo vd., 2008; Terzi vd., 2010; Kancheva vd., 2014). Benzer şekilde, Pilura ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada da bazı bitki türlerinde pigment içeriklerinin sıcak ve nemli koşullarda arttığı, buna karşılık kurak koşullarda pigment üretiminin azaldığı bildirilmiştir.

Küresel ısınma ve buna bağlı iklim değişikliği ile kuraklık, türlerin yayılışı ve sürekliliği üzerinde önemli baskılar oluşturmakta; bu bağlamda Sarıçam'ın (*Pinus sylvestris* L.) morfolojik ve fizyolojik tepkilerinin ortaya konulması, türün sürdürülebilir yönetimi açısından önem taşımaktadır. Bu araştırma, incelenen orijin denemesine ait 20 yıllık sonuçları kapsamakta olup, orijinlerin karşılaştırılması açısından yeterli bir değerlendirme süresi sunmaktadır. Çalışma bulgularına göre Aydoğmuş deneme alanında Mesudiye, Çatacık ve Şenkaya; Kemer deneme alanında ise Çatacık, Sarıkamış ve Gölköy orijinleri en iyi performans gösteren ilk üç orijin olarak belirlenmiştir. Bu orijinlerin, bulundukları alanlar ve benzer yetiştirme ortamları için ağaçlandırma çalışmalarında kullanılabilecek potansiyel tohum kaynakları olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, denemenin belirli aralıklarla izlenerek aynı özellikler bakımından yeniden değerlendirilmesi ve elde edilecek bulguların bilimsel ve uygulamalı çevrelerle paylaşılması uygun görülmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde yürütülen doktora tezinin bir bölümünü kapsamaktadır. Çalışmaya temel oluşturan Sarıçam orijin denemesinin kurulmasında emeği geçen ve araştırmaya katkı sağlayan Prof. Dr. Abdullah GEZER ile Prof. Dr. Nebi BİLİR'e teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Ali, S., Khan, M. A. & Kim, W. C. (2018). *Pseudomonas veronii* KJ mitigates flood stress-associated damage in *Sesamum indicum* L. *Appl Biol Chem*, 61: 575-585.
- Anonim (2015). <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/Orman%20Atlasi.pdf>, (Son erişim tarihi: 20.09.2020)
- Arnon, D. I. (1949). "Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts, Polyphenoxidase in *Beta vulgaris*", *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- Ashraf, M. (2003). Relationships Between Leaf Gas Exchange Characteristics and Growth of Differently Adapted Populations of Blue Panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.) Under Salinity or Waterlogging. *Plant Science*, 165, 1, 69-75.
- Brett, W. J. & Singer, A. C. (1973). Chlorophyll Concentration in Leaves of *Juniperus virginiana* L., Measured Over a 2-Year Period. *The American Midland Naturalist*, 90(1), 194-200.
- Çalikoğlu, M., (2002). *Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arnold ssp. Pallasiana Lamb. Holmboe) Orijinlerinin Kuraklıklara Karşı Reaksiyonlarının Ekofizyolojik Analizi*. (Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Dirik, H. (2000). Farklı Biyoiklim Kuşaklarını Temsil Eden Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Orijinlerinin Kurak Dönemdeki Su Potansiyellerinin Basınç-Hacim (P-V) Eğrisi Yöntemi ile Analizi. İstanbul Üniversitesi, *Orman Fakültesi Dergisi*, 50, 93-130.
- Flexas, J., Ribas-Carbó, M., Bota, J., Galmés, J., Henkle, M., Martínez- Cañellas, S. & Medrano, H. (2006). Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. *New Phytol*, 172(1):73–82.
- Flower-Ellis, J. G., & Olsson, L. (1993). Estimation of volume, total and projected area of Scots pine needles from their regression on length (No. 190).
- Gezer, A., Gülcü, S. & Bilir, N. (2002). Isparta Göller Yöresi Sarıçam (*Pinus Silvestris* L.) Orijin Denemeleri (İlk Aşama Sonuçları). *Turkish Journal of Forestry*, 1, 1-18.
- Gitelson, A.A., Buschmann, C. & Lichtenthaler, H.K. (1999). The Chlorophyll Fluorescence Ratio F735/F700 as an Accurate Measure of Chlorophyll Content in Plants. *Remote Sens Enviro*, 69: 296-302.
- Gülcü, S. & Bilir, N. (2015). Provenance variations of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Southern part of Turkey. *Pakistan Journal of Botany*, 47(5), 1883-1893.
- Gülcü, S. & Bilir, N. (2017). Growth and survival variation among scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *International journal of genomics*, 2017.
- Işık, F., Keskin, S., Cengiz, Y., Genç, A., Doğan, B., Tosun, S., Özpay, Z., Uğurlu, S., Örtel, E., Dağdaş, S., Karatay, H. & Yoldağ, İ. (2002). *Kızılçam Orijin Denemelerinin 10 yıllık Sonuçları (Orijin-Çevre Etkileşimi ve Tohum Transferi üzerine Etkisi)*, Teknik Bülten No: 14, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Antalya.
- Júnior, S. D. O. M., de Andrade, J. R., dos Santos, C. M., Silva, J. A. C., d Santos, K. P., Silva, J. V. & Endres, L. (2019). Leaf thickness and gas exchange are indicators of drought stress tolerance of sugarcane. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29-38.
- Kancheva, R., Borisova, D. & Georgiev, G. (2014). Chlorophyll Assessment and Stress Detection From Vegetation Optical Properties. *Ecological Engineering and Environment Protection*, 1, 34-43.

- Lopez, F. B., Chauhan, Y. S. & Johansen, C. (1997). Effects of timing of drought stress on leaf area development and canopy light interception of short-duration pigeonpea. *J. Agron. Crop. Science*, 178, 1-7.
- Marchetti, C. F., Škrabišová, M., Galuszka, P., Novák, O. & Causin, H. F. (2018). Blue light suppression alters cytokinin homeostasis in wheat leaves senescing under shading stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130, 647-657. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.005>.
- Matías, L. & Jump, A. S. (2012). Interactions between growth, demography and biotic interactions in determining species range limits in a warming world: the case of *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management*, 282, 10-22.
- Matyas, C. (1996). Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests. *Euphytica*, 92(1-2), 45-54.
- Mundree, S. G., Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Vander Willigen, C. & Thomson, J. A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African journal of Biotechnology*, 1(2), 28-38.
- Pliura, A., Jankauskiene, J., Lygis, V., Suchockas, V., Bajerkevičiene, G. & Verbylaite, R. (2018). Response of juvenile progeny of seven forest tree species and their populations to simulated climate change-related stressors, heat, elevated humidity and drought. *Iforest-Biogeosciences and Forestry*, 11(3), 374.
- Pukacki, P. M. & Kaminska-Rozek, E. (2005). Effect of drought stress on Klorophyll a fluorescence and electrical admittance of shoots in Norway spruce seedlings. *Trees*, 19, 539-544.
- Repo, T., Launiainen, S., Lehto, T., Sutinen, S., Ruhanen, H., Heiskanen, J., Laurén, A., Silvennoinen, R., Vapaavuori, E. & Finér, L. (2016). The responses of Scots pine seedlings to waterlogging during the growing season. *Canadian Journal of Forest Research*, 46: 1439–1450.
- Sauceda, J. U., Rodriguez, H. G., Lozano, R. R., Silva, I. C., Meza, M. G. & Larga, L. (2008). Seasonal Trends of Chlorophylls a and b Carotenoids in Native Trees and Shrubs of Northeastern Mexico. *Journal of Biological Sciences*, 8(2), 258- 267.
- Semerci, H., Semerci, A., Imal, B. & Arıcı, Y. K. (2019). Ankara ve Antalya Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orijin deneme sahalarında bazı orijinlerin dona dayanıklılıklarının belirlenmesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20(4), 290-296.
- Terzi, R., Sağlam, A., Kutlu, H., Nar, H. & Kadioğlu, A. (2010). “Impact of Soil Drought Stress on Photochemical Efficiency of Photosystem II and Antioxidant Enzyme Activities of Phaseolus Vulgaris Cultivars”, *Turk. J. Bot.*, 34, 1-10.
- Trujillo, I., Rivas, M. & Castrillo, M. (2013). Leaf recovery responses during rehydration after water deficit in two bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *J Plant Interact.* 8, 360-369.
- Yordanov, I., Velikova, V. & Tsonev, T. (2000). Plant responses to drought acclimation and stress tolerance, *Photosynthetica*, 38, 171-186.

## BIOINDICATORS OF ECOLOGICAL HAZARDS IN AGROECOSYSTEMS FOR SUSTAINABILITY

MSc. Zija SAIDOV<sup>1</sup>,

MSc. Biljana BOGDANOVA POPOV<sup>2</sup>

Prof. Dr. Vesna KARAPETKOVSKA - HRISTOVA<sup>1</sup>

Academician of IRASA, Dr. Vladica RISTIC<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Biotechnical Sciences, University "St. Kliment Ohridski" - Bitola, Republic of N. Macedonia

ORCID: 0000-0002-5056-8003; [vesna.hristova@uklo.edu.mk](mailto:vesna.hristova@uklo.edu.mk);

<sup>2</sup>Professional Medical Associate at Center of Medical Health -Bitola, Republic of N. Macedonia;

<sup>3</sup>University Beopolis, Belgrade, Republic of Serbia

ORCID: 0000-0002-8605-1698; [vladicar011@gmail.com](mailto:vladicar011@gmail.com).

### Abstract

For monitoring environmental hazards and assessing pollution in agroecosystems, bee products are important bioindicators. In this study, samples of beebread and beeswax were collected from ten (10) apiaries located in northeastern Macedonia and exposed to varying degrees of anthropogenic impact. Concentrations of heavy metals (lead, cadmium and zinc) were determined according to the NMKL 186 standard using atomic absorption spectrometry, and each sample was analysed in triplicate. Lead (Pb) and cadmium (Cd) were detected only in 4 of the studied apiaries. Pb concentrations ranged from 0.082 to 0.096 mg/kg in beeswax and from 0.061 to 0.069 mg/kg in bee bread. All values were below the reference limit of <0.1 mg/kg, indicating low to moderate pollution and localized anthropogenic impact. Cd concentrations ranged from 0.035 to 0.058 mg/kg in beeswax and from 0.028 to 0.052 mg/kg in bee bread, with only a few maximum values slightly exceeding the recommended limit of 0.05 mg/kg. Zinc (Zn) was present in some of the apiaries, but its concentrations were within the typical values published in the literature and did not exceed the permitted limits for bee products. The results indicate the existence of localized sources of pollution, especially in apiaries affected by human activities. At the same time, they confirm that bee bread and beeswax are effective bioindicators for monitoring environmental hazards and supporting sustainable agriculture.

**Keywords:** bioindicators, heavy metals, bee bread, beeswax, sustainability.

## THE IMPORTANCE OF AGRO-PRODUCTIVE GROUPING OF REGIONAL LANDS

Khalilov Azer Agazade oglu a.xalilov1968i@mail.ru

Aliyeva Tarana Sair qizi eliyevaterane8181@gmail.com

Huseynova Nurida Hatam qizi nuridsadiqova533@gmail.com

Azerbaijan State Agrarian University, Ganja city

**Keywords:** *Land, agro-production grouping, fertility, quality assessment*

**Summary:** Soil quality assessment and agro-production grouping are one of the important issues of the day. The agro-production grouping of the lands of the Upper Shirvan cadastral region, as in other regions of the republic, is described in the article.

The lands of the territory were grouped using appropriate methods. A qualitative assessment of the lands of the Upper Shirvan cadastral region was carried out by ownership forms: the main part of fertile lands of groups I and II was privatized and transferred to private ownership: 9.0% and 59.37%, respectively; Group III lands are mostly in state ownership - 48.7%; Group IV lands are distributed almost equally between state and municipal ownership - (11.3%) - state and (10.9%) - municipality; Group V conditionally useless lands were mostly kept in state ownership - 15081 ha (8.4%).

**Introduction:** According to calculations, in order to meet the food needs of the world population by 2050, the area suitable for agriculture should be increased to 0.5-1 billion hectares. This also requires the expansion of arable land.

Agro-production grouping of lands allows for the efficient combination of lands, supports scientifically based crop planning, reduces environmental damage and increases economic income. Agro-production grouping of lands is a classification combination of soil groups close in certain properties to any group of plants and plants with common crop qualities [5. pp113–132].

In recent years, due to the increasing population and extreme weather conditions caused by climate change, conscious and sustainable land use planning has become even more important [3].

Soil quality assessment is one of the main components of land assessment systems. In their comprehensive review, Bünemann et al. characterized the concepts of soil quality as continuous variability. Soil assessment methods can be qualitative, quantitative, or a combination of both in terms of soil fertility. Qualitative systems group soils according to certain land use objectives and taking into account restrictions [2. pp105-125 ].

The participation of agriculture in the development of the republic's economy depends on many factors, such as the country's national wealth, territory, international relations, and level of economic development [11. pp80-89 ].

Agro-production grouping of lands is one of the most effective tools for successfully solving various issues related to the profitable use of lands and increasing their fertility. Such grouping should be carried out in strict compliance with certain requirements that agricultural production places on the soil cover.

Agro-production grouping of lands is important for maximizing soil productivity, ensuring sustainable land use, and optimizing agricultural, forestry, and pasture management based on soil, climate, and agrochemical characteristics.

Since the middle of the last century, agro-production grouping of lands in the former Soviet space has been carried out in three directions [9. pp67-71]. 1) according to the requirements of individual agricultural crops; 2) according to the requirements of certain ecological groups of agricultural crops or types of land use; 3) based on the properties of soils not intended for any specific crop.

1) Groupings based on the needs of individual plants. This type of grouping was widely carried out in the republic: for cotton, grapes, fodder crops, forest areas, olives, vegetable crops, etc. This type of agro-production grouping was carried out taking into account the specific needs of a particular plant for soil conditions.

2) Groupings based on the needs of certain ecological plant groups and farm areas. Here, the properties of the soils combined within the group have a wider variability than the soil properties of type 1. This is natural, because the needs of plant groups are more widespread and uncertain compared to the needs of a specific plant.

3) Groupings based on the genetic-production properties and fertility levels of the soils without taking into account any plant or plant group.

Forest and agro-production grouping of soils in our republic is usually carried out in two directions - based on their genetic-production properties and on the basis of the soil's bonitet scores. Based on the genetic-production characteristics of soils, the forest and agro-production grouping itself is divided into two subtypes: complex agro-production grouping and special agro-production grouping.

Complex agro-production grouping of soils is the grouping of soil taxonomic units according to complex properties and signs. This grouping is aimed at accounting for and general assessment of soil resources. In our republic, a number of valuable works were carried out in the 60s-70s of the 20th century in the field of grouping of soils according to complex properties and signs.

Special agro-production grouping of soils is the grouping of soil taxonomic units according to any property and sign of the soil (salinity, salinization, erosion, etc.). The main purpose of such grouping is to assist in the preparation of agro-ameliorative and melioration projects that serve to eliminate factors limiting soil fertility and the productivity of agricultural crops [12. Pp87 ].

Since the early 1990s, the agricultural production grouping based on land quality scores has become more and more preferred in our republic. As scientific research in the field of land assessment has developed, this



type of grouping has become more specific, with soils with corresponding scores being included in agro-production groups, taking into account soil fertility characteristics and agro-technical requirements. Therefore, in land assessment, agro-production grouping of soils is considered as a grouping of taxonomic units of land with similar scores within groups. According to some researchers, agro-production grouping of soils based on agro-production scores has more advantages than grouping based on their genetic-production characteristics [4. pp277-284 ].

Agro-production grouping according to the land fertility scores can also be divided into two groups: special and general. Special agro-production grouping is the grouping of land taxonomic units based on fertility scores in accordance with the requirements of a particular agricultural crop. It should be noted that in our republic, this direction of agro-production grouping of lands was given more preference [6. pp1-5 ].

General agro-production grouping is carried out based on the agronomic importance of the land, without taking into account the requirements of a particular plant or plant group. The research conducted in this direction is of great importance in terms of assessing the current state of existing land resources and the correct placement of agricultural crops. A number of valuable research works have been carried out in our republic in this area.

The fertility scores determined during grouping based on fertility indicators are shown as the most important general indicator of the agro-production values of lands [10. pp72-81 ].

The lands of our republic were divided into 5 agro-production groups by academician G.Sh. Mammadov, depending on their natural fertility characteristics, level of civilization, and their demand for agro-ameliorative and melioration measures [7. pp142-152; 13. pp. 473-487].

Discussions: In the research work, we conducted the forest and agro-production grouping of the lands of the Upper Shirvan cadastral region according to the methodology proposed by G.Sh. Mammadov [149] based on the general agro-production grouping type based on the land quality scores. For this, groupings were carried out using the appropriate methodology based on the open quality scale of soil types and diversity, compiled in the previous section, taking into account the correction factors, and the lands of the cadastral region were combined into 5 groups (table 1) [1; 8].

We give a brief description of the separated forest and agro-industrial groups:

Group I – high-quality soils. This group of soils is locally distributed in the western part of the territory of the Upper Shirvan cadastral region, covering 18147.22 ha or 4.4% of the total area. The basis of the group of high-quality soils is forest soils and dark mountain gray-brown (chestnut) soils. These soils are mainly thick, and non-eroded and weakly eroded species are widespread in the area. Their mechanical composition is mainly medium loamy, partly heavy loamy. The humus reserve in the upper layer of high-quality soils is 82-118 t/ha, in

the 0-100 cm layer it is 264-311 t/ha, in the half-meter layer it is 12-17 t/ha, in the phosphorus reserve in the half-meter layer it is 10-13 t/ha, the total amount of absorbed bases is 31.9-33.4 mg/eq.

The average score of high-quality soils is 86.

Group II – good-quality soils. These soils are distributed in the center, north and north-western part of the territory and constitute 155657.98 hectares (37.75%) of the area. The group of good-quality soils includes mainly thick and medium-thick varieties of washed and typical subtypes of mountain-forest brown soils, washed, typical and carbonate subtypes of mountain-forest brown and steppe mountain-brown soils, dark and typical subtypes of mountain gray-brown (chestnut) soils.

The mechanical composition of good-quality soils is mainly heavy and medium loamy, clayey and light loamy varieties are also found.

The fertility indicators of these soils are slightly lower than in group I. The humus reserve in the 0-20 cm layer is 81-109 t/ha, in the 0-100 cm layer it is 236-248 t/ha, in the half-meter layer the nitrogen reserve is 11-13 t/ha, the phosphorus reserve is 10-12 t/ha, the total amount of absorbed bases is 28.9-31.8 mg/eq.

The average score of the group is 67.

Group III – medium-quality soils. These soils are most widespread in the south, south-west and south-east parts of the territory, accounting for 179287.45 ha or 43.49% of the total area. The group of medium-quality soils includes medium-thick and high-grade varieties of washed and typical subtypes of mountain-forest brown soils, washed, typical and carbonate subtypes of mountain-forest brown soils, washed, typical, carbonate and cultured subtypes of steppe mountain-brown soils, dark, ordinary and light subtypes of mountain gray-brown (chestnut) soils.

Medium-quality soils have a clayey and heavy loamy, partly medium and light loamy mechanical composition. The fertility indicators of these soils are lower than those of the previous group of soils, the humus reserve in the upper layer is 68-100 t/ha, in the 0-100 cm layer it is 214-232 t/ha, the nitrogen reserve in the half-meter layer is 10-12 t/ha, the phosphorus reserve is 9-11 t/ha, the total amount of absorbed bases is 27.8-30.6 mg/eq.

The average score of the group is 51.

Group IV – low-quality soils. These soils are spread in the southwest and southeast of the territory (on the border with Gobustan region) and cover an area of 38343.45 ha (9.3%).

The group of low-quality soils includes carbonated mountain-forest brown, washed steppe mountain brown, carbonated steppe mountain brown, mountain gray-brown (chestnut) and light mountain gray-brown (chestnut) soils. The following varieties of these soils are widespread in the area: weak, medium and strong washed soils. Due to the thickness of the fertile layer, these soils are mainly high soils.

The mechanical composition of this group of soils is mainly clayey, with heavy loamy, partly medium and light loamy varieties. From an agrochemical point of view, this group of soils is very poorly supplied with nutrients: humus reserves in the upper layer are 66-82 t/ha, in the 0-100 cm layer 159-206 t/ha, nitrogen reserves in the half-meter layer are 7-9 t/ha, phosphorus reserves are 6-7 t/ha, the total amount of absorbed bases is 28.5-29.9 mg/eq.

The average score of low-quality soils in the group is 39.

### Agro-production grouping of lands of the Mountainous Shirvan cadastral region

**Table 1**

| Soil quality groups                         | Soils included in the group                                 | Points | Area     |      |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------|----------|------|
|                                             |                                                             |        | ha       | %    |
| Group I high-quality soils<br>100-81 points | Medium clayey thick washed mountain-forest brown            | 100    | 95,2     | 0,02 |
|                                             | Medium clayey thick washed mountain-forest brown            | 83     | 1203,4   | 0,29 |
|                                             | Heavy clayey thick typical mountain-forest brown            | 81     | 5585,0   | 1,35 |
|                                             | Medium clayey thick typical mountain-forest brown           | 90     | 4392,35  | 1,07 |
|                                             | Medium clayey thick greyish typical mountain-brown          | 81     | 1190,77  | 0,29 |
|                                             | Medium clayey thick dark mountain grey-brown                | 88     | 5680,5   | 1,38 |
|                                             | Average score for the group                                 | 86     | 18147,22 | 4,40 |
| Group II good quality soils<br>80-61 points | Medium clayey medium thick washed mountain-forest brown     |        |          |      |
|                                             | Heavy clayey medium thick carbonated mountain-forest brown  | 80     | 205,2    | 0,05 |
|                                             | Clayey thick washed mountain-forest brown                   |        |          |      |
|                                             | Heavy clayey thick washed mountain-forest brown             | 66     | 116,85   | 0,03 |
|                                             | Medium clayey medium thick washed mountain-forest brown     | 66     | 1320,65  | 0,32 |
|                                             | Light clayey thick washed mountain-forest brown             | 75     | 2881,10  | 0,70 |
|                                             | Heavy clayey medium thick typical mountain-forest brown     |        |          |      |
|                                             | Light clayey thick typical mountain-forest brown            | 66     | 2993,70  | 0,73 |
|                                             | Clayey thick carbonated mountain-forest brown               | 74     | 1005,6   | 0,24 |
|                                             | Heavy clayey thick carbonated mountain-forest brown         |        |          |      |
|                                             | Medium clayey medium thick carbonated mountain-forest brown | 65     | 2896,5   | 0,70 |
|                                             | Heavy clayey thick grey washed mountain-brown               | 72     | 2570,47  | 0,62 |
|                                             | Medium clayey thick grey washed mountain-brown              | 80     | 3889,28  | 0,94 |
|                                             | Clayey thick grey typical mountain-brown                    | 63     | 2992,20  | 0,73 |
|                                             | Heavy clayey thick grayish typical mountain brown           |        |          |      |
|                                             | Thick grayish typical mountain brown with light clay        | 71     | 1355,9   | 0,33 |
|                                             | Thick grayish carbonate mountain brown with heavy clay      | 63     | 7522,5   | 1,83 |
|                                             | Thick grayish carbonate mountain brown with medium clay     | 67     | 2943,2   | 0,71 |
|                                             | Thick grayish carbonate mountain brown with light clay      | 74     | 1440,9   | 0,35 |
|                                             | Thick cultured mountain brown with heavy clay               | 65     | 2610,5   | 0,63 |
|                                             | Thick cultured mountain brown with medium clay              | 73     | 2276,5   | 0,55 |
|                                             | Thick dark mountain gray-brown with heavy clay              | 72     | 1320,4   | 0,32 |
|                                             | Thick dark mountain gray-brown with medium clay             |        |          |      |
|                                             | Thick dark mountain gray-brown with medium clay             | 66     | 25283,1  | 6,13 |
|                                             | Clay thick mountain gray-brown (chestnut)                   | 73     | 7843,5   | 1,90 |
|                                             | Thick mountain gray-brown with heavy clay (chestnut)        | 65     | 4177,0   | 1,01 |
|                                             | Thick mountain gray-brown with medium clay (chestnut)       | 66     | 6069,9   | 1,47 |
|                                             | Thick mountain gray-brown with medium clay                  | 73     | 4983,46  | 1,21 |
|                                             | Thick light mountain gray-brown with medium clay            | 79     | 5034,9   | 1,22 |

|                                                      |                                                                  |    |           |       |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----|-----------|-------|
|                                                      |                                                                  | 63 | 2617,25   | 0,63  |
|                                                      |                                                                  | 70 | 2858,01   | 0,70  |
|                                                      |                                                                  | 63 | 11877,4   | 2,88  |
|                                                      |                                                                  | 71 | 16468,95  | 3,99  |
|                                                      |                                                                  | 79 | 12364,8   | 3,00  |
|                                                      |                                                                  | 63 | 8417,15   | 2,04  |
|                                                      |                                                                  | 67 | 7321,2    | 1,78  |
|                                                      | Average score for the group                                      | 67 | 155657,98 | 37,75 |
| Group III<br>medium quality<br>soils<br>60-41 points | Medium clayey high-washed mountain-forest brown                  | 60 | 277,03    | 0,07  |
|                                                      | Heavy clayey high-carbonated mountain-forest brown               | 49 | 280,56    | 0,07  |
|                                                      | Medium clayey high-carbonated mountain-forest brown              | 55 | 86,15     | 0,02  |
|                                                      | Clay medium-thick washed mountain-forest brown                   | 53 | 2627,5    | 0,64  |
|                                                      | Heavy clayey high-washed mountain-forest brown                   | 45 | 3749,05   | 0,91  |
|                                                      | Medium clayey high-washed mountain-forest brown                  | 50 | 3775,5    | 0,92  |
|                                                      | Light clayey high-washed mountain-forest brown                   | 44 | 2258,24   | 0,54  |
|                                                      | Medium clayey high-typical mountain-forest brown                 | 54 | 3978,15   | 0,97  |
|                                                      | Clay medium-thick carbonated mountain-forest brown               | 51 | 3730,0    | 0,90  |
|                                                      | Heavy clayey high-carbonated mountain-forest brown               | 57 | 3405,80   | 0,83  |
|                                                      | Medium clayey high-carbonated mountain-forest brown              | 43 | 4119,60   | 1,00  |
|                                                      | Light clayey medium-thick carbonated mountain-forest brown       |    |           |       |
|                                                      | Light clayey high-carbonated mountain-forest brown               | 47 | 2685,25   | 0,65  |
|                                                      | Clay thick greyish washed mountain-brown                         |    |           |       |
|                                                      | Clay medium-thick grey washed mountain brown                     | 56 | 2273,70   | 0,55  |
|                                                      | Heavy clayey medium thick grey washed mountain brown             | 42 | 4667,15   | 1,13  |
|                                                      | Medium clayey medium thick grey washed mountain brown            | 59 | 3360,6    | 0,82  |
|                                                      | Medium clayey high grey washed mountain brown                    |    |           |       |
|                                                      | Heavy clayey medium thick grey washed typical mountain brown     | 47 | 2301,82   | 0,56  |
|                                                      | Heavy clayey high grey washed typical mountain brown             | 53 | 2753,0    | 0,67  |
|                                                      | Light clayey high grey washed typical mountain brown             |    |           |       |
|                                                      | Clay thick grey washed carbonated mountain brown                 | 59 | 2773,4    | 0,67  |
|                                                      | Heavy clayey medium thick grey washed carbonated mountain brown  | 44 | 1269,0    | 0,31  |
|                                                      |                                                                  | 58 | 3521,6    | 0,85  |
|                                                      | Medium clayey medium thick grey washed carbonated mountain brown | 44 | 1175,8    | 0,29  |
|                                                      |                                                                  |    |           |       |
|                                                      | Medium clayey high grey washed carbonated mountain brown         | 43 | 122,90    | 0,03  |
|                                                      | Light clayey medium thick grey washed carbonated mountain brown  | 58 | 9125,5    | 2,21  |
|                                                      | Heavy clayey medium thick cultured mountain-brown                |    |           |       |
|                                                      | Medium-thick cultured mountain-brown with medium clay            | 53 | 6950,1    | 1,69  |
|                                                      | Medium-thick dark mountain gray-brown (chestnut)                 |    |           |       |
|                                                      | Heavy clay high dark mountain gray-brown (chestnut)              | 58 | 6490,9    | 1,57  |
|                                                      | Medium-thick high dark mountain gray-brown (chestnut)            |    |           |       |
|                                                      | Clay medium-thick mountain gray-brown (chestnut)                 | 44 | 2943,8    | 0,72  |
|                                                      | Heavy clay high mountain gray-brown (chestnut)                   |    |           |       |
|                                                      | Medium-thick high mountain gray-brown (chestnut)                 | 52 | 3330,70   | 0,81  |
|                                                      | Clay thick light mountain gray-brown (chestnut)                  |    |           |       |
|                                                      | Clay medium-thick light mountain gray-brown (chestnut)           | 53 | 1460,4    | 0,36  |
|                                                      | Heavy clay thick light mountain gray-brown (chestnut)            |    |           |       |
|                                                      | Heavy clay medium-thick light mountain gray-brown (chestnut)     | 58 | 1125,85   | 0,27  |
|                                                      | Heavy clay medium-thick light mountain gray-brown (chestnut)     | 56 | 2187,20   | 0,53  |
|                                                      | Heavy clay medium-thick light mountain gray-brown (chestnut)     |    |           |       |
|                                                      | gray-brown                                                       | 48 | 3515,5    | 0,85  |

|                                                     |                                                            |     |           |       |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|-----------|-------|
|                                                     | Medium-thick light mountain gray-brown with medium clay    | 53  | 1741,60   | 0,42  |
|                                                     | Medium-thick light mountain gray-brown with light clay     | 51  | 14086,3   | 3,42  |
|                                                     |                                                            | 57  | 17558,3   | 4,26  |
|                                                     |                                                            | 43  | 8359,9    | 2,03  |
|                                                     |                                                            | 47  | 3829,564  | 0,93  |
|                                                     |                                                            | 54  | 10376,8   | 2,52  |
|                                                     |                                                            | 43  | 7242,3    | 1,76  |
|                                                     |                                                            | 60  | 10706,7   | ,60   |
|                                                     |                                                            | 48  | 3170,0    | 0,77  |
|                                                     |                                                            | 54  | 6757,8    | 1,63  |
|                                                     |                                                            | 48  | 3136,0    | 0,76  |
|                                                     | Average score by group                                     | 51  | 179287,45 | 43,49 |
| Group IV low quality soils<br>40-21 points          | Clayey high carbonate mountain-forest brown                | 38  | 2690,10   | 0,65  |
|                                                     | Clayey high grayish washed mountain-brown                  | 35  | 694,8     | 0,17  |
|                                                     | Heavy clayey high grayish washed mountain-brown            | 40  | 2536,5    | 0,61  |
|                                                     | Clayey high grayish carbonate mountain-brown               | 35  | 3522,85   | 0,85  |
|                                                     | Heavy clayey high grayish carbonate mountain-brown         | 39  | 6337,7    | 1,54  |
|                                                     | Light clayey high grayish carbonate mountain-brown         |     |           |       |
|                                                     | Clayey high mountain grayish brown (chestnut)              | 39  | 2354,70   | 0,57  |
|                                                     | Medium clayey high light mountain grayish brown (chestnut) | 38  | 6221,4    | 1,51  |
|                                                     |                                                            | 40  | 13985,4   | 3,39  |
|                                                     | Average score by group                                     | 39  | 38343,45  | 9,30  |
| Vgroup conditionally unsuitable lands<br><20 points | Other lands                                                | <20 | 20854,56  | 5,06  |
|                                                     | Average score by group                                     | <20 | 20854,56  | 5,06  |
|                                                     | Total                                                      | 57  | 412290,66 | 100,0 |

Group V – conditionally unsuitable lands. This group of lands occupies an area of 20854.56 ha (5.06%), spreading mainly along the Gilgilchay and locally in various parts of the territory in the east and southeast.

Thus, the forest and agro-production grouping of the lands of the Upper Shirvan cadastral region based on their bonity scores made it possible to calculate the average bonity scores of the lands, the comparative value coefficient and determine their areas by quality groups (table 5.9).

**Average calculated credit score and comparative value coefficient of lands for agro-production groups of the lands of the Upper Shirvan cadastral region**

| Soil quality groups                | Average credit score | Comparative value of land | Area      |        |
|------------------------------------|----------------------|---------------------------|-----------|--------|
|                                    |                      |                           | Ha        | %      |
| I – very good soils                | 86                   | 1,51                      | 18147,22  | 4.40   |
| II – good soils                    | 67                   | 1,17                      | 155657,98 | 37,75  |
| III – medium quality soils         | 51                   | 0,89                      | 179287,45 | 43,49  |
| IV – low quality soils             | 39                   | 0,68                      | 38343,45  | 9,30   |
| V – conditionally unsuitable soils | 20                   | 0,35                      | 20854,56  | 5,06   |
| Medium                             | 57                   | 1,00                      | 412290,66 | 100,00 |

As can be seen from table 1, the average bonity score of the lands of the Upper Shirvan cadastral region is 57. Taking this figure equal to 1, we calculated the comparative value coefficient of the agro-groups. When comparing the calculated figures of the, we see that there is no need for additional costs to increase the fertility of groups I and II lands, while necessary agrotechnical measures and additional costs are needed to bring the fertility of groups III, IV and V to the average level for the cadastral region.

A visual representation of the distribution of lands of the Upper Shirvan cadastral region by forest and agricultural production groups is presented in the diagram below (Figure 1).

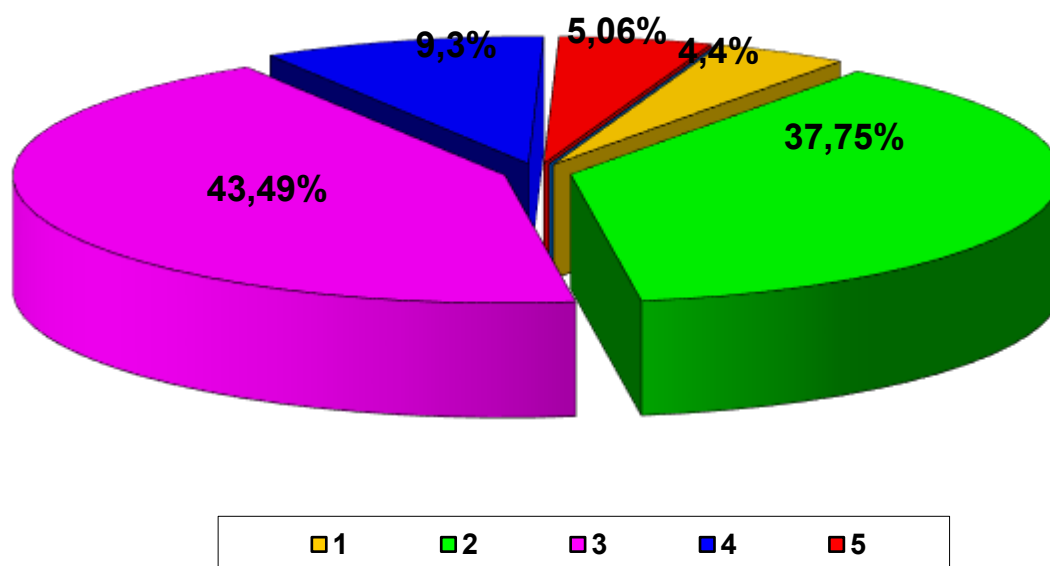


Figure 1. Distribution of the lands of the Upper Shirvan cadastral region by forest and agro-industrial groups:



1- very good lands; 2- good lands; 3- medium-quality lands; 4- low-quality lands; 5- conditionally unsuitable lands

This diagram clearly shows that in the territory of the Upper Shirvan cadastral region, the dominance belongs to group III - medium-quality lands - 43.49%, group II - good-quality lands are also widespread in the research object - 37.75%. High-quality lands accounted for only 4.4% of the territory. The presence of conditionally unsuitable lands in the amount of 20854 ha-5.06% had an impact on the average credit score of the territory.

**Conclusion:** A qualitative assessment of the lands of the Upper Shirvan cadastral region was carried out by ownership forms: the main part of the fertile lands of groups I and II was privatized and transferred to private ownership: 9.0% and 59.37%, respectively; Group III lands are mostly in state ownership - 48.7%; Group IV lands are distributed almost equally between state and municipal ownership - (11.3%) - state and (10.9%) - municipal; Group V conditionally unsuitable lands are mostly kept in state ownership - 15081 ha (8.4%).

In the territory of the Upper Shirvan cadastral region, the main advantage belongs to group III - medium-quality lands with 43.49%. Conditionally unsuitable lands account for 20854 ha or 5.06% of the economic region.

### Literature

1. Agriculture of Azerbaijan. Statistical Bulletin. Baku, 2017 Məmmədov Q.Ş. Azərbaycan respublikasının dövlət torpaq kadastrı: hüquqi, elmi və praktiki məsələləri. Bakı: Elm, 2003, 445 s.
2. Bunemann E. K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R. E., Deyn G. De, Goede R. de, Fleskens L., Geissen V., Kuyper T. W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., Van J. W. Brueniard L., Soil quality – A critical review Soil Biology . Biochemistry. , 120 ( 2018 ) , pp. 105-125 , 10.1016 /J.SOILBIO.2018.01.030
3. De Jesús Guevara Macías M., Carbajal N., Vargas J. T. Soil Deterioration in the Southern Chihuahuan Desert Caused by Agricultural Practices and Meteorological Events // Journal of Arid Environments. 2020. No. 176. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2019.104097
4. Hacıyeva, G.N., Hacıyeva, A.Z., Jafarova, F.M. (2023) Ecological problems associated with land cover in the great Caucasus and important aspects for efficient use. Revista Universidad y Sociedad. Have Scientific of the University of Cienfuegos. 15, 1, 277-284. ISSN 2218-3620.
5. Kalali Moghaddam, Z. (2015). Investigating the factors affecting land use change of agricultural lands (Study case: rural areas of Rasht city, Iran). Journal of Research and Rural Planning, 4 (1), 113–132. <https://doi.org/10.22067/JRRP.V4I9.33738>
6. MacHmuller MB, Kramer MG, Cyle TK, Hill N., Hancock D., Thompson A. Yeni yaranan torpaq istifadəsi təcrübələri torpaq üzvi maddələrini sürətlə artırır Milli Birlik , 61 ( 6 ) ( 2015 ) , səh. 1-

5 , 10.1038 /ncomms7995.

7. Mehdiyeva V.Z., Khalilov İ.B. (2019) Ecological and economic aspects of the use of natural resource potential in sustainable development of the Republic of Azerbaijan. 37th International Scientific Conference on Economic and Social Development – "Socio Economic Problems of Sustainable Development". Baku, 14-15 February, 142-152.

8. Mammadov G.Sh. State land cadastre of the Republic of Azerbaijan: legal, scientific and practical issues. Baku: Elm, 2003, 445 p.

9. Nizamzade T. N. Consolidation of agricultural lands in the Republic of Azerbaijan. International scientific and practical journal Economy, Labor, Management in Agriculture. No. 6 (63). 2020. Moscow. pp. 67–71.

10. Sikka, A. K., Islam, A., and Rao, K. V. (2018). Climate-responsive soil and water management for sustainable agriculture. Irrigation and Drainage, 67 (1), 72–81.

11. Teymur N. Nizamzada, Azer B. Jafarov / Journal of Earth Sciences & Environment v. 2 (3), 2025. S.80-89

12. Tomic, H.; Mastelic Ivic, S.; Roić, M. Land Consolidation Suitability Ranking of Cadastral Municipalities: Information-Based Decision-Making Using Multi-Criteria Analyses of Official Registers' Data. Int. J. Geo-Inform., 7, 87, doi:10.3390/ijgi7030087. (2018)

13. Valiyev A.H. Some theoretical and methodological issues of land valuation from the history. / Collection of works of the Azerbaijan Society of Soil Scientists. Volume XI, Part I, Baku: 2010, pp. 473-487, 0.9 t.v.

## **CAPPARIS SPINOSA L. TÜRÜNÜN POTANSİYEL DAĞILIMININ MODELLENMESİ VE HARİTALANDIRILMASI**

**Arş. Gör. Nazlı ÖĞÜT <sup>1</sup>/ Prof. Dr. Kürşad ÖZKAN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, [nazliogut@isparta.edu.tr](mailto:nazliogut@isparta.edu.tr),  
0009-0003-8375-3808

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, [kursadozkan@isparta.edu.tr](mailto:kursadozkan@isparta.edu.tr),  
0000-0002-8526-7243

### **Özet**

Bu çalışma, *Capparis spinosa* L. türünün Kıbrıs Adası'ndaki potansiyel dağılım alanlarının, çevresel değişkenler temelinde belirlenmesini amaçlamaktadır. Kurak ve yarı kurak koşullara yüksek adaptasyon yeteneği, geniş ekolojik toleransı ve çok yönlü kullanım potansiyeli nedeniyle tür, sürdürülebilir arazi yönetimi açısından önemli bir odun dışı orman ürünü olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, türün ekolojik uygunluk alanlarının belirlenmesi amacıyla iklim ve topoğrafik değişkenler kullanılarak altlık haritalar oluşturulmuş, değişkenler arasındaki çoklu bağlantı problemini gidermek için ön istatistiksel analizler uygulanmıştır. Tür dağılım modellemesinde yüksek tahmin gücüne sahip Maksimum Entropi yöntemi kullanılmıştır. Model sonuçlarına göre ortalama test AUC değerinin 0,705 olması, modelin kabul edilebilir düzeyde bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Türün potansiyel dağılımını en fazla etkileyen değişkenlerin sırasıyla yağış mevsimselliği (bio15), eğim, izotermalite (bio3) ve yükselti olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar ile birlikte *Capparis spinosa* L.'nin yalnızca kuraklığa dayanıklı bir tür olmadığı, aynı zamanda erozyon kontrolü, çölleşmeyle mücadele ve arazi rehabilitasyonu gibi önemli ekosistem hizmetleri sunduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, çalışma sonucunda elde edilen bilgiler ve potansiyel dağılım haritası türün korunması ve sürdürülebilir yönetimi kapsamında karar vericilere ve uygulayıcılara bilimsel bir temel sunarak, Kıbrıs'ta tür üzerine yürütülecek çalışmaların planlanması, uygulanması ve uzun vadeli sürdürülebilirliğine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Çevresel faktörler, maxent, sürdürülebilirlik, odun dışı orman ürünleri

## MODELING AND MAPPING THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF THE SPECIES *CAPPARIS SPINOSA*

### Abstract

This study aims to determine the potential distribution areas of the species *Capparis spinosa* L. on the island of Cyprus, based on environmental variables. Due to its high adaptability to arid and semi-arid conditions, broad ecological tolerance and versatile potential for use, the species is considered an important non-timber forest product in terms of sustainable land management. In this context, base maps were created using climatic and topographic variables to determine the species' ecological suitability areas, and preliminary statistical analyses were applied to address the issue of multicollinearity between variables. The Maximum Entropy method, which possesses high predictive power in species distribution modelling, was employed. According to the model results, the average test AUC value of 0.705 indicates that the model possesses an acceptable level of performance. The variables most significantly influencing the species' potential distribution were determined to be, in order precipitation seasonality (bio15), slope, isothermality (bio3) and elevation. Based on the studies conducted, it is known that *Capparis spinosa* L. is not only a drought-resistant species, it also provides important ecosystem services such as erosion control, combating desertification and land rehabilitation. In this context, the information obtained from the study and the potential distribution map provide a scientific basis for decision-makers and practitioners regarding the conservation and sustainable management of the species, thereby contributing to efforts concerning the species in Cyprus.

**Keywords:** Site factors, maxent, sustainability, non-wood forest products

## 1.GİRİŞ

Akdeniz bölgesi, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından iklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerden biri olarak tanımlanmakta olup, bu nedenle küresel ölçekte bir “sıcak nokta” olarak değerlendirilmektedir (Pachauri vd., 2014). İklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklıklar ve azalan su kaynakları, özellikle yarı kurak ve kurak alanlarda sürdürülebilir arazi kullanımını önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, odun dışı orman ürünleri (ODOÜ), hem ekosistemlerin korunmasına katkı sağlamakta hem de kırsal kalkınmayı destekleyen önemli alternatifler sunmaktadır.

ODOÜ’lerin yerel ekonomilere ve kırsal geçim stratejilerine doğrudan katkı sağladığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Asfaw vd., 2013; Lovrić vd., 2020). Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, özellikle düşük gelirli haneler için odun dışı orman ürünleri, hane gelirinin %10–60’ını oluşturabilmekte (Babulo vd., 2009; Asfaw vd., 2013) ve önemli bir geçim kaynağı işlevi görmektedir (Belcher vd., 2005; Heubach vd., 2011; Kar ve Jacobson, 2012). Bunun yanı sıra, bu ürünler diğer gıda kaynaklarının mevsimsel dalgalanmalarını dengeleyerek gıda güvenliğine katkıda bulunmakta ve önemli kültürel ile manevi değerler taşımaktadır (Shackleton ve Pandey, 2014). Bu bağlamda, kurak ve yarı kurak ekosistemlere yüksek uyum yeteneği gösteren bazı türler öne çıkmaktadır. Bunlar arasında *Capparis spinosa* L., çok yönlü kullanım potansiyeli ile dikkat çeken önemli bir odun dışı orman ürünü olarak değerlendirilmektedir. Tür, özellikle aşırı iklim değişikliğine maruz kalan ve şiddetli kuraklık koşullarının hâkim olduğu bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini desteklemek amacıyla evcilleştirilmesi önerilen umut verici bitkiler arasında yer almaktadır (Chedraoui vd., 2017).

*Capparis* cinsi, *Capparaceae* familyası içerisinde yer almakta olup (Hall vd., 2002; Inocencio vd., 2006), çoğunluğu Akdeniz bölgelerinde yayılış gösteren, tropikal ve subtropikal kökenli yaklaşık 350 türü kapsamaktadır (Fici, 2001; Inocencio vd., 2006). *C. spinosa*’nın, *C. orientalis* ve *C. sicula* türleri arasında doğal bir melez kökene sahip olduğu ileri sürülmektedir (Rivera vd., 2002). Bununla birlikte, *C. spinosa* grubu üzerinde Fici (2014, 2015) tarafından kapsamlı bir taksonomik revizyon gerçekleştirilmiştir. Bu revizyon sonucunda *C. spinosa*, tek bir tür olarak kabul edilmiş ve dört alt tür ile temsil edilmiştir: *C. spinosa* subsp. *spinosa*, *C. spinosa* subsp. *rupestris*, *C. spinosa* subsp. *cordifolia* ve *C. spinosa* subsp. *himalayensis*.

*Capparis spinosa* L., tarih boyunca farklı hastalıkların tedavisinde kullanılan önemli bir tıbbi bitki olarak bilinmektedir (Chedraoui vd., 2017). Bitkinin yaprak, sap, çiçek ve meyve gibi farklı kısımları ezme, kaynatma veya salamura etme gibi yöntemlerle hazırlanarak romatizma gibi çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmıştır (Eddouks vd., 2004; Jiang vd., 2007; Chedraoui vd., 2017). Yapılan çalışmalar, kaparinin Türkiye, Suriye ve Kıbrıs’ta uzun süredir bilindiğini ve kullanıldığını göstermektedir (Saul vd., 2013). Günümüzde ise kapari, başta İspanya, Fransa, İtalya, Yunanistan, Türkiye ve Kıbrıs olmak üzere Akdeniz

ülkelerinin geleneksel kırsal mutfaklarında yaygın olarak tüketilmektedir (Rivera vd., 2002; Chedraoui vd., 2017). **Geleneksel kullanımı yanı sıra, türün kurak ve yarı kurak koşullara uyumunu sağlayan bazı önemli fizyolojik ve morfolojik özellikleri bulunmaktadır.** *C. spinosa*, yüksek su kullanım verimliliği ile dikkat çekmekte olup, geniş kök sistemi ve yüksek kök/gövde oranı sayesinde özellikle toprak derinliklerindeki suyu etkin bir şekilde kullanabilmektedir (Zuo vd., 2012; Gan vd., 2013).

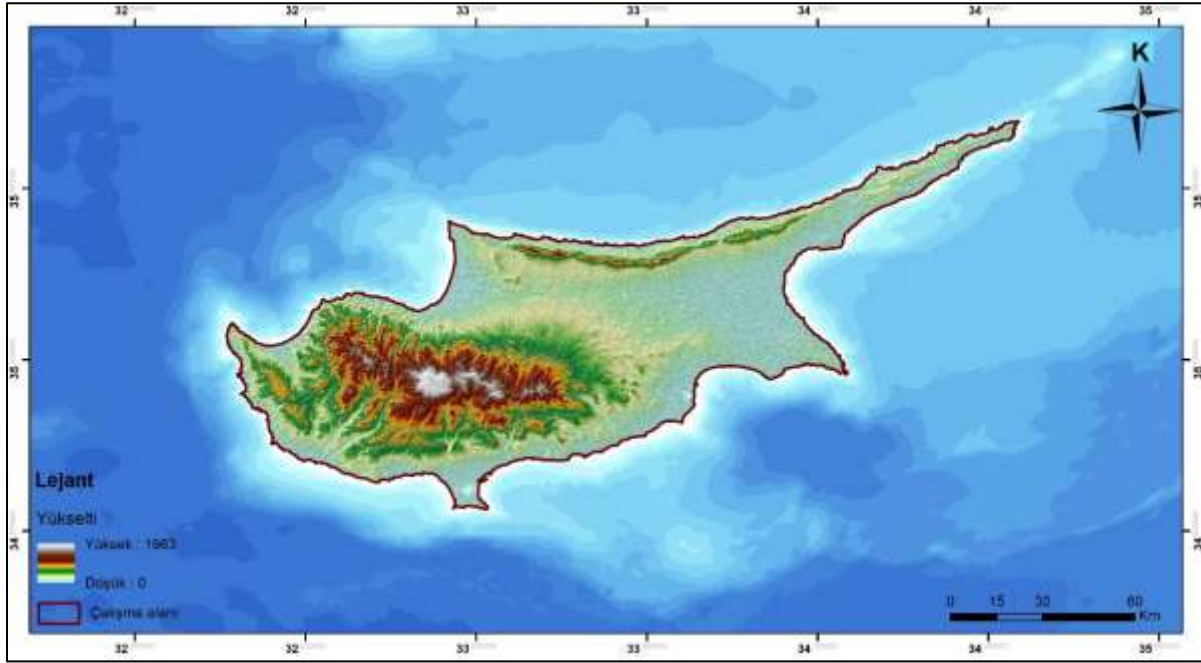
**Bu geniş kullanım alanı ve ekolojik toleransı, türün özellikle Akdeniz iklim kuşağındaki kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.** Bu bağlamda, Akdeniz Havzası içerisinde yer alan Kıbrıs, kurak ve yarı kurak koşulların belirgin olduğu bir adadır. Ancak mevcut literatür incelendiğinde, *Capparis spinosa* L.'nin Kıbrıs ölçeğinde potansiyel dağılımının modellenmesine yönelik çalışmalara rastlanmamıştır. Bu durum, türün Kıbrıs'taki ekolojik uygunluk alanlarının belirlenmesi açısından önemli bir bilgi eksikliğine işaret etmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada *Capparis spinosa* L.'nin Kıbrıs'taki potansiyel dağılımının modellenmesi ve türün mevcut çevresel koşullar altındaki uygun yetiştirme ortamlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

## 2.MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Çalışma alanı, biyolojik çeşitlilik açısından bir “sıcak nokta” olarak kabul edilen Akdeniz’in en büyük üçüncü adası olan Kıbrıs Adası’nı kapsamaktadır (Myers vd., 2000; Hadjisterkotis, 2001). Kıbrıs, 34°33’–35°42’ kuzey enlemleri ile 32°16’–34°36’ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Ada, Türkiye’ye 70 km, Suriye’ye 102 km, Mısır’a 347 km ve Yunanistan’a 835 km uzaklıkta bulunmaktadır (KKTC Enformasyon Dairesi, 2025). Kıbrıs, Köppen İklim Sınıflandırmasına göre “Csa” sınıfında yer almakta olup Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Bu iklim tipinde kışlar genellikle ılık ve yağışlı geçerken, yaz ayları oldukça sıcak ve belirgin biçimde kurak olmaktadır (Climate data, 2026).





Şekil 1. Çalışma alanına ait harita

## 2.2.Yöntem

Araştırma kapsamında incelenen türe ait varlık verileri, Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2026) veri tabanından elde edilmiştir. Elde edilen veriler analiz öncesinde kontrol sürecinden geçirilmiş ve koordinat hatası bulunan, çalışma alanı dışında kalan ve tarım arazisinde yer alan kayıtlar veri setinden çıkarılmıştır. Bu işlemler sonucunda analizlerde kullanılmak üzere güvenilir bir veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra topoğrafik değişkenler ve iklim verilerinin elde edilmesine yönelik altlık haritaların üretimine geçilmiştir. Bu kapsamda ilk aşamada iklim haritaları oluşturulmuştur. Haritaların hazırlanması amacıyla, Fick ve Hijmans (2017) tarafından geliştirilen ve WorldClim veri tabanında ücretsiz olarak sunulan 19 adet bioiklim değişkeni indirilmiştir (Çizelge 1). Topoğrafik özelliklerin belirlenmesi için de çalışma alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli verisi <https://www.earthdata.nasa.gov/> adresinden elde edilmiştir (ESDS, 2026). Bu veri kullanılarak ArcGIS yazılımı aracılığıyla çeşitli topoğrafik değişkenlere ilişkin altlık haritalar oluşturulmuş ve analiz sürecine dahil edilmiştir (Çizelge 2).

**Çizelge 1.** İklim değişkenlerine ait kod ve açıklamalar

| Kod   | Açıklama                                    |
|-------|---------------------------------------------|
| bio1  | Yıllık ortalama sıcaklık (°C)               |
| bio2  | Günlük ortalama aralık (°C)                 |
| bio3  | Eş ısı/izotermalite (%)                     |
| bio4  | Sıcaklık mevsimselliği                      |
| bio5  | En sıcak ayın maksimum sıcaklığı (°C)       |
| bio6  | En soğuk ayın minimum sıcaklığı (°C)        |
| bio7  | Yıllık sıcaklık aralığı (°C)                |
| bio8  | En yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı (°C) |
| bio9  | En kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı (°C)   |
| bio10 | En sıcak çeyreğin ortalama sıcaklığı (°C)   |
| bio11 | En soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı (°C)   |
| bio12 | Yıllık toplam yağış (mm)                    |
| bio13 | En yağışlı ayın toplam yağışı (mm)          |
| bio14 | En kurak ayın toplam yağışı (mm)            |
| bio15 | Yağış mevsimselliği (mm)                    |
| bio16 | En yağışlı çeyreğin toplam yağışı (mm)      |
| bio17 | En kuru çeyreğin toplam yağışı (mm)         |
| bio18 | En sıcak çeyreğin toplam yağışı (mm)        |
| bio19 | En soğuk çeyreğin toplam yağışı (mm)        |

**Çizelge 2.** Topoğrafik değişkenlere ait kod ve açıklamalar

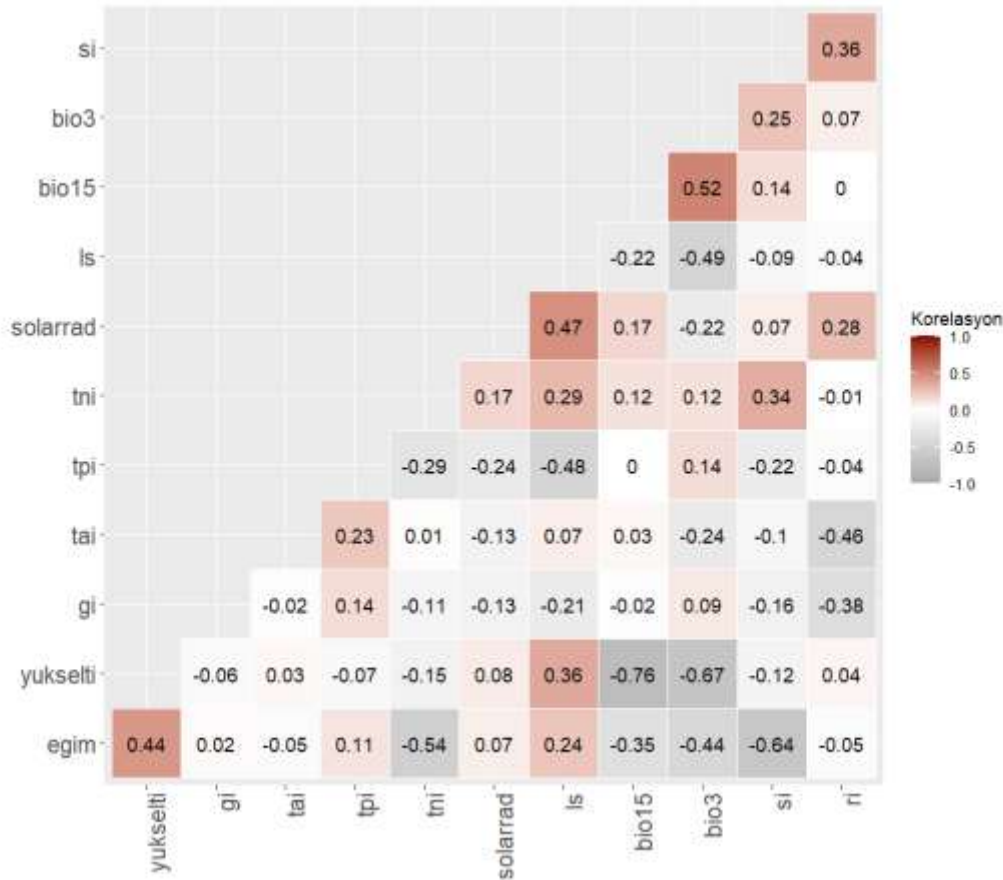
| Kod      | Açıklama                      |
|----------|-------------------------------|
| aysi     | Arazi Yüzü Şekli İndeksi      |
| baki     | Baki                          |
| baki_s   | Baki Sınıfları                |
| bui      | Baki Uygunluk İndeksi         |
| du       | Denizden Uzaklık              |
| egim     | Eğim                          |
| egim_s   | Eğim Sınıfları                |
| ei       | Engebelilik İndeksi           |
| gi       | Gölgelenme İndeksi            |
| ls       | Yamaç Uzunluğu İndeksi        |
| pi       | Pürüzlülük İndeksi            |
| ri       | Radyasyon İndeksi             |
| si       | Sıcaklık İndeksi              |
| sri      | Solar Radyasyon İndeksi       |
| tai      | Topoğrafik Aydınlanma İndeksi |
| tni      | Topoğrafik Nemlilik İndeksi   |
| tpi      | Topoğrafik Pozisyon İndeksi   |
| yükselti | Yükselti                      |

Modelleme sürecine geçilmeden önce, değişkenler arasındaki yüksek korelasyondan kaynaklanabilecek çoklu bağlantı problemini önlemek amacıyla istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle bioiklim değişkenleri arasındaki ilişki düzeyini belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda değişkenler arasında yüksek düzeyde ilişki olduğu tespit edilmiş, bu nedenle faktör analizi uygulanarak temsil gücü yüksek değişkenler belirlenmiştir. Bu ön istatistiksel testlerin tamamlanmasının

ardından, türlerin potansiyel dağılımlarının modellenmesinde Maksimum Entropi (MaxEnt) yöntemi kullanılmıştır. Yöntem, yüksek açıklama gücüne sahip olması ve sınırlı veriyle dahi güvenilir sonuçlar üretebilmesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir (Tekin vd., 2018; Obiakara vd., 2020; Özdemir vd., 2020; Hussein ve Workeneh, 2021; Karakaya ve Yücel, 2021).

### 3.BULGULAR

Tür dağılım modellemesinde, modelin güvenilirliği büyük ölçüde bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilere bağlıdır. Bioiklim değişkenleri arasında sıklıkla yüksek korelasyon ( $r > 0.8$ ) görülmesi, çoklu bağlantı sorununa yol açabilmektedir. Bu nedenle, faktör analizi sonucunda belirlenen bioiklim değişkenleri ile sürekli topoğrafik değişkenler Pearson korelasyon analizine tabi tutulmuş, yüksek korelasyon gösteren değişkenler elenerek modelde kullanılacak bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Bu değişkenlere ait korelasyon katsayıları ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Korelasyon sonucu

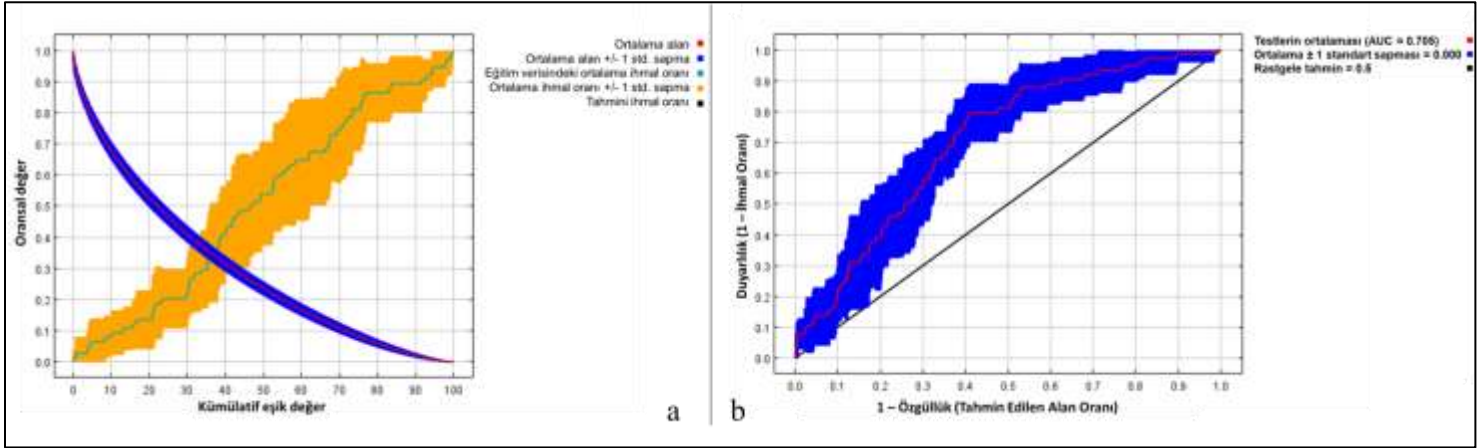
Bu analiz sonucunda, iklimsel ve topoğrafik değişkenler arasından 14 değişkenin modellemede kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu aşamada analizler MaxEnt yazılımı kullanılarak 5 tekrar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bazı değişkenlerin modele anlamlı bir katkı sağlamadığını ortaya koymuştur. Bu değişkenler

modelden çıkarılmış ve türün potansiyel dağılımını daha iyi temsil eden nihai modellerin elde edilmesi amacıyla analizler yeniden yürütülmüştür. Nihai modele dahil edilen değişkenler ve bunların katkı oranları Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Türe ait elde edilen modele katkı sağlayan değişkenler ve katkı oranları

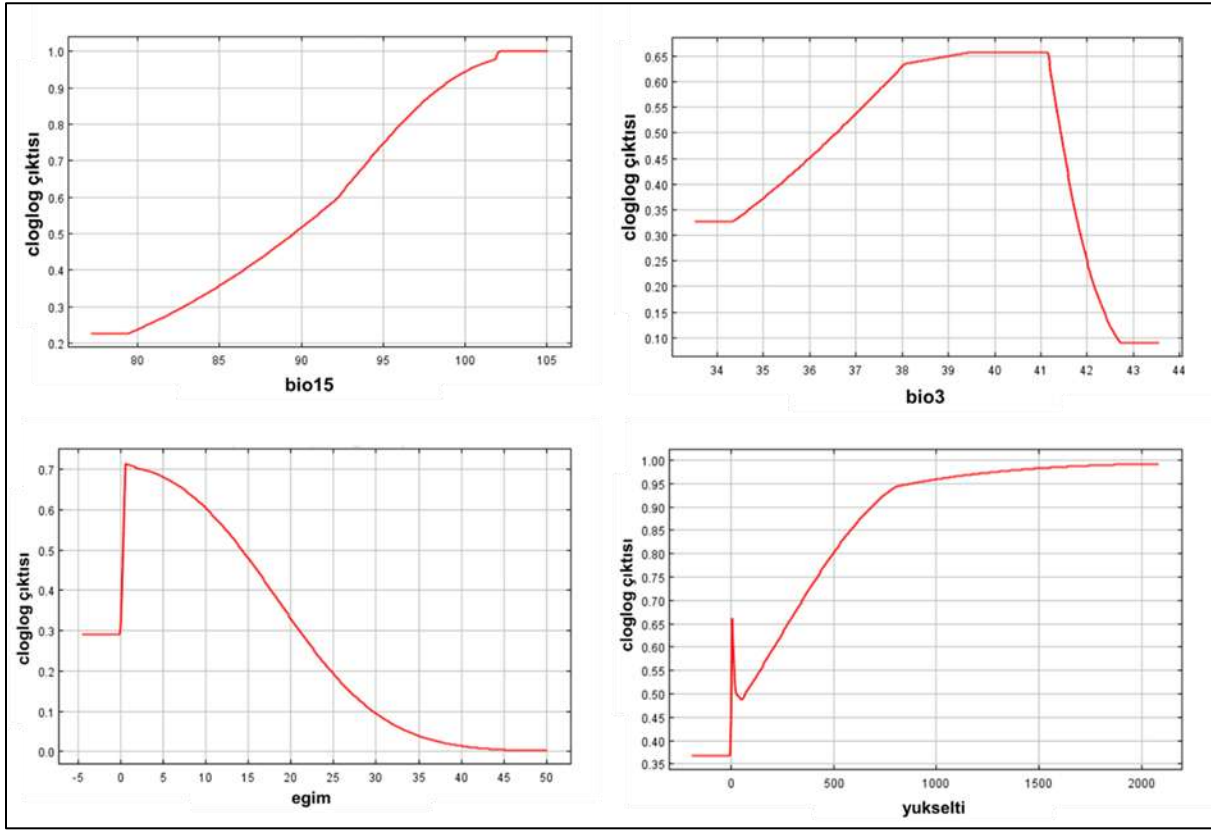
| Değişkenler | Katkı oranları |
|-------------|----------------|
| bio15       | 46.6           |
| egim        | 21.6           |
| bio3        | 18.7           |
| yukselti    | 13             |

Çizelge 3'te görüldüğü üzere modeli oluşturan değişkenler katkı oranlarına göre sırasıyla bio15, egim, bio3 ve yukselti olmuştur. Tekrarlanan analizler üzerinden ortalama alınarak kümülatif eşik değerine bağlı olarak oluşan omisyon grafiği ve ROC eğrisi Şekil 3'te verilmiştir.



**Şekil 3.** a-Türe ait elde edilen modelin omisyon grafiği, b- ROC eğrisi

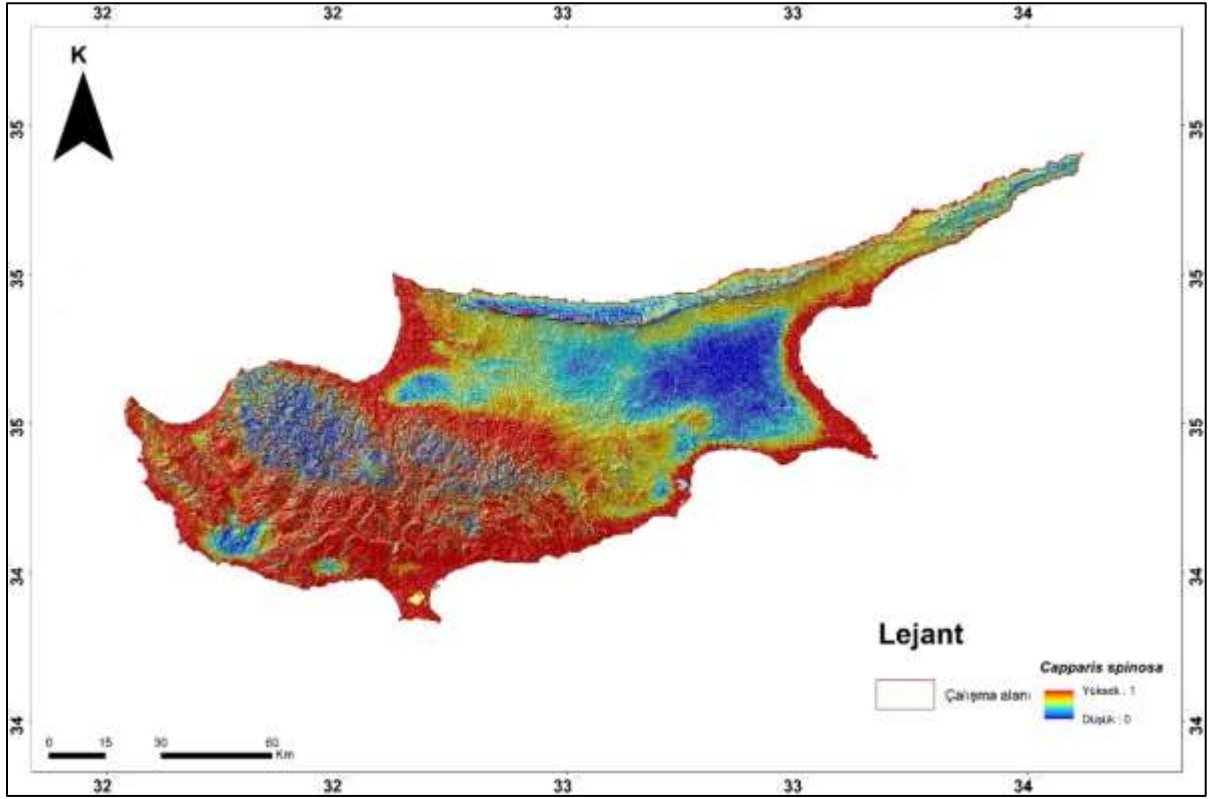
Şekil 3'te görüldüğü üzere modelin ortalama test AUC değeri 0,705'tir. Eğitim veri seti için AUC değeri 0,756 olarak, test veri seti için ise 0,701 olarak hesaplanmıştır. Modeli oluşturan değişkenlere ait marjinal cevaplandırıcı eğriler Şekil 4'te verilmektedir.



**Şekil 4.** Modele katkı sağlayan değişkenlere ait marjinal cevaplandırıcı eğriler

Şekil 4'te yer alan değişkenlere ait eğriler incelendiğinde türün potansiyel uygunluğu, bio15 değişkeninde yaklaşık 80 değerinden itibaren artmaya başlamakta ve bu noktadan sonra sürekli yükselerek 100–105 aralığında maksimuma ulaşmaktadır. Bio3 değişkeninde uygunluk artışı yaklaşık %34–35 değerlerinden itibaren başlamakta, %40–41 civarında ise en yüksek değere ulaşmaktadır. Bu eşikten sonra hızlı bir düşüş göstermektedir. Eğim değişkeninde en yüksek uygunluk 0–2° civarında gözlenmekte, ancak 5°'den sonra belirgin düşüş başlamaktadır. Yükselti değişkeninde ise uygunluk artışı yaklaşık 200 m civarından başlayarak güçlü bir artışla devam etmekte ve 1000 m sonrası maksimuma ulaşmaktadır.

Modeli oluşturan değişkenlere ait cevaplandırıcı eğrilerinden elde edilen bu bilgiler ile türe ait potansiyel dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 5).



**Şekil 5.** Tür için elde edilen potansiyel dağılım haritası

#### 4.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen modelin ortalama test AUC değerinin 0,705 olması, modelin kabul edilebilir düzeyde bir tahmin performansına sahip olduğunu ve tür dağılımının çevresel değişkenlerle anlamlı biçimde açıklanabildiğini göstermektedir Swets (1988). Elde edilen bulgular, *Capparis spinosa* L. türünün dağılımının büyük ölçüde iklimsel ve topoğrafik faktörlere bağlı olarak şekillendiğini ortaya koymaktadır. Model sonuçlarına göre türün dağılımını en fazla etkileyen değişkenler sırasıyla yağış mevsimselliği (bio15), eğim, izotermallik (bio3) ve yükselti olmuştur.

Model sonuçlarında yağış mevsimselliğini temsil eden bio15 değişkeninin en yüksek katkısı sağlaması, *Capparis spinosa* L. türünün yağışın yıl içerisindeki dağılımına duyarlı olduğunu göstermektedir. Uygunluk değerlerinin yüksek bio15 aralıklarında artması, türün yağışın belirli dönemlerde yoğunlaştığı ve uzun kurak dönemlerin görüldüğü Akdeniz iklim koşullarına uyum sağladığını ortaya koymaktadır. Bu durum, türün kuraklığa dayanıklı yapısı ile de uyumludur (Chedraoui vd., 2017). Diğer önemli bir bioiklim değişken olan eş ısı/izotermallik (bio3) de türün potansiyel dağılımını belirleyen faktörler arasında yer almaktadır. Oransal olarak (0–100) ifade edilen bu değişkene ait eğri incelendiğinde tür için en uygun değerlerin 38–41 aralığında olduğu ve yaklaşık 41 seviyesinde maksimum uygunluğa ulaştığı görülmektedir. Bu değer aralığı, günlük (gece–gündüz) sıcaklık farklarının sınırlı olduğu, daha dengeli termal koşullara sahip yetiştirme ortamlarını ifade



etmektedir (Öğüt, 2026). Modeli yapılandıran topoğrafik değişkenlerinden eğim değişkenine ait sonuçlar incelendiğinde ise *Capparis spinosa* L. türü için en yüksek uygunluğun 0–2° aralığında olduğu, eğimin artmasıyla birlikte uygunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, türün daha çok düz ve hafif eğimli alanlarda gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte literatürde türün kayalık ve eğimli alanlarda da yetişebildiği belirtilmekte olup, bu durum türün geniş ekolojik toleransına işaret etmektedir (Faran, 2014). Son olarak yükselti değişkenine ait sonuçlar incelendiğinde, *Capparis spinosa* L. türü için uygunluk değerlerinin yaklaşık 200 m’den itibaren artmaya başladığı ve 1000 m ve üzerindeki rakımlarda maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalarda türün geniş bir yükselti aralığında yayılış gösterdiği belirtilmekte olup, elde edilen bulgular türün geniş toleransı ile uyum göstermektedir (Chedraoui vd., 2017; Najafian vd., 2021).

Türün kurak ve yarı kurak koşullara yüksek adaptasyonu, gelişmiş kök sistemi ve su kullanım verimliliği ile ilişkilidir. Derin ve yaygın kök yapısı sayesinde toprak altı su kaynaklarından etkin biçimde yararlanabilmektedir (Zuo vd., 2012; Gan vd., 2013; Gull vd., 2015). Ayrıca tuzluluğa ve besin açısından fakir, kumlu-çakıllı topraklarda dahi varlığını devam ettirmesi türün geniş bir habitat aralığında yayılış göstermesine olanak tanımaktadır (Özkahraman, 1997; Sakcali vd., 2008). *Capparis spinosa* yalnızca yüksek ekolojik toleransa sahip bir tür değil, aynı zamanda önemli ekosistem hizmetleri sunan bir bitkidir. Erozyon kontrolü ve çölleşmeyle mücadelede etkili olması, özellikle yapısı bozulmuş alanların rehabilitasyonunda kullanılabileceğini göstermektedir (Sakcali vd., 2008; Chedraoui vd., 2017). Ayrıca düşük yanıcılığa sahip olması nedeniyle yangın riskinin azaltılmasında ve yarı kurak alanların yönetiminde potansiyel bir tür olarak değerlendirilmektedir (Neyisci, 1987). Fakat, artan nüfus baskısı, arazi kullanım değişiklikleri ve aşırı otlatma gibi antropojenik etkiler türün doğal popülasyonlarını tehdit edebilmektedir (Ashraf vd., 2018). Bu durum, türün korunması ve sürdürülebilir yönetimi için planlı uygulamaların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda kapari hem ekonomik ve tıbbi kullanımı hem de arazi rehabilitasyonundaki rolü ile dikkat çeken önemli bir türdür.

Sonuç olarak, *Capparis spinosa* L., kurak ve yarı kurak alanlara yüksek uyum yeteneği, geniş ekolojik toleransı ve çok yönlü kullanım potansiyeli ile sürdürülebilir arazi yönetimi açısından önemli bir bitkidir. Bu çalışma ile elde edilen modelleme sonuçları, türün uygun yayılış alanlarının belirlenmesine katkı sağlayarak gelecekte yapılacak koruma, rehabilitasyon ve planlama çalışmalarına bilimsel bir temel sunacaktır.

## KAYNAKLAR

- Asfaw, A., Lemenih, M., Kassa, H., & Ewnetu, Z. (2013). Importance, determinants and gender dimensions of forest income in eastern highlands of Ethiopia: The case of communities around Jelo Afromontane forest. *Forest Policy and Economics*, 28, 1–7.
- Ashraf, U., Chaudhry, M. N., Ahmad, S. R., Ashraf, I., Arslan, M., Noor, H., & Jabbar, M. (2018). Impacts of climate change on *Capparis spinosa* L. based on ecological niche modeling. *PeerJ*, 6, e5792.
- Babulo, B., Muys, B., Nega, F., Tollens, E., Nyssen, J., Deckers, J., & Mathijs, E. (2009). The economic contribution of forest resource use to rural livelihoods in Tigray, Northern Ethiopia. *Forest Policy and Economics*, 11(2), 109–117.
- Belcher, B., Ruiz-Pérez, M., & Achdiawan, R. (2005). Global patterns and trends in the use and management of commercial NTFPs: Implications for livelihoods and conservation. *World Development*, 33(9), 1435–1452.
- Chedraoui, S., Abi-Rizk, A., El-Beyrouthy, M., Chalak, L., Ouaini, N., & Rajjou, L. (2017). *Capparis spinosa* L. in a systematic review: A xerophilous species of multi values and promising potentialities for agrosystems under the threat of global warming. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1845.
- Climate Data. (2026). *Kıbrıs iklim simülasyonu*. <https://en.climate-data.org/asia/cyprus-106/>, Erişim tarihi: 03.012.2025
- Eddouks, M., Lemhardi, A., & Michel, J. B. (2004). Caraway and caper: Potential antihyperglycaemic plants in diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 94, 143–148.
- ESDS. (2026). Earth Science Data Systems database, <https://www.earthdata.nasa.gov/>, Erişim tarihi: 01.2.2026
- Faran, M. (2014). *Capparis spinosa*–The Plant on the Wall. *Medicinal and Aromatic Plants of the Middle-East*, 59-65.
- Fici, S. (2001). Intraspecific variation and evolutionary trends in *Capparis spinosa* L. (Capparaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 228, 123–141.
- Fici, S. (2014). A taxonomic revision of the *Capparis spinosa* group (Capparaceae) from the Mediterranean to Central Asia. *Phytotaxa*, 174, 1–24.
- Fici, S. (2015). A taxonomic revision of the *Capparis spinosa* group (Capparaceae) from eastern Africa to Oceania. *Phytotaxa*, 203, 24–36.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315.

- Gan, L., Zhang, C., Yin, Y., Lin, Z., Huang, Y., Xiang, J., et al. (2013). Anatomical adaptations of the xerophilous medicinal plant, *Capparis spinosa*, to drought conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54, 156–161.
- GBIF. (2026). *Tür varlık verisi*. <https://www.gbif.org/species/7307289>, Erişim tarihi: 10.01.2026
- Gull, T., Anwar, F., Sultana, B., Alcayde, M.A.C., Nouman, W. (2015). *Capparis* species: A potential source of bioactives and high-value components: A review. *Industrial Crops and Products*, 67, 81–96.
- Hadjisterkotis, E., Nahlik, A., & Uloth, W. (2001). The Cyprus mouflon is a threatened species in a biodiversity hotspot area. In *Proceedings of the Third International Symposium on Mouflon* (pp. 71–81). Hungary: Institute of Wildlife Management.
- Hall, C. J., Sytsma, K. J., & Iltis, H. H. (2002). Phylogeny of Capparaceae and Brassicaceae based on chloroplast sequence data. *American Journal of Botany*, 89, 1826–1842.
- Heubach, K., Wittig, R., Nuppenau, E. A., Hahn, K., 2011. The economic importance of non-timber forest products (NTFPs) for livelihood maintenance of rural west African communities: A case study from northern Benin. *Ecological Economics*, 70(11), 1991–2001.
- Hussein, A., & Workeneh, S. (2021). *Modeling the impacts of climate changes on the distribution of aloe vera species in Ethiopia* (pp. 1–19). Research Square.
- Inocencio, C., Rivera, D., Obón, C., Alcaraz, F., & Barrena, J. A. (2006). A systematic revision of *Capparis* section *Capparis* (Capparaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 93, 122–149.
- Jiang, H. E., Li, X., Ferguson, K. D., Wang, Y. F., Liu, C. J., & Li, C. S. (2007). The discovery of *Capparis spinosa* L. (Capparidaceae) in the Yanghai Tombs (2800 years B.P.), NW China, and its medicinal implications. *Journal of Ethnopharmacology*, 113, 409–420.
- Kar, S. P., & Jacobson, M. G. (2012). NTFP income contribution to household economy and related socio-economic factors: Lessons from Bangladesh. *Forest Policy and Economics*, 14(1), 136–142.
- Karakaya, T., & Yücel, E. (2021). Potential distribution modelling and mapping of dog rose (*Rosa canina* L.) in the Nur Mountains of Gaziantep district, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19, 2741–2760.
- KKTC Enformasyon Dairesi. (2025). *Coğrafi veriler*, <https://pio.mfa.gov.ct.tr/cograf-bilgiler/>, Erişim tarihi:15.09.2025
- Lovrić, M., Da Re, R., Vidale, E., Prokofieva, I., Wong, J., Pettenella, D., ... & Mavsar, R. (2020). Non-wood forest products in Europe: A quantitative overview. *Forest Policy and Economics*, 116, 102175.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. doi:10.1038/35002501

- Najafian, S., Mehregan, I., Iranbakhsh, A., Assadi, M., & Fici, S. (2021). *Capparis spinosa* (Capparaceae); a survey on morpho-ecologic variation for different populations of Iran. *Journal of Genetic Resources*, 7(2), 156-165.
- Neyisci T. (1987). Orman yangınlarının önlenmesinde kullanılabilecek yavaş yanan bitki türleri üzerinde bir çalışma. *TÜBİTAK Doğa Dergisi*, 2: 595-604.
- Obiakara, M., Etaware, P., & Chukwuka, K. (2020). Maximum entropy niche modelling to estimate the potential distribution of *Phytophthora megakarya* (Brasier & M. J. Griffin) in tropical regions. *European Journal of Ecology*, 6(2).
- Özdemir, S., Gülsoy, S., & Mert, A. (2020). Predicting the effect of climate change on the potential distribution of Crimean juniper. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 20(2), 133–142.
- Özkahraman, I. (1997). *Caper*. Forest Ministry.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., et al. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Rivera, D., Inocencio, C., Obón, C., Carreño, E., Reales, A., & Alcaraz, F. (2002). Archaeobotany of capers (*Capparis*) (Capparaceae). *Vegetation History and Archaeobotany*, 11, 295–314.
- Sakcali, M. S., Bahadır, H., & Ozturk, M. (2008). Eco-physiology of *Capparis spinosa* L.: A plant suitable for combating desertification. *Pak. J. Bot*, 40(4), 1481-1486.
- Saul, H., Madella, M., Fischer, A., Glykou, A., Hartz, S., & Craig, O. E. (2013). Phytoliths in pottery reveal the use of spice in European prehistoric cuisine. *PLoS ONE*, 8, e70583.
- Shackleton, C. M., & Pandey, A. K. (2014). Positioning non-timber forest products on the development agenda. *Forest Policy and Economics*, 38, 1–7.
- Swets, K.A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.
- Tekin, S., Yalçinkaya, B., Acarer, A., & Mert, A. (2018). Yaban hayatında uydu verilerinin kullanım olanakları üzerine bir çalışma: MaxEnt ile karaca (*Capreolus capreolus* L.)’nın habitat uygunluk modellemesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 147–156.
- Zuo, W., Ma, M., Ma, Z., Gao, R., Guo, Y., Jiang, W., et al. (2012). Study of photosynthetic physiological characteristics of desert plant *Capparis spinosa* L. *Journal of Shihezi University*, 3, 006.

## SAFRANBOLU’NUN ZAMAN DURAKLARI: SAAT KULESİ, MUVAKKİTHANE VE GÜNEŞ SAATİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Doç. Dr. Mehmet MUTLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, mehmetmutlu@karabuk.edu.tr, 0000-0002-7351-0138

### Özet

Osmanlı şehir dokusunda zamanın ölçülmesi ve kamusal alanda ilanı, geleneksel dönemden modernleşme evresine geçişin en somut göstergelerinden biridir. UNESCO Dünya Miras Listesi’nde yer alan Safranbolu, bu tarihsel dönüşümün “zaman durakları” olarak nitelendirilebilecek üç temel anıtını aynı mekânsal düzlemde barındırması bakımından eşsiz bir kültürel peyzaj sunmaktadır. Çalışmanın odağında; farklı dönemlerde inşa edilmiş olmalarına rağmen aynı amaca yönelik işleve sahip olan Saat Kulesi, Muvakkithane ve Güneş Saati yer almaktadır. Safranbolu Kalesi üzerinde yükselen Saat Kulesi, Sadrazam İzzet Mehmet Paşa tarafından 1794-1797 yılları arasında yaptırılmıştır. Yapı, Anadolu’da mekanik aksamı kesintisiz çalışan en eski örnek olması ve “London-George Prior” imzalı mekanizmasıyla batılılaşma döneminin teknik bir dehasını sergilemektedir. Köprülü Mehmet Paşa Camii avlusunda bulunan Muvakkithane ve Güneş Saati ise, zamanın namaz vakitleri çerçevesinde astronomik yöntemlerle takibini sağlayan klasik dönemin temsilcileridir. 17. yüzyılın güçlü sadrazamı Köprülü Mehmet Paşa’nın imzasını taşıyan bu yapılar, güneşin hareketlerine dayalı vakit tayini ile geleneksel İslam bilim geleneğini Safranbolu’nun kalbine taşımıştır. Bu üç yapı, sadece teknik birer ölçüm aracı değil; 17. yüzyılın klasik vakıf sisteminden 19. yüzyılın merkezîyetçi yönetim anlayışına uzanan siyasi ve toplumsal değişimin kentsel simgeleridir. Bildiri kapsamında; yapıların mimari formları ve kentsel imge içindeki rolleri analiz edilecektir. Sonuç olarak Safranbolu, Köprülü Mehmet Paşa’nın klasik mirası ile İzzet Mehmet Paşa’nın yenilikçi hamlesinin kesiştiği, “ezani saatten” modern çalışma düzenine geçişin izlenebildiği nadir bir tarihsel süreklilik örneği olarak literatüre sunulmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Safranbolu, Saat Kulesi, Muvakkithane, Güneş Saati, Köprülü Mehmet Paşa, İzzet Mehmet Paşa.

## SAFRANBOLU’S STATIONS OF TIME: AN EXAMINATION OF THE CLOCK TOWER, MUWAKKITHANE AND SUNDIAL

### Abstract

The measurement and public proclamation of time in the Ottoman urban fabric stands as one of the most concrete indicators of the transition from the traditional era to the modernization phase. Safranbolu, a UNESCO World Heritage site, offers a unique cultural landscape by hosting three fundamental monuments that can be characterized as “time stops” of this historical transformation within the same spatial plane. The focus of this study lies on the Clock Tower, Muwakkithane (Timekeeping House), and Sundial, which, despite being constructed in different periods, serve a shared functional purpose. The Clock Tower, rising above the Safranbolu Castle, was commissioned by Grand Vizier Izzet Mehmet Pasha between 1794 and 1797. As the oldest example in Anatolia with a mechanical system that has operated uninterruptedly, the structure exhibits the technical genius of the Westernization period with its “London-George Prior” signed mechanism. In contrast, the Muwakkithane and Sundial located in the courtyard of the Köprülü Mehmet Pasha Mosque represent the classical period, enabling the tracking of time through astronomical methods within the framework of prayer hours. Bearing the signature of the powerful 17th-century Grand Vizier Köprülü Mehmet Pasha, these structures brought the traditional Islamic scientific heritage of time determination based on solar movements to the heart of Safranbolu. These three structures are not merely technical measurement tools; they are urban symbols of political and social change extending from the classical 17th-century endowment (waqf) system to the centralized administrative approach of the 19th century. Within the scope of this paper, the architectural forms of the structures and their roles within the urban image will be analyzed. In conclusion, Safranbolu is presented to the literature as a rare example of historical continuity where the classical legacy of Köprülü Mehmet Pasha intersects with the innovative move of Izzet Mehmet Pasha, allowing for the observation of the transition from “ezani” (prayer-based) time to the modern working order.

**Keywords:** Safranbolu, Clock Tower, Muwakkithane, Sundial, Köprülü Mehmet Pasha, Izzet Mehmet Pasha.



## 1. GİRİŞ

UNESCO Dünya Miras Listesi'nde yer alan Safranbolu, klasik Osmanlı şehir dokusunun ve sivil mimari birikiminin günümüze dek korunabildiği en nitelikli yerleşimlerin başında gelmektedir. 18. ve 19. yüzyıllarda sosyo-ekonomik bir merkez olarak yükselen kent, sadece konut mimarisiyle değil, kamusal alandaki anıtsal yapılarıyla da imparatorluk coğrafyasının mekânsal karakterini yansıtır. Osmanlı kültür dünyasında zaman kavramı, hem ibadet vakitlerinin tayini gibi dini bir gereklilik hem de toplumsal hayatın ve bürokrasinin tanzimi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, Safranbolu'nun kentsel silüetinde belirleyici olan Saat Kulesi, zamanın teknik ölçüm merkezi olan Muvakkithane ve astronomik bir miras niteliğindeki Güneş Saati; yerleşimin sadece fiziksel değil, zihniyet dünyasındaki “zaman” algısını da somutlaştıran mimari duraklardır. Bu çalışma, söz konusu yapıların mimari özelliklerini ve kentsel doku içerisindeki konumlarını inceleyerek, Safranbolu'nun bir Osmanlı yerleşimi olarak zamanla kurduğu estetik ve fonksiyonel ilişkiyi irdelemeyi amaçlamaktadır.

Safranbolu Saat Kulesi'nin banisi olan İzzet Mehmet Paşa, Zülüflü baltacılar İbrâhim Ağazâde Ali Ağa'nın oğlu olup, 1743 (H.1156) yılı ortalarında Safranbolu'da doğmuştur (Özcan, 2001, s. 560). Kısa bir süre sonra İstanbul'a giden İzzet Mehmet Paşa, devletin önemli kademelerinde görev aldıktan sonra 20 Ekim 1794 (H.25 Rebûlevvel 1209) tarihinde dönemin padişahı III. Selim tarafından sadrazamlık görevine getirilmiş ve bu görevine sadrazamlıktan azledildiği tarih olan 30 Ağustos 1798 (H.18 Rebûlevvel 1213) tarihine kadar devam etmiştir. Görevden alınmasının ardından Sakız'a sürülen İzzet Mehmet Paşa, daha sonra kendisine gelir kaynağı olarak ayrılan Manisa'daki mukataasına gönderilmiş ve 9 Eylül 1812 tarihinde (H.2 Ramazan 1227) hayatını burada kaybetmiştir (Özcan, 2001, s. 560). İzzet Mehmet Paşa'nın Manisa'daki mezarı zaman içinde kaybolmuş, mezar taşı ise Manisa Mevlevihanesi'nde bulunmuştur. Mezar taşı yakın zamanda Mevlevihâne'den alınarak Safranbolu'da, banisi olduğu İzzet Mehmet Paşa Camii'nin avlusuna konulmuştur (Deniz, 2011, s. 35). Çevresinde tedbirli, cömert ve halim selim bir şahsiyet olarak bilinen İzzet Mehmet Paşa (Özcan, 2001, s. 560), sadrazamlık makamında bulunduğu süre zarfında Safranbolu'da, bu çalışmanın odağını teşkil eden saat kulesiyle birlikte önemli imar faaliyetlerinde bulunmuştur.

Arnavutluk'un Berat sancağına bağlı Rudnik köyünde doğan Köprülü Mehmet Paşa, Safranbolu Eski Çarşı bölgesinde kendi adını taşıyan bir külliye inşa ettirmiştir. IV. Murat döneminde merkezi yönetimde görev alan Mehmet Paşa, bir süre sonra taşradaki süvari birliklerine atanarak Amasya'nın Köprü (Vezirköprü) kasabasına yerleşmiş; “Köprülü” unvanını da burada ikamet etmesi sebebiyle almıştır. Paşa, 31 Ekim 1661 (H. 7 Rebûlevvel 1072) tarihinde padişahla birlikte bulunduğu Edirne'de vefat etmiştir (İlgürel, 2002, s. 258, 259). Kayıtlarda Safranbolu ile doğrudan bir memleket veya görev bağı görülme de paşanın şehirle olan irtibatı hakkında çeşitli görüşler mevcuttur. Bunlardan en yaygını, gözden düştüğü bir dönemde Safranbolu'ya

sürüldüğü ve burada yaşadığı süre zarfında şehre bir hatıra bırakmak amacıyla, vefat ettiği yıl olan 1661’de kendi adıyla anılan camiyi tamamlatmış olmasıdır. Osmanlı’da “Köprülüler Devri”ni başlatan bu kudretli sadrazamın kurduğu vakıf, caminin inşasından yaklaşık 200 yıl sonra (1857-58) çalışmamızın odağını oluşturan muvakkithaneyi külliyeeye dahil etmiştir. Muvakkithanenin de bulunduğu Köprülü Mehmet Paşa Camii’nin avlusunda yer alan Güneş Saati’de muhtemelen muvakkithane ile aynı dönemde yapılmış olmalıdır.

Günümüzde ilçenin en ilgi çekici kültür varlıkları arasında yer alan bu yapıların temel ortak özelliği, özgün niteliklerini muhafaza ederek günümüze sağlam bir şekilde ulaşmış olmalarıdır. Bu bağlamda güneş saati, yalnızca fiziksel varlığını korumakla kalmayıp bugün dahi zamanı doğru bir biçimde göstermeyi sürdürmektedir. Aynı avluda konumlanan muvakkithane ise zamana bağlı olarak asli işlevini yitirmiş olsa da yakın döneme kadar kütüphane olarak değerlendirilmiş, günümüzde ise caminin "imam odası" olarak hizmete sunulmuştur. Öte yandan, Osmanlı Devleti’nin Anadolu’da inşa ettiği ilk saat kulesi olma vasfını taşıyan Safranbolu Saat Kulesi (Acun, 2011, s. 7), işlevselliğini bugün de aktif olarak korumaktadır. Bahsi geçen yapılara dair özet veriler Tablo 1’de bir araya getirilmiştir.

**Tablo 1.** Safranbolu’daki zaman tespit yapıları ile ilgili bilgiler

| Yapının İsmi | Banisinin                         |              |             | Yapının     |
|--------------|-----------------------------------|--------------|-------------|-------------|
|              | İsmi                              | Doğum Tarihi | Ölüm Tarihi | İnşa Yılı   |
| Saat Kulesi  | İzzet Mehmet Paşa                 | 1743         | 1812        | 1794-97     |
| Muvakkithane | Köprülü Mehmet Paşa Vakfı         | -            | -           | 1857-58     |
| Güneş Saati  | ? (Köprülüzâde Mehmet Paşa Vakfı) | -            | -           | ? (1857-58) |

## 2. SAFRANBOLU’NUN ZAMAN DURAKLARI

### 2.1. Saat Kulesi

İslam medeniyetinde zaman mefhumu, yalnızca çizgisel bir akış değil, ibadetlerin ifasından toplumsal düzenin inşasına kadar her alanda belirleyici olan kutsal bir ölçüdür. Namaz vakitlerinin tayini, ramazan ayının takibi ve hac mevsiminin belirlenmesi gibi temel dini vecibeler, Müslüman astronom ve muvakkithleri zamanı en hassas şekilde ölçmeye sevk etmiştir. Bu durum, İslam coğrafyasında astronomi ilminin gelişmesine ve cami külliyelerinin bir parçası olan muvakkithanelerin doğmasına zemin hazırlamıştır. Zamanın bu disiplinli yönetimi, aynı zamanda medeniyetin çalışma ahlakını ve gündelik yaşam ritmini de şekillendirmiştir. Şehir meydanlarında yükselen saat kuleleri ise bu köklü zaman bilincinin mimari birer anıta dönüşmüş hali olup hem kamusal bir hizmeti hem de vaktin değerine dair kolektif bir farkındalığı simgelemektedir.

Avrupa’da 14. yüzyılda kurumsallaşan saat kulesi geleneğinin Osmanlı coğrafyasındaki tezahürü, 16. yüzyılın sonlarına, yani Kanuni Sultan Süleyman sonrası döneme tarihlendirilmektedir (Acun, 1994, s. 5). Osmanlı’da saat kulesi ilk olarak Banyaluka Ferhat Paşa Camii’nde (1577) karşımıza çıkmaktadır (Ayverdi, 1981, s. 41).

Bununla beraber, Osmanlılarda saat kulesi inşası 18. yüzyıl, özellikle de 19. yüzyılda yaygınlaşmıştır (Yazıcı, 2011, s. 98). İstanbul’da bulunan saat kuleleri öncelikle halka hitap etmeyen meydanlara yapılmıştır. İlk saat kulesi örnekleri Dolmabahçe Sarayı Saat Kulesi, Yıldız Sarayı Saat Kulesi ve Şişli Etfal Hastanesi Saat Kulesi gibi belirli kuruluşlara yönelik olarak inşa edilmiştir (Cansever, 2009, s. 17-18).

Safranbolu Saat Kulesi, eski Hükümet Binası’nın arkasında, kale olarak isimlendirilen yerde bulunmaktadır. Safranbolu’nun yetiştirdiği en önemli devlet adamlarından birisi olan İzzet Mehmet Paşa, Safranbolu’da inşa ettirdiği külliye ve tekke için zengin vakıflar oluşturmuş ve bağışlar yapmıştır (Ed. Yüceer, 2014, s. 61). Saat kulesinin üzerinde herhangi bir kitabe bulunmamakla beraber yapının banisi II. Selim’in sadrazamlığını da yapmış olan İzzet Mehmet Paşa olarak kabul edilir (Tunçözgür, 1999, s. 61). Sadrazam İzzet Mehmet Paşa’nın, 25 Recep H. 1212 / M. 13.01.1798 tarihli vakfiyesinin Türkçe çevirisinin 17. sayfasında, *“Zeferanbolu Kasabasında kain Camii Şerifi mezkur derununda vaz’eylediğim iyad tabir olunur bir kebir saat ile kasaba-i mezbure kalasına müceddeden vaz olunması irade olunan diğer bir kebir saatin lede’l-iktiza ta’mir ve termimleri için saatçilik fenninde mahir ve mikate alim bir kimse saatçi tayin olunup beher yevm vakt-i gurubde zıkr olunan saatleri, kurub ve lede’l -hace tamir ve termim dahi idiüp galle-i vakfi mezkurumdan yevmi onbeş akçe vazifeye mutasarrıf ola”* (Deniz, 2011, s. 37-38) ifadeleri geçmektedir<sup>1</sup>.

Vakfiyede geçen “müceddeden vaz’ olunması” (yeniden/baştan kurulması) ifadesi, bazı tereddütleri de beraberinde getirmektedir. Çünkü bu ifade genellikle bir şeyin daha önce var olduğunu ancak zamanla harap olduğunu, yok olduğunu veya işlevini yitirdiğini, bu yüzden “yeniden” yapıldığını anlatmak için kullanılır (Özkurt, 2025, s. 120). Öte yandan Osmanlı bürokratik dilinde “müceddeden” ifadesi bazen “daha önce eşi benzeri olmayan bir hayratın yepyeni bir şekilde vücuda getirilmesi” anlamında da kullanılabilir (Url 1). Burada daha erken tarihli bir saat kulesinin varlığıyla ilgili daha öncesine dayanan herhangi bir bilgi ve belge bulunmadığı için bu ifade burada muhtemelen “eskiyi canlandırmak” anlamında değil, “yeni bir eserle orayı şerefliendirmek” manasında kullanılmış olmalıdır.

Saat kulesinin gövde kısmı bütünüyle moloz taş malzeme kullanılarak inşa edilmiştir. Yapımında kullanılan malzemenin, çevredeki kale kalıntılarından devşirilerek elde edilmiş olması kuvvetle muhtemeldir (Ongun, 1936: 62). Yaklaşık 4,65 x 4,65 m ölçülerindeki kare plana sahip kule, ortalama 1 m kalınlığındaki duvarlar üzerine yükselmekte ve yukarıya doğru hafif bir daralma göstererek kütleli bir dinamizm sunmaktadır. En

<sup>1</sup> Metnin günümüz Türkçesiyle anlamı şöyledir: “Safranbolu kasabasında bulunan adı geçen caminin (Köprülü Mehmet Paşa Camii) içine yerleştirdiğim ‘iyad’ (iade/kurmalı) denilen bir büyük saat ile kasabanın kalesine yeniden kurulması istenen diğer bir büyük saatin, gerektiğinde tamir ve bakımlarının yapılması için; saatçilik tekniğinde uzman ve vakit hesaplama ilmini (mikat) bilen bir kişi ‘saatçi’ olarak atanmalıdır. Bu kişi, her gün gün batımı vaktinde söz konusu saatleri kurmalı, ihtiyaç duyulduğunda onarımlarını yapmalı ve bu hizmetine karşılık vakfımın gelirinden günlük 15 akçe maaş almalıdır.”

üstte yer alan köşk bölümüne kadar oldukça sade bir cephe düzenlemesi sergileyen yapıya; batı cephesinde konumlanan, yarım daire kemerli bir kapı vasıtasıyla giriş sağlanmaktadır (Şekil 1).



Kuzeydoğudan görünüş



Batıdan görünüş

Şekil 1. Safranbolu Saat Kulesi'nin kuzeydoğudan ve batıdan görünüşü

Kule gövdesi; her bir cephede yer alan ve iç mekândaki merdiven akışına paralel olarak farklı kotlara yerleştirilmiş üçer adet mazgal pencere ile aydınlatılmaktadır. Kulenin üst yapısı, dört yöne doğru geniş saçakları bulunan bir kırma çatı ile örtülmüş; tepe noktası ise bir alem ile nihayetlenmiştir.

İç mekândaki merdiven sistemi, en üst kısımdaki köşk bölümüne kadar kesintisiz devam etmektedir. Köşk bölümü; gövdedeki taş dokudan farklı olarak ahşap ve kerpiç malzeme ile inşa edilmiştir. Bu mekânın iç çevresi, pencere alt kotuna kadar iki kademeli bir sedir düzenlemesiyle çevrelenmiştir. Köşkün dört yöne açılan ikişer adet penceresi bulunmaktadır. Üç kademeli bir tasarıma sahip olan bu pencerelerin orta bölümleri çift kanatlı açıklıklardan oluşurken; alt ve üst bölümleri ise baklava dilimli ahşap çıtaların birbirine geçirilmesiyle elde edilen geometrik bir kafesleme şebekesi (ajur) ile hareketlendirilmiştir.

Saat mekanizması, köşk mekânının güney kısmına yerleştirilmiştir. Yaklaşık bir haftalık zemberek kapasitesine sahip olan bu mekanizma, özel bir kurma kolu vasıtasıyla işletilmektedir. Saatin 1965 yılından günümüze kadar tüm bakım ve kurma işlemlerini, kendisini bu zanaata vakfeden İsmail Ulukaya titizlikle gerçekleştirmektedir. Mekanik aksamın yanı sıra kadran tasarımında Arabi rakamların kullanılmış olması, eserin inşa edildiği

dönemin estetik ve kültürel karakterini yansıtan kritik bir ayrıntıdır. Safranbolu Saat Kulesi, günümüzde de aslına uygun şekilde ve sağlıklı bir biçimde çalışmaya devam etmektedir.

## 2.2. Muvakkithane

Muvakkithaneler, saat ve zaman ayarlamalarının yapıldığı, takvimlerin düzenlendiği kurumlar olarak ibadet zamanının tayin edilmesine verilen önemin önemli bir göstergesidir (Yılmaz, 2011, s. 41). Namaz vakitlerinin güneşe göre belirlenmesi ve kible yönünün tayini muvakkithane ihtiyacının Emeviler döneminde ortaya çıkmasına yol açmıştır (Eroğlu vd., 2011, s. 217). Zaman ölçme bilgisi dışında matematik ve astronomi öğretilen birer merkez olma özelliğine de sahip olan muvakkithaneler, hemen her şehir ve kasabada cami veya mescitlerin bahçesinde, genellikle küçük bir oda olarak camileri çevreleyen avlu duvarlarının ana caddelere bitişik bir kenarına yerleştirilmişlerdir. Hemen hepsi tek katlı, tek odadan oluşan büyük pencereleri olan yapılardır (Zorlu ve Yılmaz, 2011, s. 270). Muvakkithanelerde güneş saati, irtifa tahtaları, usturlap, pusula, kıblenüma, periyodik zaman liste ve takvimler de bulunurdu (Eyice, 1983, s. 15-24; Ünver, 1994, s. 217-257). Safranbolu'nun Çarşı bölgesinde ve Çeşme mahallesinde bulunan muvakkithane, Köprülü Mehmet Paşa Külliyesi'nin bir elemanı olarak çok daha sonraki bir dönemde inşa edilmiştir. Caminin üzerinde inşa tarihini veren bir kitabe bulunmamaktadır. Bununla beraber, caminin 1658-1662 tarihleri arasında inşa edilmiş olabileceği değerlendirilmektedir (Gökoğlu, 1952, s. 243). Ulukavak'ın Yazıcıoğlu'ndan aktardığına göre, bağlı bulunduğu Köprülü Mehmet Paşa Vakfı'nın mühründe bulunan tarih bilgisine dayanarak, caminin H.1072 (M.1661-62) yılında ibadete açıldığını söylemek mümkündür (Kuş, 2015, s. 463). Caminin avlusunun kuzey bölümünde bir şadırvan, batı tarafında bir muvakkithane ve avlunun orta kısmında da güneş saati yer almaktadır. Külliye elemanlarından bir diğeri olan ahşap medrese ise (Tunçözgür, 1999, s. 48) günümüze ulaşamamıştır. Muvakkithane caminin avlusunun batı tarafında bulunmaktadır. Kuzey-güney doğrultusunda üç bölümlü bir yapı olarak kurgulanmıştır. Simetrik tasarım özelliği gösteren muvakkithanenin giriş kapısı üzerinde taş malzemeden yaklaşık 25 x 55 cm ölçülerinde bir kitabe yer almaktadır (Şekil 2). Kabartma tekniğinde, Osmanlı Türkçesi kullanılarak celî talik hatla yazılmış kitabede ikişer kartuşlu olarak dört satır halinde düzenlenmiş inşa kitabesi yer almaktadır. Kitabenin transkripsiyonu şöyledir (Karaca vd., 2013, s. 30):

*Bu vakfı Köprülüzâde Mehmed Paşa merhumun  
Yapıldı câmisi yanına bir de kütübhâne  
Tanîn-endâzdır her saatin rakkası gerdüne  
Mücevher sâat-âsâ bak Kerîmi yazdı târihin*

*Oluş bünyâd kıldı cümle ehl-i beldeyi ihya  
Bekada rûh-ı pâkin rahmete gark eyleye Mevlâ  
Bu yerlerde nazırın görmemiştir dîde-i dünyâ  
Binâ oldu ne âlâ bu muvakkithâne-i vâlâ - 1274*





Ön cephe



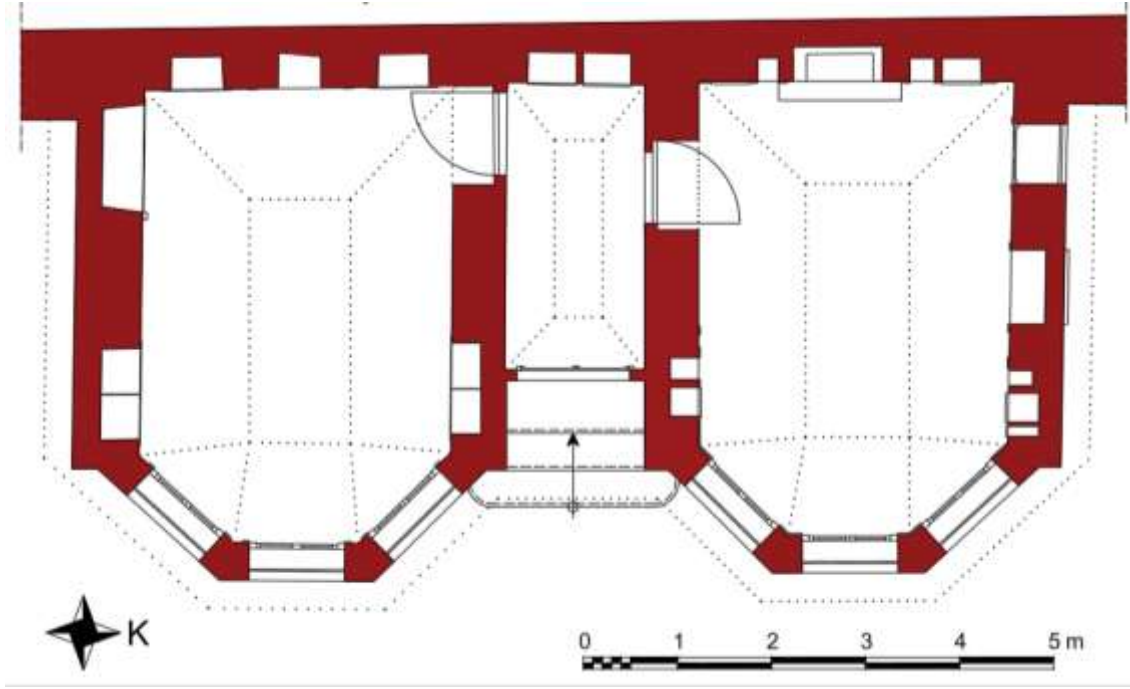
Kitabe (Karacakaya vd., 2013, s. 30)

Şekil 2. Muvakkithane ön cephesi ve kitabesi

Kitabesine göre Köprülüzâde Mehmet Paşa Vakfı tarafından inşa ettirilen yapı H. 1274 (M. 1857-58) yılında tamamlanmıştır. Kitabede yer alan “*Yapıldı câmisi yanına bir de kütübhâne*” ve “*Tanîn-endâzdir her saatin rakkası gerdûne*” dizeleri, binanın işlevsel olarak hem kütüphane hem de muvakkithane amaçlı inşa edildiğini belgelemektedir. Metni Şair Kerimî tarafından kaleme alınan kitabede; şair, yalnızca noktalı harflerin hesaplandığı ‘mücevher ebce’ tekniğini kullanarak yapının inşa tarihini sanatsal bir formülle de kayıt altına almıştır.

Avlunun batı kanadında, kuzey-güney aksı üzerinde boylamsal bir yerleşim sunan yapı; merkezî bir aks üzerinden ulaşılan tam simetrik bir plan şemasına sahiptir. Yapının malzeme programında; girişin yer aldığı ön (doğu) cephede kesme taş, diğer cephelerde ise moloz taş tercih edilmiştir. Mekânsal kurgu, merkezde dikey yönelimli bir giriş holü ile bu birimin her iki yanına eklenen müstakil mekânlardan oluşmaktadır. Daha dar tutulmuş dikdörtgen formlu giriş holü bir geçiş alanı işlevi görürken; bu alanın iki yanında konumlanan ana mekânlar, ön cephede dışa doğru geniş açılı kırılmalar yaparak poligonal (çokgen) olarak sonlanmaktadır. Bu cephe düzenlemesi, iç mekânda panoramik bir görüş açısı sağlarken; dış kütlede ise yapıya hareketli ve plastik bir değer kazandırmaktadır (Şekil 3, 4).

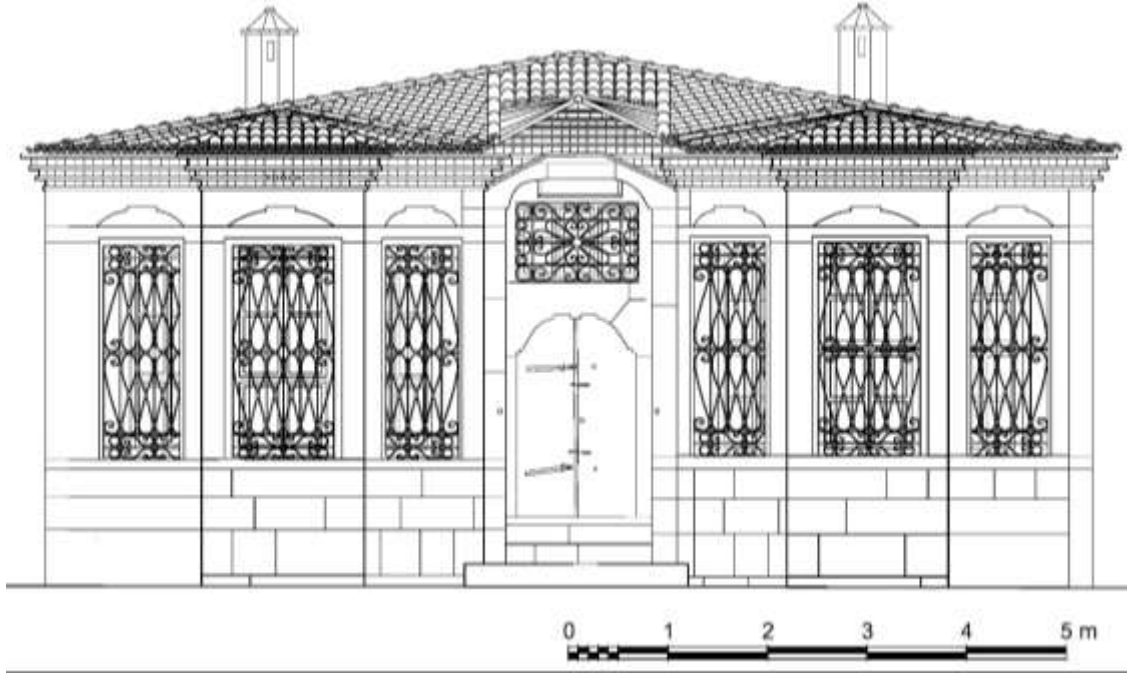




Şekil 3. Safranbolu Köprülü Mehmet Paşa Camii Muvakkithanesi Planı

(M. Mutlu, 2026, Z. Koshageldi, E. Dandayeva ve A. Bolatkyzy'nin çalışmalarından işlenerek)

Üç rıhtlı bir merdivenle ulaşılan giriş, geniş açılı kırılmaların oluşturduğu cephe hattından 95 cm içeride konumlandırılmıştır. Giriş açıklığının üst bölümü Bursa kemeri ile geçilmiş; kapı üzerindeki taş atkı (lentosu) da yine Bursa kemeri formunda şekillendirilmiş bir monoblok taştan teşkil edilmiştir. Giriş holü, kapı üzerine yerleştirilen yatay dikdörtgen formlu bir pencere ile aydınlatılmaktadır. Bu pencerenin üzerinde ise profilli silmelerle sınırlandırılmış, dikdörtgen bir çerçeve içine alınan inşa kitabesi yer almaktadır (Şekil 5).



Şekil 4. Safranbolu Köprülü Mehmet Paşa Camii Muvakkithanesi Giriş Cephesi  
(E. Dandayeva'nın çalışmasından işlenerek, 2026)

Yaklaşık 3,05 x 1,50 m ölçülerindeki giriş mekânının üst örtüsü, içten aynalı tonoz ile kapatılmıştır. Mekânın giriş aksındaki kısa kenarında iki adet gömme dolap nişi bulunmaktadır. Her iki yan duvarda yer alan kapılar vasıtasıyla ana mekânlara geçiş sağlanmaktadır (Şekil 3). Her iki birim de özgün kurguda aynı boyutlarda (4,85 x 3,30 m) inşa edilmiş olsa da pencere sayıları ile duvar nişlerinin düzenlemesi bakımından farklılık gösterirler. Yapının kuzey kanadında yer alan ikinci oda; boyutları bakımından güneydeki oda ile benzerlik gösterse de mekânsal düzenleme açısından belirgin farklılıklara sahiptir. Koridordan (holden) odaya girişi sağlayan kapı, güneydeki odanın kapısıyla simetrik bir aksta tutulmamış, bir miktar batı yönüne kaydırılmıştır. Mekânın batı duvarının merkezine yakın bir noktada bir ocak nişi konumlandırılmıştır (Şekil 6). Kuzey duvarının batı tarafına yerleştirilen pencere açıklığı, güneydeki mekânda bulunmayan ve iki oda arasındaki simetriyi bozan önemli bir detaydır.

Odanın doğu cephesindeki poligonal (kırıklı) düzenleme, güneydeki birimle tam bir uyum sergilemektedir. Ancak duvar yüzeylerindeki niş organizasyonu farklılık arz eder: Ocağın yer aldığı batı duvarında üç; odaya girişin sağlandığı güney duvarında iki, tekli pencerenin bulunduğu kuzey duvarı üzerinde ise farklı genişliklere sahip dört adet niş yer almaktadır. Bu niş sayıları ve yerleşimleri, yapının genelindeki simetri anlayışının oda içindeki duvar düzenlemelerinde esnetildiğini göstermektedir. Üst örtü sistemi, diğer mekânlarda olduğu gibi içten aynalı tonoz formuyla tamamlanmıştır (Şekil 5).



Muvakkithane giriş düzenlemesi



Koridordan güneydeki odaya geçiş kapısı



Güneydeki odanın tavanı



Kuzeydeki odanın tavanı

Şekil 5. Muvakkithane cephe ve iç bölümünden görseller

Yapının kuzey odasının kuzey duvarında, eksene yakın bir noktada konumlanan nişin yüksekliği ve dış dünyaya açılıyor olması (Şekil 6), bu birimin bir kapı olabileceği ihtimalini düşündürmektedir. Ancak yapının genelindeki kapı ve pencere açıklıklarında gözlemlenen nitelikli işçilik ve söve düzenlemesinin bu kısımda görülmeysi, söz konusu açıklığın muhdes (sonradan açılmış) olma ihtimalini güçlendirmektedir.

Yapı kitabesinde yer alan ifadeler doğrultusunda, mekânlardan birinin kütüphane olarak tasarlandığı bilinmektedir. Bu veriden hareketle; kuzeydeki odanın kütüphane işleviyle kullanıldığı ve muhtemelen daha sonraki bir dönemde dışarıyla doğrudan bağlantı sağlamak amacıyla bu muhdes kapı ile dışarıya açıldığı değerlendirilmektedir.



İç mekân batı duvarı



İç mekân kuzey duvarı



Kuzey (Sağ yan) cephe



Kuzeydoğudan görünüş

Şekil 6. Muvakkithane'nin dış cephe ve kuzey odasından iç mekân görselleri

Cami avlusunun güney-kuzey aksındaki doğal eğimi sebebiyle, yapının kuzey kanadında oluşan kot farkından yararlanılarak bu bölümün altında bir bodrum katı oluşturulmuştur. Kuzey cephenin köşe noktasından erişilen bu mekân, oldukça basık bir kurguya sahip olup yaklaşık 1,75 m yüksekliğindedir. Bodrum kat giriş açıklığının üst bölümü, üzengi noktaları profil silmelerle hareketlendirilmiş yekpare bir taş lento (üst eşik) ile geçilerek yapı bütünündeki estetik dil korunmuştur (Şekil 6).

Yapı, cephe kurgusunda hâkim olan sade ama plastik değeri yüksek bir mimari dil sunmaktadır. Muvakkithane mimarisinin karakteristik bir özelliği olarak, pencereler düşey yönelimli ve yüksek tutulmuş, böylece iç mekâna maksimum ışık alımı ve avluya hâkimiyet sağlanmıştır. Ön cephenin ana belirleyicisi olan bu açıklıklar; yekpare taş bloklardan oluşan söve, lento ve parapetlerle sınırlandırılmıştır (Şekil 2, 4, 5, 6). Pencereyi çevreleyen bu taş unsurların cephe yüzeyinden bir miktar geride tutulmasıyla, çizgisel bir vurgu ve derinlik etkisi elde edilmiştir. Tamamı nitelikli ferforje parmaklıklarla korunan pencerelerin lento üzerindeki alınlık



kısımları, yekpare taş yüzeyde yivli/silmeli bir Bursa kemeri formuyla sonlandırılmıştır. Bu sağır kemer detayları, cephenin masif etkisini kırarak yapıya hareket kazandırmaktadır.

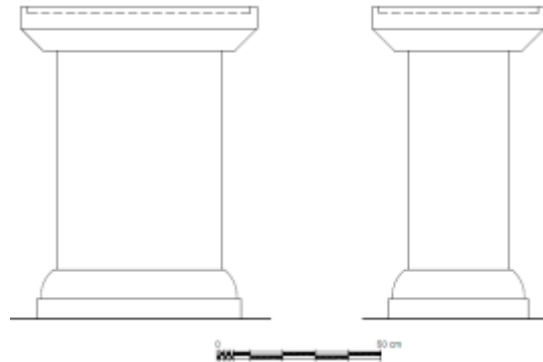
İç mekânda aynalı tonozlarla geçilen üst örtü sistemi, dış kütlede kırma çatı formuyla tamamlanmaktadır. Yapının saçak düzenlemesi, beş sıra tuğla malzemenin kademeli olarak dışa taşırılmasıyla oluşturulan kirpi saçak tipindedir. Çatı yüzeyi ise geleneksel dokuya uygun olarak alaturka kiremit ile kaplanmıştır.

Köprülü Mehmet Paşa Camii'nin müştemilat birimleri arasında yer alan yapı, güncel durumda cami görevlileri tarafından çalışma odası olarak kullanılmaktadır.

### 2.3. Güneş Saati

Belirli bir başlangıç noktasına göre zamanı tayin eden saat; güneş, kum, yağ ve su prensibiyle çalışan en ilkel formlarıyla MÖ 3000-2000 yıllarından itibaren Mezopotamya, Mısır, Hindistan ve Çin medeniyetlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Acun, 1994, s. 3). Güneş saati, dik bir çubuğun gölgesinin güneşin hareketine bağlı olarak bir zemin kadranı üzerine düşmesi prensibiyle çalışmakta ve bu gölge vasıtasıyla zamanı göstermektedir (Arit, 1997, s. 74). Güneş saati kullanımı Roma dünyasında mevcut olsa da bu araçlar, İslam coğrafyasında üretilen örneklerin ulaştığı teknik detay ve hassasiyetin gerisinde kalmıştır. İslam hukukunda namaz ve oruç gibi ibadetlerin temel şartının 'vakit' olması, zaman ölçümünü hayati bir gereklilik haline getirmiş; bu durum Müslüman astronomların çok daha karmaşık ve kesin sonuçlar veren güneş saatleri geliştirmesine zemin hazırlamıştır (Acun, 2011, s. 6). Güneş saatleri, 16. yüzyılda mekanik saatlerin yaygınlaşmaya başlamasıyla giderek önemlerini kaybetmiş olsalar da günümüzde eğitim ve dekorasyon amaçlı işlevlerini sürdüren çok sayıda örnek mevcuttur (Tabak ve Tekinalp, 2011, s. 121).

Çalışmamıza konu olan güneş saati; Safranbolu Köprülü Mehmet Paşa Camii'nin avlusunda, muvakkithane yapısının karşısında yer almaktadır. Günümüzde açık alanda bulunmakla birlikte demir parmaklıklarla koruma altına alınan güneş saatinin, zemine oturan temel kaidesi ile kadran bölümü orijinaldir; ancak gövde ve kadranın oturduğu kısımlar sonradan yenilenmiştir.



Şekil 7. Güneş Saati görünüşleri (M. Mutlu, 2026)



Köprülü Mehmet Paşa Camii ve Güneş  
Saati (önde)



Güneş Saati



Güneş Saati kadran bölümü



Güneş Saati kadran bölümünden detay

Şekil 8. Güneş Saati genel ve detay görünüm

Güneş saati; zemin üzerinde yaklaşık 60 x 50 cm ölçülerine sahip, üst kısmı profilli silmelerle hareketlendirilmiş yekpare taş bir kaide üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 7). Bu kaidenin üzerinde, yaklaşık 65 cm yüksekliğinde bir gövde bölümü yükselmektedir. Gövde kısmının hemen üzerinde ise kadran bölümüne altlık teşkil eden, yine kırık silmeli bir üst başlık yer almaktadır. Yapının en üst kısmında, 72,5 x 52 cm ölçülerinde mermer malzemeden imal edilmiş kadran bölümü bulunmaktadır (Şekil 7, 8).

Mermer kadran yüzeyi, ışınal hatların belirli açılarla kazınmasıyla oluşturulan hassas bir zaman skalasına sahiptir. Bu taksimat, onar dakikalık dilimler halinde zaman ölçümü yapacak şekilde detaylandırılmıştır. Kazıma tekniğiyle uygulanan skalada saat değerleri Arabi rakamlarla belirtilmiştir (Şekil 8). Tarihi güneş saati, günümüzde de zamanı aslına uygun ve doğru bir biçimde göstermeye devam etmektedir.

### 3. SONUÇ

Safranbolu'nun kentsel dokusu içerisinde birer "zaman durağı" olarak nitelendirilebilecek olan Saat Kulesi, Muvakkithane ve Güneş Saati; Osmanlı toplumunun vakit disiplini ve bu disiplinin mimariye yansıyan estetik



kaygılarını açıkça ortaya koymaktadır. Köprülü Mehmet Paşa Camii avlusunda ve kale mevkiinde yoğunlaşan bu yapılar, sadece namaz vakitlerinin tayini gibi dini bir ihtiyaca cevap vermekle kalmamış, aynı zamanda kentin sosyo-kültürel hayatını düzenleyen teknik merkezler olarak işlev görmüştür. Çalışma kapsamında incelenen mimari detaylar, özellikle Muvakkithane cephesinde karşımıza çıkan Bursa kemeri formu nitelikli taş işçiliği ve Saat Kulesi'nin devşirme malzemeye yükselen gövdesi, yerel imkânların imparatorluk estetiğiyle nasıl harmanlandığını belgelemektedir.

Yapıların mimari kurgusu kadar, içerdikleri teknik ve epigrafik veriler de Safranbolu'nun ilim tarihindeki yerini perçinlemektedir. Muvakkithane kitabesinde Şair Kerimî tarafından düşülen kayıtlar, bu mekânın sadece bir saat ayar merkezi değil, aynı zamanda bir kütüphane olarak kurgulandığını göstermesi bakımından oldukça değerlidir. Güneş saatinin mermer kadranı üzerindeki hassas taksimat ile Saat Kulesi'nin yüzyıllardır çalışan mekanik aksamı arasındaki süreklilik, geleneksel astronomi bilgisiyle modern mekânın aynı avluda bulunduğu nadir bir tablo sunmaktadır. Özellikle Saat Kulesi'nin yarım asrı aşkın süredir İsmail Ulukaya'nın gönüllü emeğiyle hayata tutunması, bu teknik mirasın yaşatılmasında insan faktörünün önemini bir kez daha hatırlatmaktadır.

Sonuç olarak, Safranbolu'daki bu zaman yapıları, UNESCO Dünya Miras Listesi'ndeki kentin sadece sivil konut mimarisiyle değil, teknik ve bilimsel mirasıyla da ne denli zengin bir derinliğe sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Günümüzde her ne kadar asli işlevleri değişmiş veya teknolojik gelişmelerle ikincil plana düşmüş olsalar da bu eserler, Safranbolu'nun “yaşayan bir tarih şehri” olma kimliğini pekiştiren en önemli unsurlardır. Bu yapı grubunun sahip olduğu özgün karakterin korunarak gelecek nesillere aktarılması, kentin kentsel belleğinin korunması adına hayati bir sorumluluktur.

## KAYNAKLAR

- Acun, H. (1994). Anadolu Saat Kuleleri. Ankara: Atatürk Kültür Merkezi Yayınları
- Acun, H. (2011). Saat Kuleleri ve Önemi. Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Safranbolu. (5-15)
- Arıt, S. (1997). Saatin Öyküsü. Bilim ve Teknik Dergisi, 353, 74-81.
- Ayverdi, H. (1981). Avrupa'da Osmanlı Mimari Eserleri-Yugoslavya, İstanbul: İstanbul Fetih Cemiyeti Yayınları.
- Cansever, M. (2009). Türkiye'nin Kültür Mirası 100 Saat Kulesi. İstanbul: NTV Yayınları.
- Deniz, Ş. (2011). İzzet Mehmet Paşa Vakfı'na Ait Bir Eser: Safranbolu Saat Kulesi. Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Safranbolu. (31-39)
- Eroğlu, B., Yıldız, E., Tomar, E. Z. (2011). Külliye Elemanı Olarak Muvakkithane Yapıları: Afyon Yeni Camii Muvakkithanesi Örneği. Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Safranbolu. (217-232)
- Eyice, S. (1983). Ayasofya Horologion'u ve Muvakkithane. Ayasofya Müzesi Yıllığı, 9. (15-24)
- Gökoğlu, A. (1952). Paphlagonia. Kastamonu: Doğrusöz Matbaası.
- İlgürel, M. (2001). Köprülü Mehmed Paşa Paşa. Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi, 26. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 258-260.
- Karaca, R., Yücedağ, İ. ve Kılavuz, B. N. (2013). *Safranbolu Kitabeleri*, İstanbul: Safranbolu Araştırmaları Merkezi.
- Kuş, A. (2015). Safranbolu Korumada 40. Yıl. (Anlatan: Kızıltan Ulukavak). Safranbolu: Safranbolu Kültür ve Turizm Vakfı Yayınları.
- Ongun, A. (1936). Safranbolu İmar Planı. Belediyeler Dergisi. Ankara: Belediyeler Bankası Yayınları.
- Özcan, A. (2001). İzzet Mehmet Paşa. Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi, 23. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 560-561.
- Özkurt, K. (2025). Türk İslam Epigrafi Sözlüğü. Ankara: Serüven Yayınevi.
- Safranbolu'da Kültür ve Medeniyet İzleri Araştırması (2014). (Editör: Hür Mahmut Yüceer). Safranbolu: Safranbolu Belediyesi Yayınları.
- Tabak, F. & Tekinalp, V. M. (2011). Anadolu'daki Antik ve Geç Antik Dönem Konik Güneş Saatleri İçin Gnomon ve Enlem Hesaplamaları. Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Safranbolu. (121-130)
- Tunçözgür, Ü. (1999). Dünü ve Bugünü ile Safranbolu. Safranbolu.
- Url 1. <https://www.lugatim.com/s/m%C3%BCceddeden> (Erişim: 12.04.2026)
- Ünver, A. S. (1994). Muvakkithaneler. Dünden Bugüne İstanbul Ansiklopedisi. İstanbul: Kültür ve Tarih Vakfı. (217-257)
- Yazıcı, N. (2011). Teshîl-i Muâmelât İçin Saat: II. Abdülhamid Döneminde İstanbul'da Yapılması Düşünülen ve Yapılan Saat Kuleleri. Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Safranbolu. (97-120)
- Yılmaz, G. (2011). Batılılaşma Dönemi Osmanlı Sosyal Yaşamında Saatlerin Yeri. Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Safranbolu. (41-50)
- Zorlu, T. & Yılmaz, D. (2011). Kültürel Süreklilik Bağlamında Muvakkithaneler: Trabzon Örneği. Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Safranbolu. (269-283)

## AHLAT VE YAZIKÖY TAŞLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Doç. Dr. Mehmet MUTLU<sup>1</sup>/ Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Esat GÜNEŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, mehmetmutlu@karabuk.edu.tr, 0000-0002-7351-0138

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, esatgunes@karabuk.edu.tr, 0000-0002-8243-6072

### Özet

Bu çalışma, Anadolu'nun iki farklı coğrafyasında tarihsel süreçten günümüze yapı kültürünü şekillendiren doğal taşların teknik kapasitelerini ele almaktadır. Araştırma kapsamında, Doğu Anadolu Bölgesi'nin karakteristik bir yapı malzemesi olan Ahlat taşı (volkanik tüf) ile Batı Karadeniz Bölgesi'nde, özellikle UNESCO Dünya Miras Listesi'nde yer alan Karabük ilinin Safranbolu ilçesi ve yakın çevresinde geleneksel mimarinin ana unsuru olan Yazıköy taşının (kireçtaşı) fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Her iki malzeme, yerel mimari kimliğin sürdürülmesinde ve restorasyon projelerinde estetik, işlenebilirlik ve yapısal avantajları nedeniyle öncelikli olarak tercih edilse de birinin volkanik diğerrinin sedimanter kökenli olmasından kaynaklanan belirgin performans farkları sergilemektedirler. Çalışma, bu iki taş türü üzerine literatürde yer alan mevcut veriler ve deney sonuçları üzerinden kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Fiziksel özellikler bağlamında; birim hacim kütlesi, kütlece su emme oranları ve ısı iletkenlik katsayıları üzerine odaklanılmıştır. Mekanik performansın belirlenmesinde ise basınç dayanımı, donma-çözünme çevrimi sonrası dayanım kayıpları ve sürtünmeyle aşınma direnci gibi yapısal stabiliteyi doğrudan etkileyen parametreler karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilerin sentezi sonucunda; Ahlat taşının düşük birim hacim ağırlığı ve yüksek gözenekli iç yapısı sayesinde üstün ısı yalıtım performansı sunduğu, buna karşın Yazıköy taşının kompakt dokusuyla mekanik yüklemelere ve aşınma etkilerine karşı çok daha dirençli bir profil çizdiği tespit edilmiştir. Bu karşılaştırmalı analiz, geleneksel yapı taşlarının kullanım alanlarının doğru belirlenmesi, malzeme korunumu ve sürdürülebilir yerel yapım tekniklerinin geliştirilmesi noktasında literatüre teorik ve pratik bir katkı sağlamayı hedeflemektedir.

**Anahtar kelimeler:** Ahlat Taşı, Yazıköy Taşı, Safranbolu Mimarisi, Fiziksel ve Mekanik Özellikler, Isı İletkenlik.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AHLAT AND YAZIKÖY STONES

### Abstract

This study investigates the technical capacities of natural stones that have shaped the building culture across two distinct geographical regions of Anatolia from the historical period to the present. Within the scope of the research, a comparative analysis is conducted on the physical and mechanical properties of Ahlat stone (volcanic tuff), a characteristic building material of the Eastern Anatolia Region, and Yazıköy stone (limestone), a primary element of traditional architecture in the Safranbolu district of Karabük and its surroundings -a region inscribed on the UNESCO World Heritage List. While both materials are primarily preferred in restoration projects and for maintaining local architectural identity due to their aesthetic appeal, workability, and structural advantages, they exhibit significant performance differences stemming from their respective volcanic and sedimentary origins. The study presents a comprehensive evaluation based on existing literature data and experimental results concerning these two stone types. Regarding physical properties, the focus is placed on bulk density, water absorption rates by mass, and thermal conductivity coefficients. To determine mechanical performance, parameters directly influencing structural stability such as compressive strength, strength loss after freeze-thaw cycles, and abrasion resistance are compared. The synthesis of the obtained data reveals that Ahlat stone offers superior thermal insulation performance due to its low bulk density and highly porous internal structure; conversely, Yazıköy stone, with its compact texture, exhibits a significantly more resistant profile against mechanical loads and abrasion effects. This comparative analysis aims to contribute both theoretically and practically to the literature regarding the accurate determination of application areas for traditional building stones, material conservation, and the development of sustainable local construction techniques.

**Keywords:** Ahlat Stone, Yazıköy Stone, Safranbolu Architecture, Physical and Mechanical Properties, Thermal Conductivity.

## 1. GİRİŞ

Doğal taşlar, insanlık tarihinin en köklü yapı malzemeleri olarak medeniyetlerin somut kültürel mirasını şekillendiren temel unsurların başında gelmektedir. Anadolu coğrafyası, jeolojik çeşitliliği sayesinde farklı oluşum süreçlerine sahip zengin bir doğal taş envanterine ev sahipliği yapmaktadır. Bu zenginliğin en karakteristik iki örneğini; Doğu Anadolu'nun volkanik formasyonlarından doğan andezitik tüf karakterindeki Ahlat taşı ile Batı Karadeniz'in sedimanter yapısını temsil eden kireçtaşı sınıfındaki Yazıköy taşı oluşturmaktadır (Şekil 1).



Taş ocaklarının bulunduğu Ahlat ve Safranbolu ilçelerinin konumları



Yazıköy taşı (Şener, 2023, s. 59)



Ahlat taşı (Url-1)

Şekil 1. Ahlat ve Safranbolu'nun konumları ile Ahlat ve Yazıköy taşları

Birbirinden farklı jeolojik kökenlere sahip olan bu iki malzeme, bulundukları bölgelerin mimari kimliğini belirlemiş ve yüzyıllardır hem taşıyıcı hem de dekoratif amaçlarla kullanılmıştır. Ahlat taşı, Nemrut ve Süphan dağlarının püskürmeleri sonucu oluşan volkanik küllerin ani soğumasıyla meydana gelen bir doğal taştır (Boran,



1999, s. 54). Ahlat taşı, ocaktan çıkarıldığında sahip olduğu nem (ocak suyu) nedeniyle çok kolayca işlenebilmekte iken, ancak havayla temas ettikten kısa süre sonra sertleşerek yüksek dayanım kazanmaktadır. Siyah, gri, kırmızı ve beyaz gibi geniş renk skalasıyla Selçuklu kümbetlerinden modern yapılara kadar Van Gölü havzasının mimari dilini oluşturan bu taş, aynı zamanda UNESCO Somut Olmayan Kültürel Miras listesinde yer alan “Taş İşleme Sanatı”nın da en önemli uygulama alanlarından biridir (Şekil 2). Öte yandan, Karabük-Safranbolu bölgesinin yerel mimarisinde baskın olan Yazıköy taşı, “kireçtaşı” olarak da adlandırılan bir kalker kayadır (Özdemir, 1994, s. 62).

Safranbolu’nun tescilli sivil mimari örneklerinde, cami ve çeşmelerinde yoğun olarak kullanılan bu kireçtaşı, yerel kaynakların verimli kullanımı ve ekonomik olması sebebiyle bölgenin geleneksel yapı kültürünün ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Şekil 2).



Van Hürevpaşa Camii (Url-2)



Safranbolu İzzet Mehmet Paşa Camii (Url-3)

Şekil 2. Ahlat taşı (Van) ve Yazıköy taşı (Safranbolu) ile inşa edilmiş yapı örnekleri

Günümüzde enerji maliyetleri ve çevresel faktörler, doğal taşların sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ancak tarihi yapılarda kullanılan bu taşlar, zaman içerisinde iklim koşulları ve insan kaynaklı müdahaleler nedeniyle ciddi tahribat riski altındadır (Akgül vd., 2025, s. 2). Özellikle restorasyon süreçlerinde özgün malzemenin fiziko-mekanik özelliklerinin doğru tanımlanması, eserin estetik ve yapısal bütünlüğünün korunması açısından hayati önem taşımaktadır. Bu çalışma, biri magmatik (Ahlat), diğeri tortul (Yazıköy) kökenli olan ve “jeolojik miras” niteliği taşıyan bu iki önemli yapı taşının belirli fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırmalı bir analizle ortaya koymayı amaçlamaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, Doğu Anadolu ve Batı Karadeniz bölgelerinin karakteristik yapı taşları olan Ahlat ve Yazıköy taşlarının fiziksel ve mekanik davranışlarını belirlemek amacıyla karşılaştırmalı bir analiz metodolojisi üzerine



kurgulanmıştır. Çalışma, literatürdeki deneysel verilerin sistematik incelenmesi ve bu verilerin karşılaştırmalı analizinden oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen materyallerden ilki; Bitlis-Ahlat yöresinden temin edilen, Nemrut ve Süphan volkanizması ürünü olan andezitik tuf (ignimbirit) karakterli Ahlat taşıdır. İkinci materyal ise Karabük-Safranbolu bölgesinde yaygın olarak bulunan, sedimanter kökenli neritik kireçtaşı sınıfına giren Yazıköy taşıdır. Her iki materyalin seçiminde, bölgelerindeki özellikle tarihi yapılarda baskın olarak kullanılmaları ve “jeolojik miras” niteliği taşımaları esas alınmıştır.

Çalışmada kullanılan veriler, günümüze kadar her iki taş üzerine yapılmış olan lisansüstü tezler, akademik makaleler ve teknik raporların taranmasıyla elde edilmiştir. Veri toplama sürecinde standardizasyon açısından deneylerin TS-EN veya ASTM standartlarına uygunluğu ile parametrik uyumluluk açısından karşılaştırmanın nesnel bir zeminde yürütülebilmesi için her iki taş grubu için de ortak olan fiziksel parametrelerin mevcudiyeti kriterlerine öncelik verilmiştir. Deneysel verilerin metodolojik tutarlılık içerisinde kıyaslanabilmesi için birim dönüşümleri yapılarak tüm değerlerin ortak bir birim sistemine aktarılması sağlanmıştır. Çalışma kapsamında fiziksel parametre olarak birim hacim kütlesi, kütlece su emme ve ısıl iletkenlik özellikleri; mekanik parametre olarak ise basınç dayanımı, donma-çözünme çevrimi sonrası basınç dayanımı ve sürtünmeyle aşınma kaybı verileri literatürden derlenerek karşılaştırılmıştır. Elde edilen tüm veriler “Bulgular ve Tartışma” bölümünde kapsamlı bir şekilde yorumlanmıştır.

### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **3.1. Fiziksel parametreler**

##### **3.1.1. Birim hacim kütlesi**

Ahlat Taşı hakkında Mutlu ve Öztürk tarafından 2002 yılında TS699’standardına bağlı kalınarak yapılan çalışmada Ahlat Taşı’nın birim hacim kütlesi kuru olarak  $1,43 \text{ gr/cm}^3$  olarak bulunmuştur (Mutlu ve Öztürk, 2002, s. 46). Ahlat Taşı’nın birim hacim kütlesi, malzeme hakkında yapılan bir başka çalışmada ise  $1,38-1,40 \text{ gr/cm}^3$  olarak bulunmuştur (Biçer, 2019, s. 305). Varol ise çalışmasında Ahlat Taşı numunesinin birim hacim kütlelerinin  $1,40 \text{ gr/cm}^3$  ile  $1,63 \text{ gr/cm}^3$  arasında değiştiğini gözlemlemiştir (Varol, 2025, s. 243). Andezit grubu taşlar aynı ocaktan çıkartılmış olsalar bile homojenlik, mineralojik birleşim ve strüktür bakımından farklılık gösterirler (Küçükkaya, 2014, s. 15). Her ne kadar meydana geliş şekilleri açısından aynı grup malzeme olsalar da heterojen bir malzeme olduklarından aynı ocaktan çıkartılan iki ayrı numunenin bile aynı özelliği göstermemesi ve deneylerde farklı sonuçlara ulaşılması normaldir (Öneş, 1988, s. 58). Farklı bölgelerden elde edilen numunelerde bu farklılık daha fazla da olabilmektedir. Nitekim Ankara Ticaret Odası’nın 27.12.2021 tarihinde tescil ettirdiği bir Andezit taş olan Ankara Taşı’nın tescil raporunda numunenin birim hacim kütlesi  $2,16-2,32 \text{ gr/cm}^3$  aralığında raporlanmıştır (Ankara Ticaret Odası, 2021). Tüm bu deneysel sonuçlar ortak

değerlendirildiğinde Ahlat Taşı'nın birim hacim kütlesinin  $1,38 \text{ gr/cm}^3$  ile  $1,83 \text{ gr/cm}^3$  arasında değiştiğini söylemek mümkündür.

Yazıköy Taşı ile ilgili literatürde çalışma çeşitliliği bulunmazken, bugüne kadar yapılan tek çalışmanın Şener'e (2023) ait olduğu görülmektedir. Şener ilgili çalışmasında kireçtaşı grubundan bir malzeme olan Yazıköy taşının birim hacim kütlesini  $2,69 \text{ gr/cm}^3$  olarak bulmuştur. Kireçtaşları birim hacim ağırlıkları fazla olan taşlardır. Örneğin bir kireçtaşı grubu olan küfeki taşının dört farklı ocaktan alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerle ulaşılan birim hacim ağırlığının  $1,87 \text{ gr/cm}^3$  ile  $2,11 \text{ gr/cm}^3$  arasında değiştiği görülmektedir (Erözmen vd., 2019, s. 180; Kumral, vd. 2019, s. 282).

Kireçtaşı grubuna ait bir doğal taş olan Küfeki taşı, Bizans ve Osmanlı dönemlerinde surlar, su kemerleri, Topkapı Sarayı ve Süleymaniye Camii gibi pek çok önemli yapıda temel yapı malzemesi olarak tercih edilmiştir. Mimar Sinan da bu taş üzerine incelemeler yapmış ve eserlerinde malzemenin özelliklerini dikkate alarak bilinçli bir şekilde kullanmıştır. Küfeki taşının kullanım biçimi ve uygulama incelikleri, günümüze kadar sağlamlığını koruyan bu yapılarda açıkça gözlemlenebilmektedir (Kumral vd., 2019, s. 279).

Yukarıda değerlendirilen çalışmalar ışığında Ahlat Taşı'nın birim hacim kütlesinin ortalama  $1,44 \text{ gr/cm}^3$  olduğunu söylemek mümkündür. Öte yandan elimizdeki tek çalışmada Yazıköy taşının birim hacim kütlesinin  $2,69 \text{ gr/cm}^3$  olarak ölçüldüğünü değerlendirdiğimizde her iki taş arasındaki farkın oldukça belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 3-a). Yapı malzemelerinde birim ağırlık ve komposite değerleri arttıkça malzemelerin mukavemetleri ve ısı iletkenlikleri de artar (Öneş, 1988, s. 17). Bu açıdan değerlendirildiğinde Yazıköy taşının mukavemetinin Ahlat taşına göre daha fazla olmasının beklenmesinin yanı sıra kompasitesi daha yüksek olduğu için ısı iletkenliğinin daha yüksek olduğunu tahmin etmek zor değildir. Yapı malzemelerinin mukavemetlerinin yüksekliği avantaj iken, ısı iletim değerlerinin yüksekliği ise malzeme açısından bir dezavantajdır.

Ahlat taşının özgül kütlesi  $2,6 \text{ gr/cm}^3$  olarak tespit edilmişken (Mutlu ve Öztürk, 2002, s. 46) literatürde Yazıköy taşının özgül kütle değeri ile ilgili bir veriye ulaşılamamıştır.

### 3.1.2. Kütlece su emme yüzdesi

Yapı malzemelerinin hacimce su emme yüzdeleri, malzemenin doyma dercesine doğrudan etki eder. Tespit edilen hacimce su emme değerlerinin, malzemenin porozite değerine bölünmesi ile elde edilen “doyma derecesi” ise malzemenin don karşısında dayanıklılığını ortaya koyar. Donan suyun hacmi yaklaşık %10 oranında artacağı için malzeme bünyesindeki suyun katı hale geçtiğinde malzemeye iç basınç oluşturmaması için belli boşlukların bulunması gerekmektedir. Literatürde doyma derecesi %80'in altında bulunan malzemelerin dona dayanabildiği kabul edilmiştir (Güner ve Süme, 2000, s. 21).

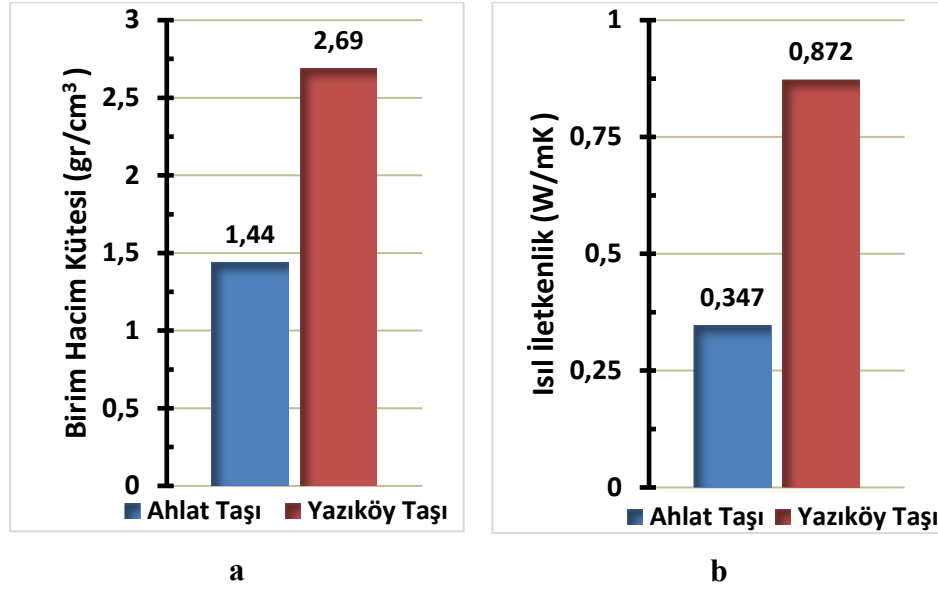
Ahlat taşının kütlece su emme yüzdesi 27,9 olarak bulunmuştur. Bu değer hacimle kıyaslandığında %39,9 olarak çıkmaktadır (Mutlu ve Öztürk., 2002, s. 46). Ahlat taşı üzerinde yapılan farklı çalışmalarda elde edilen su

emme yüzdesi değerleri de bu sonuca yakın çıkmaktadır (Bakış vd. 2014, s. 8). Doyma derecesi ise %89 olarak bulunmuş olup, literatürde verilen doyma derecesi değerinin üzerinde bir oran ortaya koymaktadır (Mutlu ve Öztürk., 2002, s. 46). Yazıköy taşı hakkında yapılan çalışmada ise bu örneğin kütlece su emme yüzdesi %0,78 olarak tespit edilmiştir (Şener, 2023, s. 66, 67). Bu değer Ahlat taşı ile kıyaslandığında oldukça düşük bir değerdir. İlgili çalışmada numune üzerinde hacimce su emme yüzdesine bakılmamıştır. Bununla beraber %0,78 olarak bulunan su emme değeri çok düşük porozite, kompakt ve yoğun bir taş numune ve suya karşı düşük duyarlılık anlamına gelir. Bu tür düşük su emme değerine sahip bir malzemede, suya doymuş hâlde bile boşlukların büyük bir kısmı su ile dolmaz. Dolayısıyla doyma derecesi sınırlıdır ve malzeme genel olarak düşük gözenekli ve az su tutan bir yapı sergiler. Her iki malzeme elimizde bulunan birim ağırlıklarıyla birlikte değerlendirildiğinde az gözenekli bir yapıya sahip olan Yazıköy taşının düşük su emme değerine sahip olması beklenen bir sonuçtur.

### 3.1.3. Isıl iletkenlik

Bir malzemenin iki yüzeyi arasında sıcaklık farkı bulunduğunda, ısı doğal olarak yüksek sıcaklığa sahip bölgeden düşük sıcaklığa sahip bölgeye doğru bir akış gösterir. Malzeme içerisinden birim zamanda ve birim yüzey alanından geçen ısı miktarı ise ısı iletkenlik ile doğru orantılıdır (Güner ve Süme, 2000, s. 32).

Ahlat taşı üzerinde gerçekleştirilen ısı iletkenlik deneylerinde, numunenin ortalama ısı iletkenlik katsayısı 0,347 W/mK olarak belirlenmiştir (Biçer, 2019, s. 305). Yazıköy taşı için yapılan çalışmada ise bu değer 0,872 W/mK olarak tespit edilmiştir (Şener, 2023, s. 71). Elde edilen veriler, Ahlat taşının ısı iletkenlik açısından Yazıköy taşına kıyasla belirgin biçimde daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 3-b). Ayrıca, birim hacim kütlesi parametresine ilişkin değerlendirmelerde de ifade edildiği üzere, birim hacim kütlesi yüksek olan malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının da daha yüksek olması beklenen bir durumdur (Şekil 3-a,b).



Şekil 3. Ahlat ve Yazıköy taşlarının; a) ortalama birim hacim kütleleri, b) ısı iletkenlik değeri

### 3.2. Mekanik parametreler

#### 3.2.1. Basınç dayanımı

Gevrek malzeme grubunda yer alan doğal taşların çekme dirençleri oldukça kısıtlıdır; bu nedenle malzemenin yapısal güvenilirliğini belirleyen asıl kriter basınç dayanımıdır. Dolayısıyla, yığma sistemlerdeki yük aktarım mekanizması ve taşıma kapasitesi esasen basınç mukavemeti üzerine kurgulanır.

Malzemenin düşey eksenini boyunca maruz kaldığı kuvvete karşı, malzeme ters yönde bir direnç gösterir. Boyca kısaltmaya neden olan bu zorlayıcı etki, basınç kuvveti olarak adlandırılır. Malzeme bu kuvvete karşı belirli bir sınıra kadar direnç gösterebilse de bu eşik aşıldığında yapısal bütünlüğünü kaybederek hasar görür. Malzemenin hasar almadan önce ulaştığı en yüksek direnç seviyesi, o malzemenin maksimum basınç dayanımı olarak kabul edilir (Öneş, 1988, s. 7).

Taşların gerek kuru ve gerekse doymuş olarak basınç dayanımları hem tabakalara dik hem de tabakalara paralel yönde basınç dayanımları önemlidir. Bununla beraber taş duvar örgü kurallarının en önemlilerinden birisi, taşların yatak tabakalarının yatay gelecek şekilde kullanılmasıdır (Oymael, 2015, s. 95). Bu açıdan yapı taşlarının kuru olarak ve tabakalara dik yöndeki basınç dayanımlarının önemi diğerlerine göre daha çok ön plana çıkmaktadır.

Çalışmamıza konu olan Ahlat ve Yazıköy taşlarının karakteristik basınç dayanımları deneyler sonunda Ahlat taşı için 111,8 Kgf/cm<sup>2</sup> (Mutlu ve Öztürk, 2002, s. 46), Yazıköy taşı için ise 414,3 Kgf/cm<sup>2</sup> (Şener, 2023, s. 74) olarak bulunmuştur (Şekil 4).

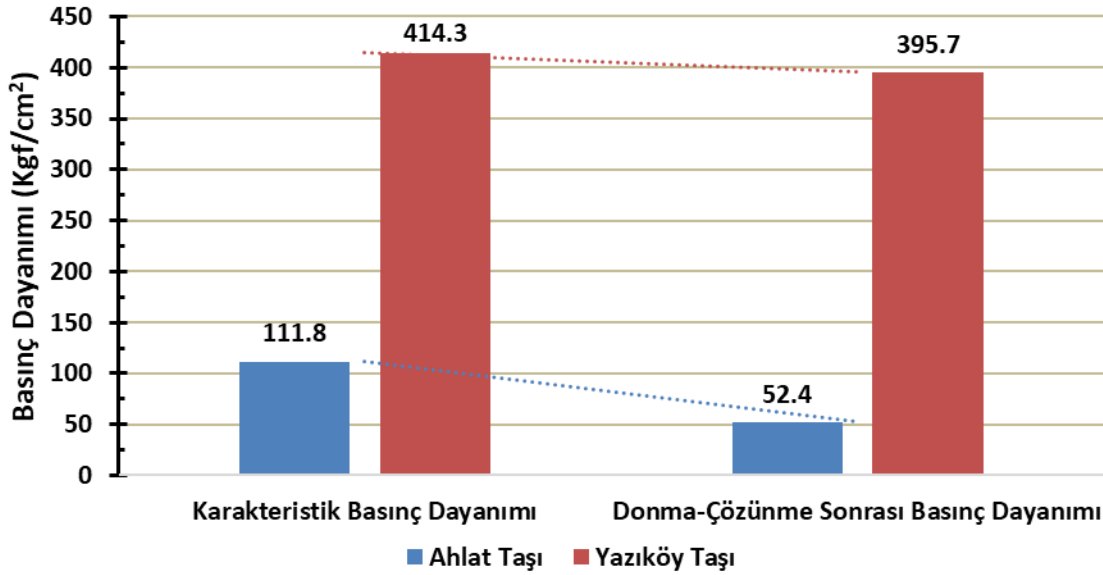
Elde edilen bu veriler ışığında, her iki taşın da geleneksel kagir yapı sistemlerinde taşıyıcı eleman olarak kullanılabilir nitelikte olduğu görülse de yapısal performans açısından aralarında belirgin bir fark

bulunmaktadır. Yazıköy taşının  $414,3 \text{ Kg/cm}^2$  değerindeki basınç dayanımı, Ahlat taşına kıyasla yaklaşık dört kat daha yüksek bir taşıma kapasitesine işaret etmektedir. Bu durum, Yazıköy taşının özellikle yüksek yük altındaki temel, paye ve alt kat duvarları gibi kritik yapısal elemanlarda daha güvenli bir kullanım sunacağını göstermektedir. Buna karşın, daha düşük bir basınç dayanımına sahip olan Ahlat taşının, yapıdaki yük dağılımı ve malzemenin işlenebilirlik özellikleri dikkate alınarak, yükün nispeten azaldığı üst kotlarda veya süsleme yoğunluklu mimari detaylarda tercih edilmesinin statik ve ekonomik açıdan daha rasyonel bir yaklaşım olacağı söylenebilir. Taşların yatak tabakalarının yatay yerleştirilmesi kuralı ile bu dayanım değerleri birlikte değerlendirildiğinde, malzemenin dokusuna uygun doğru uygulama metodunun, yapının uzun vadeli durabilitesi üzerinde belirleyici rol oynayacağı açıktır.

### 3.2.2. Donma-çözünme etkisi

Donma-çözünme sonrasındaki basınç dayanımı, doğal taşların dış mekân koşullarına ve iklimsel değişimlere karşı sergilediği uzun vadeli performansın en kritik göstergelerinden biridir. Özellikle gözenekli yapıya sahip taşlarda, bünyeye alınan suyun donma-çözülme döngüleri sırasında genişerek mikro çatlaklar oluşturması, malzemenin iç yapısında mekanik yorulmaya neden olur. Bu açıdan malzemelerin dona karşı dirençleri, yapının uzun vadeli mukavemeti için kritik önem arz etmekte olup; malzemenin gözenek yapısı ile donma-çözünme çevrimleri sonrasındaki basınç dayanımı arasında doğrudan bir korelasyon bulunduğu bilinmektedir.

Ahlat taşının donma-çözünme sonrası basınç dayanımı deneyler sonucunda tabakalara dik yönde  $52,4 \text{ Kg/cm}^2$  olarak bulunmuştur (Mutlu ve Öztürk, 2002, s. 46). Ahlat taşının normal basınç dayanımı olan  $111,8 \text{ kgf/cm}^2$  değeri ile kıyaslandığında, numunenin basınç dayanımında yaklaşık %53,1 azalma olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan Yazıköy taşının donma-çözünme sonrası basınç dayanımı  $395,7 \text{ kgf/cm}^2$  olarak tespit edilmiştir (Şener, 2025, s. 76). Buna göre Yazıköy taşı için donma-çözünme sonrası basınç dayanımındaki azalma, normal basınç dayanımı ( $414,3 \text{ Kg/cm}^2$ ) ile karşılaştırıldığında, yaklaşık %4,5 seviyesindedir (Şekil 4).



Şekil 4. Ahlat ve Yazıköy taşlarının karakteristik ve donma-çözünme sonu basınç dayanımları

Bu veriler, Yazıköy taşının donma-çözünme etkilerine karşı yüksek bir direnç (durabilite) sahip olduğunu kanıtlarken; Ahlat taşının ise özellikle yoğun don döngülerinin yaşandığı iklim bölgelerinde ve dış cephe gibi açık hava koşullarına maruz kalan alanlarda kullanımının, malzemenin hızlı mukavemet kaybı riski nedeniyle dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

### 3.2.3. Sürtünme ile aşınma kaybı

Bir malzemenin, ona temas eden başka malzeme sebebiyle yüzeyinden küçük parçacıklarının kopması olayı aşınma olarak isimlendirilir (Şimşek, 2016, s. 75). Aşınma, yapı malzemeleri açısından kısa süre içinde fark edilmesi zor olan ve yavaş ilerleyen bir bozulma türü olmakla beraber, varlığını uzun yıllar sürdürmekte olan tarihi yapıların doğal taş malzeme ile kaplanmış zeminlerinde, özellikle de kapı eşiklerinde ve merdivenlerde çok rahat gözlenebilen bir bozulma türüdür.

Karşılaştırılan numuneler üzerinde Ahlat taşının sürtünme ile aşınma kaybının ortaya çıkartılması için Böhme metodu kullanılmış ve sürtünme aşınma değeri (kalınlık olarak) tabakalara dik yönde 0,87/50 cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Yazıköy taşının aşınma direnci tayini için agrega tipi numuneler üzerinde yapılan Mikro- Deval deney yöntemi tercih edilmiştir. Buna göre Yazıköy taşının Mikro Deval katsayısı ortalama %23 olarak bulunmuştur (Şener, 2023, s. 80).

İncelenen numunelerin aşınma dirençleri, taşların kullanım potansiyellerine uygun olarak farklı metotlarla analiz edilmiştir. Ahlat taşının blok bütünlüğündeki yüzeysel aşınma kaybı Böhme yöntemiyle 0,87/50 cm<sup>2</sup> olarak ölçülürken; Yazıköy taşının agrega formundaki aşınma performansı Mikro-Deval deneyi ile analiz edilmiş ve katsayısı %23 olarak belirlenmiştir. Deney metotlarındaki bu farklılık, her iki taşın da özgün uygulama alanlarında (kaplama ve agrega) aşınma karakteristiklerinin belirlenmesini sağlamış; ancak sayısal bir



birim birliği (Mpa veya kg/cm<sup>2</sup>'de olduğu gibi) sağlamadığı için sonuçları net olarak karşılaştırabilmek mümkün olmamıştır. Ancak, fiziksel ve mekanik veriler bütünsel olarak değerlendirildiğinde, Ahlat taşının aşınmaya çok daha meyilli olduğu söylenebilir.

### **3.2.4. Los Angeles metodu ile aşınma kaybı**

Zemin uygulamalarında kullanılacak doğal taşların mekanik performansını belirleyen temel parametrelerden biri de Los Angeles (LA) aşınma katsayısıdır. Yapılan deneysel çalışmalar kapsamında Yazıköy taşı, Los Angeles tamburunda 500 devir sonunda işleme tabi tutulmuş ve kütleli kayıp oranı %29 olarak tespit edilmiştir (Şener, 2023, s. 81). Benzer koşullar altında test edilen Ahlat taşı numunelerinde ise 500 devir sonundaki darbeli aşınma değeri %80,2 olarak ölçülmüştür (Mutlu ve Öztürk, 2002, s. 47).

Bununla birlikte, deneylerde kullanılan numunelerin gradasyon (boyut) özellikleri incelendiğinde; Ahlat taşının daha büyük bloklar halinde, Yazıköy taşının ise standart iri agrega boyutlarında deneye dahil edildiği görülmektedir. Deney numunelerinin boyut farkı, sonuçların doğrudan ve kesin bir mukayese (korelasyon) içerisinde değerlendirilmesini metodolojik açıdan kısıtlasa da elde edilen veriler, her iki malzemenin dinamik yükler altındaki aşınma dirençleri ve yapısal dayanıklılıkları hususunda önemli birer gösterge niteliği taşımaktadır.

Los Angeles deneyinden elde edilen veriler kıyaslandığında, Yazıköy taşının darbe ve sürtünme altındaki mukavemetinin Ahlat taşına oranla belirgin düzeyde yüksek olduğu görülmektedir. Yazıköy taşının sergilediği %29'luk kütleli kayıp, malzemenin sert ve kompakt bir iç yapıya sahip olduğunu, dolayısıyla yüksek aşınma direnci gerektiren zemin kaplamaları ve dış mekân uygulamaları için elverişli olduğunu göstermektedir. Buna mukabil, Ahlat taşında gözlemlenen %80,2 oranındaki yüksek kayıp değeri, malzemenin darbeli aşınma karşısında yapısal bütünlüğünü korumakta zorlandığına işaret etmektedir. Her ne kadar numune boyutlarındaki farklılık bir sapma payı oluştursa da iki malzeme arasındaki bu keskin fark; Yazıköy taşının mekanik zorlanmalara karşı “dayanıklı”, Ahlat taşının ise fiziksel etkilere karşı “hassas/kırılgan” bir karakter sergilediğini doğrular niteliktedir.

## **4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME**

Bu çalışma kapsamında fiziksel (Tablo 1) ve mekanik (Tablo 2) özellikleri analiz edilen Ahlat ve Yazıköy taşları, geleneksel ve modern kagir yapı sistemlerindeki performansları açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, her iki malzemenin de yapı sektöründe kullanım potansiyeli bulunmakla birlikte, yapısal stabilite ve dış koşullara dayanıklılık noktasında belirgin farklar sergilediğini ortaya koymuştur.

Yapılan basınç dayanımı testlerinde Yazıköy taşı (414,3 Kg/cm<sup>2</sup>), Ahlat taşına (111,8 Kg/cm<sup>2</sup>) oranla yaklaşık dört kat daha yüksek bir taşıma kapasitesi sunarak yapısal yüklerin yoğunlaştığı taşıyıcı elemanlar için üstün bir

performans sergilemiştir. Bu durum, donma-çözülme deneyleri sonrasında da paralellik göstermiş; Yazıköy taşı mukavemetini %95,5 oranında korurken, Ahlat taşı %53,1 gibi dramatik bir kayba uğramıştır. Dolayısıyla Yazıköy taşının yüksek durabilite gerektiren dış cephe ve temel uygulamalarında, Ahlat taşının ise daha çok iklimsel etkilerden korunmuş alanlarda veya dekoratif amaçlı kullanımının uygun olduğu saptanmıştır.

Tablo 1. Ahlat taşı ile Yazıköy taşının fiziksel parametreleri

| Fiziksel Parametreler | Ahlat Taşı                   | Yazıköy Taşı            |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| Birim hacim kütlesi   | 1,38-1,83 gr/cm <sup>3</sup> | 2,69 gr/cm <sup>3</sup> |
| Kütlece su emme       | %27,9                        | %0,78                   |
| Isıl iletkenlik       | 0,347 W/mK                   | 0,872 W/mK              |

Tablo 2. Ahlat taşı ile Yazıköy taşının mekanik parametreleri

| Fiziksel Parametreler                                    | Ahlat Taşı                | Yazıköy Taşı              |
|----------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Basınç dayanımı<br>(kuru – tabakalara dik)               | 111,8 Kgf/cm <sup>2</sup> | 414,3 Kgf/cm <sup>2</sup> |
| Donma-çözünme sonrası basınç dayanımı<br>(tabakalar dik) | 52,4 Kgf/cm <sup>2</sup>  | 395,7 Kgf/cm <sup>2</sup> |
| Donma-çözünme sonrası basınç dayanımı<br>azalması        | %53,1                     | %4,5                      |
| Sürtünmeyle aşınma kaybı<br>(Los Angeles metodu)         | %80,2                     | %29                       |

Mekanik aşınma dirençleri incelendiğinde; Los Angeles (%29) ve Mikro-Deval (%23) testleri Yazıköy taşının darbe ve sürtünme etkilerine karşı kompakt ve dirençli bir iç yapıya sahip olduğunu doğrulamıştır. Ahlat taşının Los Angeles katsayısının %80,2 seviyesine ulaşması, malzemenin aşınma hassasiyetinin yüksek olduğunu ve dinamik yük altındaki zemin uygulamalarında kısıtlı bir kullanım alanı bulabileceğini göstermektedir.

Bu teknik veriler, taşların bölgesel kullanım pratikleri ve ticari yaygınlığı ile de ilişkilendirilebilir. Ahlat taşı, her ne kadar mekanik dayanımı Yazıköy taşına göre daha düşük olsa da bölgedeki yaygın ocak varlığı ve işlenebilirlik avantajı sayesinde yerel ölçekte yoğun bir tüketime sahiptir; hatta sınırlı düzeyde çevre illere ve nadiren de olsa yurt dışına (Almanya örneğinde olduğu gibi) gönderilmektedir (Sökmen, 2015). Yazıköy taşı ise yüksek dayanım değerlerine ve yapısal üstünlüğüne rağmen, daha çok Safranbolu ve yakın çevresiyle sınırlı, butik bir kullanım alanına sahip kalmıştır. Sonuç olarak, Yazıköy taşının yüksek mühendislik nitelikleri göz önünde bulundurulduğunda, daha geniş bir restorasyon ve inşaat pazarında değerlendirilme potansiyelinin yüksek olduğu, Ahlat taşının ise mimari detaylandırma ve hafif yapı elemanlarındaki geleneksel yerini koruyacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Akgül, M. K.; Akın, M.; Akın, M. (2025). Kayseri İlindeki Bazı Tarihi Eserlerde Bozunma Etkilerinin Tahribatsız Deney Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 49(1), 1-24.
- Ankara Ticaret Odası. (2021). Ankara taşı (andezit) tescil raporu (Tescil No: 989).
- Bakış, A.; Işık, E.; Hattatoğlu, F.; Akıllı, A. (2014). Jeolojik Miras Nitelikli Ahlat Taşı'nın İnşaat Sektöründe Kullanımı. *Uluslararası Ahlat-Avrasya Bilim Kültür ve Sanat Sempozyumu*, Bitlis. 1-16.
- Biçer, A. (2019). Ahlat-Malazgirt Yapı Taşlarının Isıl ve Mekanik Özellikleri. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi* 31(2), 301-307.
- Boran, A. (1999). Ahlat Taşı'nın Osmanlı Döneminde Kullanımı ve Bununla İlgili Bir Arşiv Belgesi. *Vakıf ve Kültür Dergisi*, 2(6): 54-57.
- Erözmen, T. vd. (2019). İstanbul'daki Tarihi Yapılarda Kullanılan Küfeki Taşları Üzerinde Uygulanan Farklı Temizleme Yöntemlerinin Etkilerinin Değerlendirilmesi. *MÜHJEO'2019: Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu*, 03-05 Ekim 2019, PAÜ, Denizli, 177-184.
- Güner, M. S.; Süme, V. (2000). Yapı Malzemesi ve Beton. İstanbul: Bakanlar Media.
- Kumral, M. vd. (2019). Çatalca (İstanbul) Civarındaki Tarihi Küfeki Taşının Oluşumunda Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Etkileri. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1): 278-287.
- Küçükaya, A. G. (2014). Yapı Taşlarının Restorasyonu. İstanbul: Özlem Matbaacılık.
- Mutlu, M., Öztürk, Ş. (2002). Van Gölü Çevresinde Geleneksel Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Ahlat Taşı'nın (Andezit Tüf) Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Hakkında Bir Araştırma. *Standart Ekonomik ve Teknik Dergi*, 482, 44-48.
- Oymael, S. (2015). Yapı Bilgisi I. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Öneş, A. (1988). İnşaat Malzeme Bilgisi. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.
- Özdemir, Ü. (1994). Safranbolu Yazıköy'ün Coğrafi Etüdü. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek lisans tezi. Ankara.
- Sökmen, S. (2015). Ahlat'ta Geleneksel Taş İşçiliği. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(2): 99-119.
- Şimşek, O. (2016). Yapı Malzemesi-I (Malzeme Bilimi). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Url 3. <https://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=2720> (Erişim: 01.04.2026)
- Url-1. <https://www.trthaber.com/foto-galeri/ahlat-tasinin-nemrutun-eteklerinden-yapilara-uzanan-zorlu-yolculugu/22774/sayfa-5.html> (Erişim: 01.04.2026)
- Url-2. <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/van/gezilecekyer/husrev-pasa-cam955058> (Erişim: 01.04.2026)
- Varol, O. O. (2025). Ahlat Taşı ve Tarihi Yapılardaki Yeri: Kültürel Miras Açısından Bir Değerlendirme. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 49: 235-254.

## AKILLI ŞEBEKEYE ENTEGRE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE EŞLER ARASI ENERJİ TİCARETİ İÇİN BLOK ZİNCİRİ TABANLI KAYIP DUYARLI OPTİMİZASYON

Öğr. Gör. Dr. Erhan BARAN

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, erhanbaran@gazi.edu.tr, 0000-0002-5897-8680

### Özet

Dağıtılmış fotovoltaik (PV) sistemlerin artan yaygınlığı, özellikle güç kayıpları, şebeke kararlılığı ve şeffaf enerji işlemleriyle ilgili olarak enerji yönetiminde yeni zorluklar ortaya çıkarmıştır. Bu çalışma, akıllı şebeke ortamlarında kayıp odaklı optimizasyonu entegre eden, blok zinciri destekli yeni bir eşler arası (P2P) enerji ticareti çerçevesi önermektedir. Öncelikle ekonomik faydalara odaklanan geleneksel yaklaşımların aksine, önerilen model, şebeke güç kayıplarını ticaret ve planlama sürecine açıkça dahil etmektedir. Üretici-tüketiciler arasında güvenli, şeffaf ve kurcalamaya karşı dayanıklı enerji işlemlerini sağlamak için blok zinciri teknolojisi kullanılarak merkezi olmayan bir mimari tasarlanmıştır. Gerçek zamanlı üretim, talep ve şebeke koşullarına dayalı ticaret kararlarını otomatikleştirmek için akıllı sözleşmeler kullanılmaktadır. Ek olarak, enerji dağıtımında adalet ve verimliliği korurken sistem kayıplarını en aza indirmek için bir optimizasyon katmanı geliştirilmiştir. Önerilen çerçevenin performansı, dağıtılmış PV üretimine sahip birden fazla üretici-tüketiciyi içeren simülasyon senaryoları aracılığıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kayıp odaklı optimizasyonun blok zinciri ile entegrasyonunun enerji verimliliğini önemli ölçüde artırdığını, iletim kayıplarını azalttığını ve P2P ticaret mekanizmalarının güvenilirliğini artırdığını göstermektedir. Önerilen yaklaşım, yüksek yenilenebilir enerji penetrasyonuna sahip yeni nesil akıllı şebekeler için ölçeklenebilir ve güvenli bir çözüm sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Eşler arası enerji ticareti, blok zincir tabanlı enerji sistemleri, kayıp duyarlı optimizasyon

## BLOCKCHAIN-ENABLED LOSS-AWARE OPTIMIZATION FOR PEER-TO-PEER ENERGY TRADING IN SMART GRID-INTEGRATED PV SYSTEMS

### Abstract

The increasing penetration of distributed photovoltaic (PV) systems has introduced new challenges in energy management, particularly regarding power losses, grid stability, and transparent energy transactions. This study proposes a novel blockchain-enabled peer-to-peer (P2P) energy trading framework that integrates loss-aware optimization within smart grid environments. Unlike conventional approaches that primarily focus on economic benefits, the proposed model explicitly incorporates network power losses into the trading and scheduling process. A decentralized architecture is designed using blockchain technology to ensure secure, transparent, and tamper-proof energy transactions among prosumers. Smart contracts are employed to automate trading decisions based on real-time generation, demand, and network conditions. In addition, an optimization layer is developed to minimize system losses while maintaining fairness and efficiency in energy distribution. The performance of the proposed framework is evaluated through simulation scenarios involving multiple prosumers with distributed PV generation. Results demonstrate that the integration of loss-aware optimization with blockchain significantly improves energy efficiency, reduces transmission losses, and enhances the reliability of P2P trading mechanisms. The proposed approach offers a scalable and secure solution for next-generation smart grids with high renewable energy penetration.

**Keywords:** Peer-to-peer energy trading, blockchain-based energy systems, loss-aware optimization

## 1. GİRİŞ

Dağıtık fotovoltaik (PV) sistemlerin modern güç şebekelerine hızlı entegrasyonu, geleneksel enerji yönetimi yaklaşımlarını önemli ölçüde dönüştürmüştür (Umar vd., 2022; Baran, 2018). Hem üretici hem de tüketici olarak hareket edebilen “prosumer” kavramının ortaya çıkmasıyla birlikte, eşler arası (P2P) enerji ticareti enerji esnekliğini artıran ve yerel üretimin daha etkin kullanılmasını sağlayan umut verici bir çözüm haline gelmiştir (Baran, 2026). Ancak mevcut P2P ticaret mekanizmaları genellikle şebeke güç kayıplarını ihmal etmekte, bu da enerji dağıtımında verimsizliklere ve artan işletme maliyetlerine yol açmaktadır (Baran, 2026; Leila vd., 2023). Öte yandan, blok zincir teknolojisi enerji işlemleri için güvenli ve merkeziyetsiz bir platform olarak öne çıkmaktadır (Dehalwar vd., 2022; Kumar vd., 2023). Şeffaflık, değiştirilemezlik ve güvenilirlik sağlaması, onu dağıtık enerji piyasaları için uygun hale getirmektedir (Hua vd., 2022; Umran vd., 2022). Buna rağmen, blok zincir ile kayıp duyarlı optimizasyonun entegrasyonu literatürde sınırlı düzeyde incelenmiştir.

Bu çalışmada, akıllı şebeke entegre PV sistemlerinde blok zincir tabanlı P2P enerji ticaretini kayıp duyarlı optimizasyon ile birleştiren yeni bir çerçeve önerilmektedir. Çalışmanın başlıca katkıları şunlardır:

- Şebeke kayıplarının ticaret kararlarına dahil edilmesi
- Merkeziyetsiz blok zincir mimarisinin tasarlanması
- Enerji dağıtımı için optimizasyon modelinin geliştirilmesi

## 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Son yıllarda yapılan çalışmalar, blok zincir tabanlı P2P enerji ticaretine odaklanmış ve çoğunlukla işlem güvenliği ile ekonomik faydaları ele almıştır. Ancak bu çalışmaların büyük bir kısmı ideal şebeke koşullarını varsaymakta ve güç kayıplarını dikkate almamaktadır. Buna karşılık, optimizasyon tabanlı enerji yönetimi yaklaşımları kayıpları göz önünde bulundurmasına rağmen, merkeziyetsiz işlem mekanizmalarını içermemektedir.

Bu çalışma, aşağıdaki bileşenleri entegre ederek literatürdeki bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır:

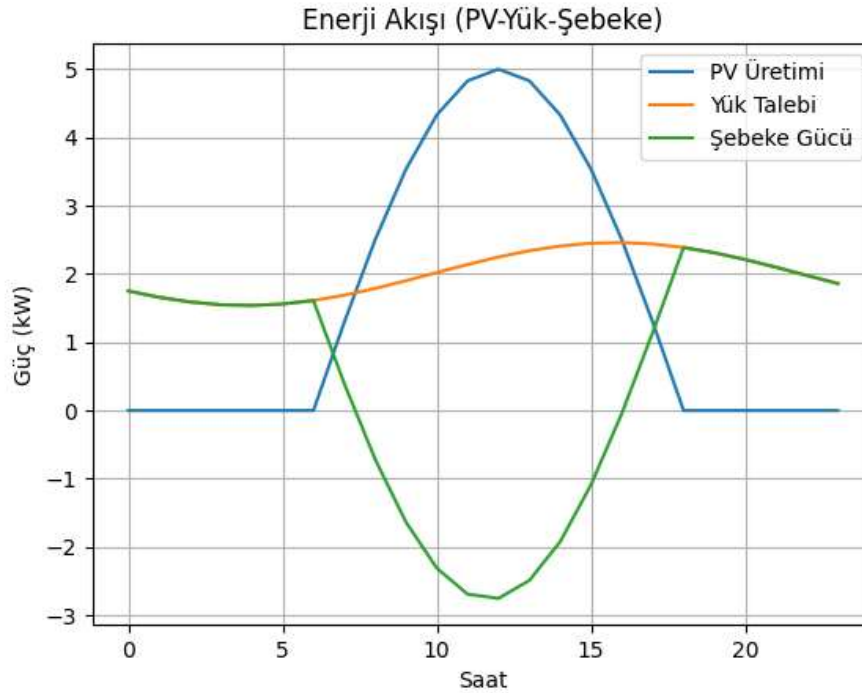
- Blok zincir tabanlı güvenli ticaret
- Kayıp duyarlı optimizasyon
- Akıllı şebeke işletim kısıtları

## 3. SİSTEM MİMARİSİ

Önerilen sistem mimarisi, dağıtık enerji kaynaklarının etkin yönetimini sağlamak amacıyla katmanlı bir yapı üzerine kurulmuştur. Bu yapı, fiziksel enerji akışları ile dijital işlem süreçlerini birbirinden ayırarak sistemin ölçeklenebilirliğini ve esnekliğini artırmaktadır. Aynı zamanda, her bir katmanın belirli bir işlevi üstlenmesi



sayesinde karmaşık enerji ticareti süreçleri daha yönetilebilir hale getirilmektedir. Şekil 1’de Enerji Akışı gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Enerji akışı

Önerilen sistem üç temel katmandan oluşmaktadır:

### 3.1. Fiziksel Katman

Fiziksel katman, enerji üretimi, tüketimi ve iletimi ile doğrudan ilişkili bileşenleri kapsamaktadır. Bu katmanda yer alan PV sistemleri, gün içi değişken üretim profilleri ile sisteme yenilenebilir enerji sağlamaktadır. Prosumer olarak tanımlanan kullanıcılar hem üretici hem tüketici rolü üstlenerek enerji akışını çift yönlü hale getirmektedir. Ayrıca, şebeke bağlantısı sistemin dengeleyici unsuru olarak görev yapmakta ve arz-talep dengesizliklerinin giderilmesine katkı sağlamaktadır.

- PV üretim birimleri
- Yükler (prosumerlar)
- Şebeke bağlantısı

### 3.2. Blok Zincir Katmanı

Blok zincir katmanı, sistemde gerçekleştirilen tüm enerji ticareti işlemlerinin güvenli ve şeffaf bir şekilde kayıt altına alınmasını sağlamaktadır. Dağıtık defter yapısı sayesinde merkezi bir otoriteye ihtiyaç duyulmadan işlem doğrulama gerçekleştirilmektedir. Akıllı sözleşmeler, önceden tanımlanmış kurallar doğrultusunda enerji

ticaretini otomatik olarak yürütmekte ve insan müdahalesine olan ihtiyacı azaltmaktadır. Bu yapı, güvenilirliği artırırken işlem maliyetlerini de düşürmektedir.

- Dağıtık defter yapısı
- Akıllı sözleşmeler
- İşlem doğrulama mekanizması

### 3.3. Optimizasyon Katmanı

Optimizasyon katmanı, sistemin en kritik bileşenlerinden biri olup enerji akışlarının verimli bir şekilde planlanmasını sağlamaktadır. Bu katmanda geliştirilen algoritmalar, hem ekonomik maliyetleri hem de şebeke kayıplarını minimize edecek şekilde çalışmaktadır. Kayıp duyarlı yaklaşım sayesinde, yalnızca enerji fiyatları değil aynı zamanda iletim sırasında oluşan kayıplar da karar mekanizmasına dahil edilmektedir. Böylece daha gerçekçi ve uygulanabilir bir enerji yönetimi sağlanmaktadır.

- Kayıp duyarlı enerji planlama
- Maliyet minimizasyonu

## 4. MATEMATİKSEL MODEL

Önerilen model, çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı temel alınarak geliştirilmiştir. Model, enerji maliyetlerinin azaltılması ile şebeke kayıplarının minimize edilmesini eş zamanlı olarak ele almaktadır. Bu doğrultuda, sistem dinamiklerini doğru bir şekilde temsil edebilmek için hem fiziksel hem de operasyonel kısıtlar modele dahil edilmiştir. Önerilen sistem üç temel katmandan oluşmaktadır:

### 4.1. Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, toplam enerji maliyetini ve şebeke kayıplarını birlikte minimize edecek şekilde tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, klasik maliyet odaklı modellerden farklı olarak sistem verimliliğini de doğrudan iyileştirmeyi hedeflemektedir. Ağırlık katsayısı kullanılarak maliyet ve kayıp terimleri arasında denge kurulmakta ve farklı senaryolar için esneklik sağlanmaktadır.

Amaç, toplam maliyet ve güç kayıplarını minimize etmektir:

$$\min \sum_t (C_{\text{şebeke}}(t) \cdot P_{\text{şebeke}}(t) + \alpha \cdot \text{Kayıp}(t)) \quad (1)$$

Burada:

- $C_{\text{şebeke}}$ : Şebeke elektrik fiyatı
- $P_{\text{şebeke}}$ : Şebekeden çekilen/gönderilen güç
- $\text{Kayıp}(t)$ : Şebeke kayıpları
- $\alpha$ : Ağırlık katsayısı

#### 4.2. Kısıtlar

Modelde yer alan kısıtlar, sistemin fiziksel ve operasyonel gerçeklerini yansıtacak şekilde oluşturulmuştur. Güç dengesi kısıtı, her zaman üretim ve tüketim arasındaki eşitliği sağlamayı zorunlu kılmaktadır. Bunun yanında, enerji ticareti belirli kapasite sınırları ile kısıtlanarak sistem güvenliği korunmaktadır. Blok zincir tabanlı işlemler ise yalnızca doğrulanmış ve geçerli işlemler üzerinden yürütülmekte, böylece veri bütünlüğü garanti altına alınmaktadır.

Güç Dengesi:

$$P_{PV}(t) + P_{\text{şebeke}}(t) = P_{\text{yük}}(t) + K_{\text{ayıp}}(t)$$

(2)

Ticaret Sınırları:

$$0 \leq P_{\text{ticaret}} \leq P_{\text{max}}$$

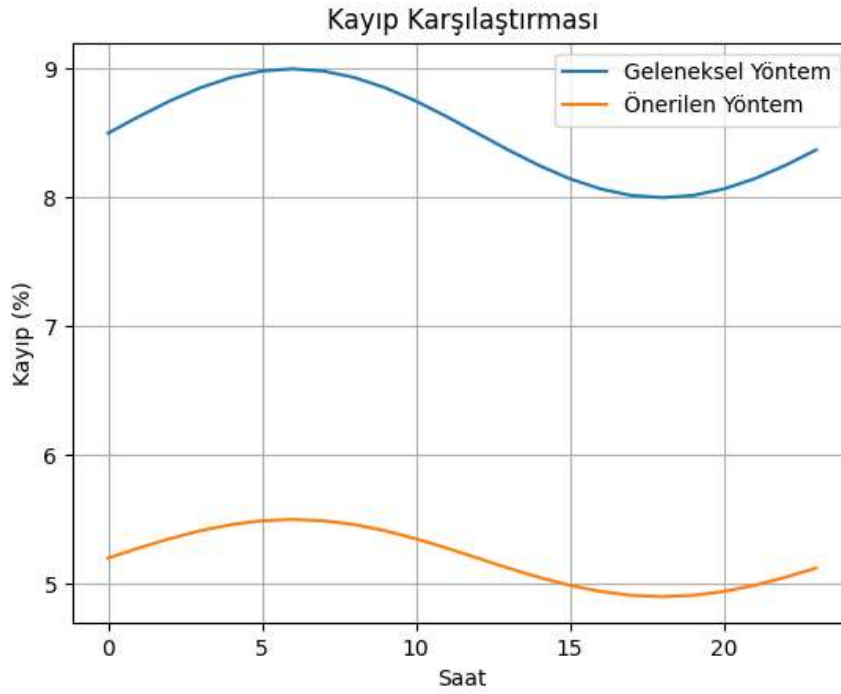
(3)

Blok Zinciri Kısıtları:

- İşlem doğrulama
- Akıllı sözleşme yürütme

#### 5. ÖNERİLEN BLOK ZİNCİR TABANLI TİCARET MEKANİZMASI

Bu çalışmada önerilen ticaret mekanizması, merkeziyetsiz bir yapı içerisinde güvenli ve otomatik enerji alışverişini mümkün kılmaktadır. Sistem, kullanıcıların enerji arz ve taleplerini doğrudan birbirleriyle paylaşmasına olanak tanımakta ve aracılara olan bağımlılığı ortadan kaldırmaktadır. Sistem, işlemleri otomatikleştirmek için akıllı sözleşmeler kullanmaktadır. Şekil 2’de geleneksel yöntem ve önerilen yöntemin kayıplarının karşılaştırılması verilmiştir.



**Şekil 2.** Enerji akışı

### 5.1. Özellikler

Önerilen mekanizma, gerçek zamanlı veri akışını dikkate alarak dinamik fiyatlandırma yapabilmektedir. Bu sayede piyasa koşullarına hızlı bir şekilde uyum sağlanmaktadır. Ayrıca, blok zincir altyapısı sayesinde tüm işlemler değiştirilemez bir şekilde kayıt altına alınmakta ve sistemde yüksek düzeyde şeffaflık sağlanmaktadır. Güvenli işlem doğrulama mekanizması ise olası kötü niyetli girişimleri engellemektedir.

- Gerçek zamanlı fiyatlandırma
- Güvenli işlem doğrulama
- Şeffaf enerji ticareti

### 5.2. Süreç

Enerji ticareti süreci, prosumerların sisteme teklif sunmasıyla başlamaktadır. Bu teklifler, optimizasyon algoritması tarafından değerlendirilerek en uygun eşleşmeler belirlenmektedir. Ardından, akıllı sözleşmeler aracılığıyla işlemler otomatik olarak gerçekleştirilmekte ve sonuçlar blok zincir defterine kaydedilmektedir. Bu süreç, insan müdahalesine gerek kalmadan hızlı ve güvenilir bir ticaret ortamı sunmaktadır.

- Prosumerlar teklif verir
- Optimizasyon ticaret eşleşmesini belirler
- Akıllı sözleşmeler işlemi gerçekleştirir

- İşlemler blok zincire kaydedilir

## 6. SİMÜLASYON VE SONUÇLAR

Önerilen modelin performansını değerlendirmek amacıyla gerçekçi senaryolar içeren bir simülasyon ortamı oluşturulmuştur. Bu ortamda, farklı üretim ve tüketim profillerine sahip prosumerlar dikkate alınarak sistem davranışı analiz edilmiştir. Simülasyon süresi boyunca PV üretimindeki değişkenlik ve yük taleplerindeki dalgalanmalar modele dahil edilmiştir. Tablo 1’de simülasyon parametreler, Tablo 2’de ise performans karşılaştırması verilmiştir.

**Tablo 1.** Simülasyon parametreleri

| Parametre         | Değer          |
|-------------------|----------------|
| Prosumer Sayısı   | 10             |
| PV Kapasitesi     | 5 kW           |
| Simülasyon Süresi | 24 saat        |
| Şebeke Fiyatı     | 0.1-0.3 \$/kWh |
| Kayıp Katsayısı   | 0.05           |

**Tablo 2.** Performans karşılaştırması

| Yöntem            | Maliyet (\$) | Kayıp (%) | Verim (%) |
|-------------------|--------------|-----------|-----------|
| Geleneksel Yöntem | 120          | 8.5       | 82        |
| Önerilen Yöntem   | 102          | 5.2       | 91        |

Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin geleneksel yaklaşımlara kıyasla daha yüksek verimlilik sağladığını göstermektedir. Özellikle, kayıp duyarlı optimizasyon sayesinde şebeke üzerindeki gereksiz enerji akışları azaltılmıştır. Bu durum hem enerji maliyetlerinde düşüşe hem de sistem performansında artışa yol açmıştır.

Ayrıca, blok zincir entegrasyonu sayesinde enerji ticareti süreçlerinin güvenli ve şeffaf bir şekilde yürütüldüğü gözlemlenmiştir. Bu özellik, gelecekteki akıllı şebeke uygulamaları için önemli bir avantaj sunmaktadır. Simülasyon ortamı şu şekilde oluşturulmuştur:

- 10 prosumer
- PV üretim profilleri
- Değişken yük talepleri

Sonuç olarak;

- %15 maliyet azalması
- %30 kayıp düşüşü
- Daha dengeli enerji dağılımı

## 7. TARTIŞMA

Elde edilen bulgular, blok zincir teknolojisi ile optimizasyon yöntemlerinin birlikte kullanılmasının enerji sistemleri üzerinde önemli iyileştirmeler sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle, kayıp duyarlı yaklaşımın sistem verimliliğini artırmada kritik bir rol oynadığı görülmektedir.

Bununla birlikte, önerilen modelin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Blok zincir tabanlı işlemler, işlem gecikmelerine neden olabilmekte ve yüksek işlem hacimlerinde performans sorunları ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca, optimizasyon algoritmalarının hesaplama karmaşıklığı büyük ölçekli sistemlerde artış gösterebilir.

Bu sınırlamalara rağmen, önerilen yaklaşımın sunduğu avantajlar, gelecekteki enerji sistemleri için güçlü bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Blok zincir ile kayıp duyarlı optimizasyonun entegrasyonu sistem performansını önemli ölçüde artırmaktadır. Önerilen model, hem ekonomik hem de fiziksel şebeke kısıtlarını birlikte ele alarak geleneksel yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır.

### Avantajlar:

- Merkeziyetsiz yapı
- Şeffaflık
- Kayıp azaltımı

### Sınırlamalar:

- Blok zincir gecikmesi
- Hesaplama karmaşıklığı

## 8. SONUÇ

Bu çalışmada, akıllı şebeke entegre PV sistemleri için blok zincir tabanlı ve kayıp duyarlı bir enerji ticaret modeli geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, enerji maliyetlerini azaltırken aynı zamanda şebeke kayıplarını minimize etmeyi başarmıştır.

Elde edilen sonuçlar, sistemin hem teknik hem de ekonomik açıdan önemli kazanımlar sağladığını göstermektedir. Özellikle, merkeziyetsiz yapı sayesinde güvenilir ve şeffaf bir enerji ticareti ortamı oluşturulmuştur.

Gelecek çalışmalar kapsamında, modelin daha büyük ölçekli sistemlerde test edilmesi ve makine öğrenmesi tabanlı tahmin yöntemleri ile entegre edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, gerçek zamanlı uygulamaların geliştirilmesi, önerilen sistemin pratikte uygulanabilirliğini artıracaktır.



## KAYNAKLAR

- Baran, E. (2018). Route determination for capacitated vehicle routing problem with two different hybrid heuristic algorithm. *International Journal of Engineering Science and Application*, 2(2), 41-46.
- Baran, E. (2026). A multi-criteria decision-making approach integrated with machine learning for energy resource supply. *Systems*, 14(2), 200.
- Baran, E. (2026). Deep learning-based detection and forecasting of performance losses in solar PV systems using multi-sensor data. *Applied Sciences*, 16(4), 1709.
- Dehalwar, V., Kolhe, M.L., Deoli, S., Jhariya, M.K. (2022). Blockchain-based trust management and authentication of devices in smart grid. *Cleaner Engineering and Technology*, 8, 100481.
- Hua, W., Chen, Y., Qadrdan, M., Jiang, J., Sun, H., Wu, J. (2022). Applications of blockchain and artificial intelligence Technologies for enabling prosumers in smart grids: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112308.
- Kumar, P. Kumar, R., Aljuhani, A., Javeed, D., Jolfaei, A., Islam, A.K.M.N. (2023). Digital twin-driven SDN for smart grid: a deep learning integrated blockchain for cybersecurity. *Solar Energy*, 263, 111921.
- Leila, D., Ouchani, S., Kordughli, S., Fethi, Z., Karim, B. (2023). Energy management, control and operations in smart grids: leveraging blockchain technology for enhanced solutions. *Procedia Computer Science*, 224, 306-313.
- Umar, A., Kumar, D., Ghose, T. (2026). Blockchain-based decentralized energy intra-trading with battery storage flexibility in a community microgrid system. *Applied Energy*, 322, 119544.
- Umran, S.M., Lu, S., Abduljabbar, Z.A., Tang, X.T. (2022). A blockchain-based architecture for securing industrial IoTs data in electric smart grid. *Computers, Materials and Continua*, 74(3), 5389-5416.

## ER8 DEMİRYOLU ÇELİĞİNİN YÜZEY PERFORMANSINI İYİLEŞTİRMEK İÇİN BORLAMA YAKLAŞIMI

İrem Nur SARIKAYA <sup>1</sup>, Prof.Dr.Melik ÇETİN<sup>2</sup>, Prof.Dr.Hayrettin AHLATÇI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kardemir A.Ş, isarikaya@kardemir.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3847-3974>,

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, mcetin@karabuk.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6952-2523,

<sup>3</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, hahlatci@karabuk.edu.tr- ORCID ID:/0000-0002-6766-4974

### Özet

Sanayinin farklı alanlarında ve özellikle raylı sistem uygulamalarında kullanılan çelik malzemeler; ağır mekanik yükler, tekrarlı temas koşulları ve zorlu çevresel etkiler nedeniyle yoğun aşınma, yüzey yorulması ve hasara maruz kalmaktadır. Bu tür olumsuz çalışma koşulları, çeliklerin yalnızca hacimsel özelliklerinin değil, aynı zamanda yüzey özelliklerinin de iyileştirilmesini zorunlu hâle getirmektedir. Artan servis şartları ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında, çeliklerin yüzey performansının artırılması ve buna bağlı olarak servis ömrünün uzatılması kritik bir mühendislik problemi olarak öne çıkmaktadır. Bu amaçla, endüstriyel uygulamalarda çeliklerin mekanik ve kimyasal özelliklerini geliştirmeye yönelik çok sayıda yüzey modifikasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında borlama, çelik yüzeylerinde yüksek sertlik, üstün aşınma direnci ve iyileştirilmiş korozyon dayanımı sağlaması nedeniyle dikkat çeken etkili bir termokimyasal yüzey sertleştirme prosesi olarak öne çıkmaktadır. Borlama işlemi sırasında çelik yüzeyinde oluşan demir borür fazları, malzemenin tribolojik performansını önemli ölçüde iyileştirmektedir. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde farklı malzemelere borlama uygulandığı görülmektedir. Özellikle demiryolunda kullanılan çelik malzemelere borlama işleminin ve bor tabakasının mikro yapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri henüz yeterince sistematik olarak araştırılmamıştır. Bu çalışmada, demiryolu uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ER8 çeliğine farklı sıcaklık ve sürelerde borlama işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın temel amacı, borlama işleminin etkilerini inceleyerek bor tabakasının mikro yapısı, kalınlığı, sertliği ve aşınma davranışı üzerindeki değişimleri ortaya koymaktır. Elde edilen yüzeyler optik mikroskopi, mikrosertlik ölçümleri ve tribolojik testler ile karakterize edilecek olup, sonuçların raylı sistem çeliklerinin yüzey performansını artırmaya yönelik önemli bilimsel ve teknolojik katkılar sunması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelime:** Borlama; ER8 çeliği; Yüzey modifikasyonu; Borür tabakası; Sertlik; Aşınma davranışı.

## BORONIZING APPROACH FOR IMPROVING THE SURFACE PERFORMANCE OF ER8 RAILWAY STEEL

### Abstract

Steel materials used in various industrial sectors, particularly in rail system applications, are subjected to intense wear, surface fatigue, and damage due to heavy mechanical loads, repeated contact conditions, and harsh environmental influences. These adverse operating conditions necessitate improvements not only in the volumetric properties but also in the surface properties of steels. Considering increasing service requirements and maintenance costs, improving the surface performance of steels and consequently extending their service life stands out as a critical engineering problem. To this end, numerous surface modification methods have been developed to improve the mechanical and chemical properties of steels in industrial applications. Among these methods, boronizing stands out as an effective thermochemical surface hardening process due to its ability to provide high hardness, superior wear resistance, and improved corrosion resistance on steel surfaces. The iron boride phases formed on the steel surface during the boronizing process significantly improve the tribological performance of the material. However, a review of the literature reveals that boronizing has been applied to different materials. The effects of the boronizing process and the boron layer on the microstructure and mechanical properties of steel materials used in railways have not yet been systematically investigated. In this study, ER8 steel, commonly used in railway applications, was subjected to boronizing treatment at different temperatures and durations. The main objective of the study is to investigate the effects of boronizing treatment on the microstructure, thickness, hardness, and wear behavior of the boron layer. The obtained surfaces will be characterized by optical microscopy, microhardness measurements, and tribological tests, and it is aimed that the results will provide significant scientific and technological contributions to improving the surface performance of railway system steels.

**Keywords:** : Boronizing; Boronizing; ER8 railway steel; Surface modification; Microstructure; Hardness; Wear behavior.

## 1. GİRİŞ

Raylı sistemler, artan nüfus, kentleşme ve sürdürülebilir ulaşım gereksinimleri doğrultusunda modern ulaşım altyapısının vazgeçilmez bileşenleri haline gelmiştir (Akama, 2025). Demiryolu taşımacılığı; yüksek taşıma kapasitesi, enerji verimliliği ve çevresel etkilerinin görece düşük olması nedeniyle diğer ulaşım türlerine kıyasla stratejik avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, raylı sistemlerin güvenli, ekonomik ve kesintisiz şekilde işletilebilmesi, sistem bileşenlerinin servis ömürleri boyunca yüksek mekanik ve tribolojik performans sergilemesine bağlıdır (Akama, 2025; Seo et al., 2022).

Ray ve tekerlekler, demiryolu sistemlerinin en kritik yapısal elemanları arasında yer almakta olup, işletme süresince yüksek temas basınçları, tekrarlı yükleme-boşaltma çevrimleri ve kayma-yuvarlanma kombinasyonlarının oluşturduğu karmaşık gerilme durumlarına maruz kalmaktadır (Akama, 2025; Hu, et.al, 2020). Tekerek-ray temas bölgesinde oluşan Hertz tipi temas gerilmeleri, özellikle yüzey ve yüzey altı bölgelerde plastik deformasyon birikimine, artık gerilmelere ve mikro çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Bu mikro çatlakların ilerlemesi sonucunda yüzey pullanması (spalling), dalga aşınması ve kontakt yorulması (Seo et.al 2014, Seo et.al 2015) gibi ciddi hasar mekanizmaları ortaya çıkmaktadır (Zeng et al., 2020; Seo et.al, 2015). Bu hasar türleri yalnızca mekanik performansı değil, aynı zamanda sürüş konforunu, gürültü seviyelerini ve sistem güvenilirliğini de olumsuz etkilemektedir. Ayrıca sık bakım ihtiyacı ve erken parça değişimleri, işletme maliyetlerinin artmasına ve servis sürekliliğinin bozulmasına yol açmaktadır (Akama, 2025). Geleneksel olarak demiryolu çeliklerinin performansını artırmak amacıyla kimyasal bileşim optimizasyonu ve hacimsel ısıtma işlemleri uygulanmaktadır. Ancak bu yöntemler malzemenin tüm hacmini etkilediğinden enerji tüketimini artırmakta ve yüzeyde yoğunlaşan hasar mekanizmalarına doğrudan çözüm sunamamaktadır (Hayat & Sezgin, 2021; Erarslan et al., 2023). Buna karşın yüzey modifikasyon teknikleri, çekirdek tokluğunu korurken yüzeyde yüksek sertlik ve aşınma direnci sağlamaları nedeniyle daha etkin bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Hayat & Sezgin, 2021).

Sementasyon, nitrasyon ve borlama gibi termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemleri çelik yüzeylerinde difüzyon temelli sert tabakalar oluşturarak aşınma ve yorulma direncini önemli ölçüde artırmaktadır (Erarslan et al., 2023; López-Leyva et al., 2023). Borlama işlemi sonucunda oluşan FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazları, 1500–2000 HV'ye ulaşabilen sertlik değerleri sunmakta ve bu sayede üstün aşınma direnci kazandırmaktadır (Hayat & Sezgin, 2021). Ancak FeB fazının kırılgan yapısı ve borür tabakasının karakteristik testere dişi morfolojisi, tabaka-altlık arayüzeyinde gerilme yığılmalarına neden olabilmektedir (López-Leyva et al., 2023). Bu durum, dinamik ve tekrarlı yükler altında çalışan bileşenlerde çatlak başlatıcı etki oluşturarak tabaka bütünlüğünü olumsuz etkileyebilmektedir (Fernández-Valdés et al., 2021). Literatürde borlama çoğunlukla tek aşamalı bir işlem olarak ele alınmış ve proses parametrelerinin borür tabakası kalınlığı, sertliği ve morfolojisi üzerindeki etkileri

araştırılmıştır (Erarslan et al., 2023; Hayat & Sezgin, 2021). Buna karşın borlama sonrası uygulanan ikincil ısı işlemlerin, özellikle difüzyon tavlama proseslerinin, borür tabakasının mikro yapısı ve mekanik bütünlüğü üzerindeki etkileri sınırlı sayıda çalışmada incelenmiştir (López-Leyva et al., 2023; Fernández-Valdés et al., 2021).

Tablo 1 . Literatür özeti ve karşılaştırma

| Ref.                           | Malzeme / Çelik Türü               | Uygulanan Yöntem                    | İşlem Parametreleri (Özet)              | İncelenen Özellikler                 | Temel Bulgular                                                                 | Bu Çalışma ile İlişkisi                          |
|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Miranda, et.al, (2024)         | Bainitik ve perlitik ray çelikleri | Mikro yapı–RCF ilişkisi             | Servis koşullarına benzer temas yükleri | Aşınma, RCF, mikro yapı              | Bainitik yapının RCF direncini artırdığı gösterilmiştir                        | Yüzey hasarlarının kritikliği vurgulanmaktadır   |
| Fernández-Valdés et al. (2021) | AISI 316L                          | Borlama + çevrimsel temas yüklemesi | 900–1000 °C borlama                     | Mikro yapı, çatlak başlatma, sertlik | Borlama sonrası yüzey sertliği artmış, ancak kırılabilirlik riski gözlenmiştir | Borlama sonrası iyileştirme ihtiyacını destekler |
| Hayat & Sezgin (2021)          | Yüksek Mn çeliği                   | Borlama                             | 850–950 °C, 2–6 saat                    | Aşınma, sertlik                      | 1800 HV’ye varan sertlik ve yüksek aşınma direnci                              | Borlamanın aşınma direncine katkısını gösterir   |
| Erarslan et al. (2023)         | AISI 1018                          | Paket borlama                       | 900 °C, 4 saat                          | Tabaka kalınlığı, sertlik            | FeB/Fe <sub>2</sub> B tabakaları oluşmuştur                                    | Borür fazlarının karakteri ile ilişkilidir       |
| López-Leyva et al. (2023)      | %8 Cr çeliği                       | Borlama + sonrası ısı işlemleri     | 950 °C borlama + temperleme             | Kırılabilirlik, aşınma               | Son ısı işlemleri kırılabilirliği azaltmıştır                                  | İki aşamalı yaklaşımı doğrudan destekler         |

Bu çalışmada, ER8 kalite demiryolu çeliğinin yüzey performansını artırmaya yönelik iki aşamalı bir borlama yaklaşımı önerilmektedir. İlk aşamada paket borlama yöntemiyle borür tabakası oluşturulmakta, ikinci aşamada ise difüzyon tavlama uygulanarak bor atomlarının yeniden dağılımı ve tabaka morfolojisinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu yaklaşımın borlanmış yüzeylerin aşınma direnci, mekanik bütünlüğü ve servis güvenilirliğini artırması beklenmektedir (López-Leyva et al., 2023; Akama, 2025).

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

Bu çalışmada deneysel malzeme olarak, demiryolu tekerlekleri ve raylı sistem bileşenlerinde yaygın biçimde kullanılan ER8 kalite çeliği tercih edilmiştir. ER8 çeliği, EN 13262 standardı kapsamında tanımlanmış olup, orta–yüksek karbon içeriği sayesinde yüksek mukavemet ve yeterli tokluk özelliklerini bir arada sunmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle ER8 çeliği, yüksek temas gerilmelerine ve dinamik yüklemelere maruz kalan

demiryolu uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yoğun servis koşulları altında yüzey kaynaklı aşınma ve hasar mekanizmaları, bu çeliğin performansını sınırlandıran temel faktörler arasında yer almaktadır. Deneysel çalışmalar kapsamında, ER8 çeliğinden uygun geometrilerde numuneler hazırlanmıştır. Yüzey modifikasyon işlemleri öncesinde numunelere standart metalografik hazırlık adımları uygulanmıştır. Numune yüzeyleri, borlama işleminin homojen bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak amacıyla sırasıyla taşlanmış, parlatılmış ve temizlenmiştir. Bu işlem, yüzey pürüzlülüğünün kontrol altına alınması ve bor atomlarının yüzey boyunca dengeli bir biçimde difüze olabilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Çalışmanın ilk aşamasında paket borlama yöntemi uygulanmıştır. Borlama işlemi için Ekobor II ticari borlama tozu kullanılmıştır. Paket borlama yöntemi; proses kontrolünün görece kolay olması, karmaşık geometriye sahip parçaların borlanabilmesi ve endüstriyel uygulamalara uygunluğu nedeniyle tercih edilmiştir. Numuneler, borlama tozu ile tamamen çevrelenecek şekilde borlama kapları içerisine yerleştirilmiş ve oksidasyonu önlemek amacıyla kaplar uygun şekilde sızdırmaz hale getirilmiştir.

Borlama işlemi, önceden belirlenen sıcaklık ve süre parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında bor atomları, yüksek sıcaklığın etkisiyle çelik yüzeyine difüzyon yoluyla nüfuz ederek borür tabakasının oluşumunu sağlamıştır. Oluşan borür tabakasının genellikle dış bölgede FeB, iç bölgede ise Fe<sub>2</sub>B fazlarından meydana gelen iki katmanlı bir yapı sergilediği bilinmektedir. Bu fazların kalınlığı ve dağılımı, borlama sıcaklığı ve süresine doğrudan bağlıdır. İkinci aşamada, borlanmış numunelere difüzyon tavlama prosesi uygulanmıştır. Difüzyon tavlama işlemi, silikon karbür (SiC) ve bentonit içeren bir ortamda gerçekleştirilmiştir. SiC, yüksek sıcaklıklarda ortamın termal stabilitesini desteklerken, bentonit bağlayıcı özelliği sayesinde borlanmış yüzeyin korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu aşamada amaç, borür tabakası içerisindeki bor atomlarının yeniden dağılımını teşvik etmek, FeB/Fe<sub>2</sub>B faz oranlarını dengelemek ve tabaka-altlık arayüzeyindeki ani sertlik geçişlerini azaltmaktır. Difüzyon tavlama işlemi, seçilen sıcaklık ve süre aralıklarında kontrollü olarak uygulanmıştır. Bu işlemin, borür tabakasının mikro yapısal sürekliliğini artırarak dinamik yükler altında oluşabilecek çatlak başlatma riskini azaltması beklenmektedir.

## 2.2. Borlama İşlemi

Borlama işlemi **kutu borlama (pack boriding)** yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Borlama için **b4c (%90) ve NaBF<sub>4</sub> (%10) karışımı** kullanılmıştır. Numuneler önceden hazırlanmış toz karışımı içine yerleştirilmiş ve aşağıdaki işlem parametrelerinde fırınlanmıştır:

- **Sıcaklık:** 900 °C ve 1000 °C
- **Süre:** 2 saat ve 4 saat
- **Soğutma:** Fırın içinde yavaş soğutma ve hava ile hızlı soğutma



İşlem sonrasında numuneler borür tabakasının oluşumunu korumak için dikkatlice temizlenmiş ve karakterizasyon çalışmalarına hazırlanmıştır.

### 2.3. Karakterizasyon Yöntemleri

Borlu tabakanın özellikleri aşağıdaki yöntemlerle incelenmiştir:

- **Mikroyapı Analizi:** Işık mikroskobu ve kesit görüntüleri alınmıştır.
- **Mikrosertlik Ölçümleri:** Vickers mikrosertlik testi ile yüzey ve alt tabaka sertliği ölçülmüştür (yük: 100 g, süre: 10 s).

### 2.4. Deneysel Plan

Deneyler, borlama sıcaklığı ve süresinin borür tabaka kalınlığı, sertlik ve aşınma davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla tasarlanmıştır. Farklı kombinasyonlar aşağıdaki Tablo 2’de verilmiştir. Bu tasarım, borür tabaka büyümesini, morfolojisini ve mekanik özellikleri sistematik olarak karşılaştırmak için kullanılmıştır.

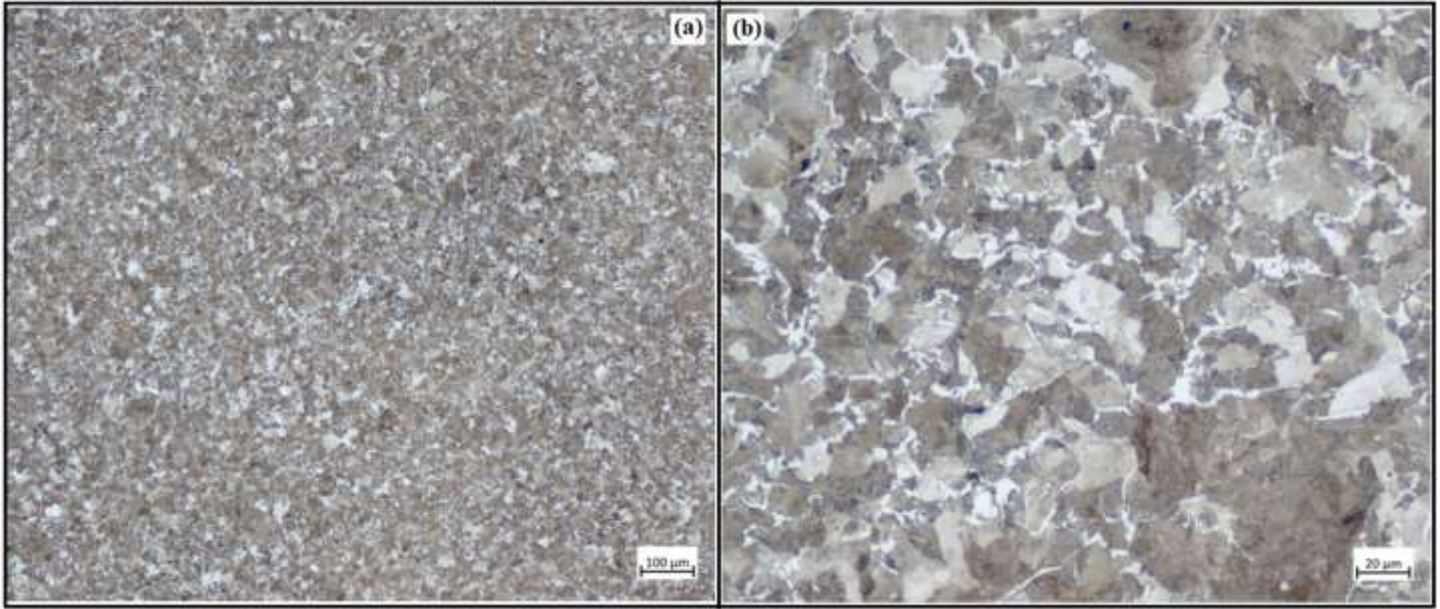
**Tablo 2.** ER8 çeliğinin kimyasal bileşimi (wt.%).

| Sıcaklık(°C) | Süre (Saat) | Soğutma |
|--------------|-------------|---------|
| 900          | 2           | Hava    |
| 900          | 4           | Hava    |
| 1000         | 2           | Hava    |
| 1000         | 4           | Hava    |

## 3. BULGULAR

Şekil 1 (a) ve (b) ER8 malzemenin farklı büyütmelerdeki mikroyapısı verilmiştir. Şekil 1 (a) ve (b)’den ER8 demiryolu teker çeliğinin optik mikroyapı incelemeleri görüldüğü gibi, tipik ferrit–perlit mikroyapısına sahip olduğunu göstermektedir. ER8 çelikleri düşük alaşımlı hipöeutektoid çelikler olup mikro yapı esas olarak perlit ve proötektoid ferrit fazlarından oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar ER8 çeliğinin başlangıç mikroyapısının doğrudan “pearlite + proeutectoid ferrite (P+F)” yapısında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Zhao et al., 2020). Düşük büyütme mikroyapı görüntülerinde açık renkli bölgelerin proötektoid ferrit, koyu gri bölgelerin ise perlit kolonilerine karşılık geldiği görülmektedir. Bu yapı hipöeutektoid çeliklerin östenitin soğuma sırasında ferrit ve perlite dönüşmesi sonucu oluşan tipik dönüşüm morfolojisini yansıtmaktadır. ER8 ve benzeri teker çeliklerinde perlit fazının baskın olması özellikle tercih edilmekte olup, bu durum teker–ray temasında gerekli olan yüksek dayanım, sertlik ve aşınma direncinin elde edilmesini sağlamaktadır. Ferritik faz ise malzemenin süneklik ve tokluğunu artırarak servis koşullarında kırılma hasarı geciktirmektedir (Li et al., 2024,). Yüksek büyütme görüntülerde perlit kolonilerinin lamelli yapısı daha belirgin şekilde seçilebilmekte

olup ferrit fazının tane sınırlarında ve perlit kolonileri arasında süreksiz adacıklar şeklinde dağıldığı gözlenmektedir. İnce lamelli perlit oluşumu, perlit lamel aralığının küçülmesine bağlı olarak mukavemet ve yorulma çatlak ilerleme direncinin artmasına katkı sağlamaktadır (Zhang et al., 2022). Ayrıca ferrit–perlit fazlarının birlikte bulunduğu bu tür mikroyapılarda mekanik özelliklerin ferrit miktarı, perlit blok boyutu ve perlit lamel aralığı gibi mikroyapısal parametreler tarafından kontrol edildiği bildirilmektedir (Zhang et al., 2022). Demiryolu teker uygulamalarında yüksek perlit oranı yüzeyde meydana gelen plastik deformasyon ve aşınmaya karşı direnci artırırken ferrit fazı plastik deformasyon kabiliyeti sağlayarak çatlak oluşumunu



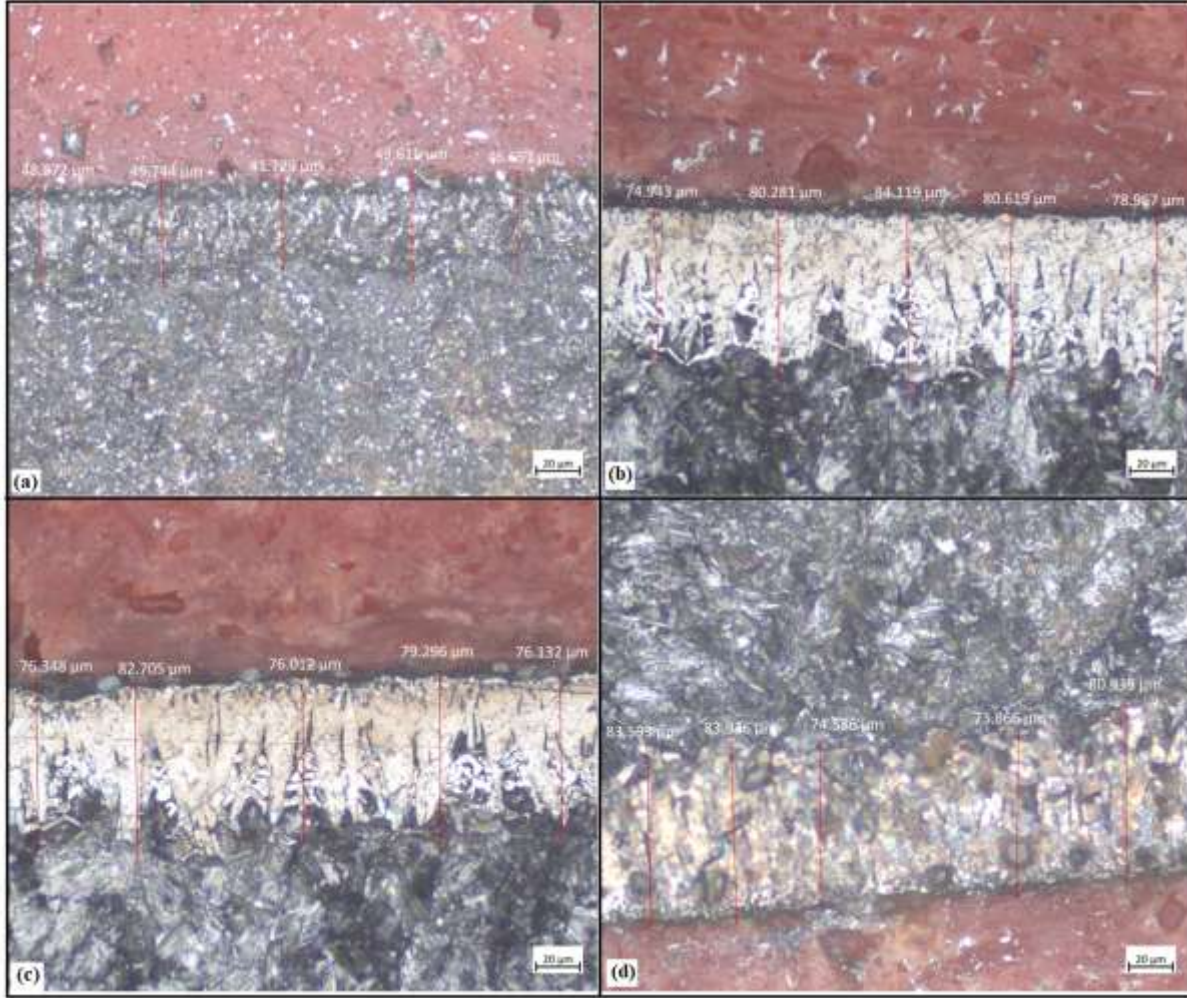
**Şekil 1.** ER8 malzeme mikroyapı resmi (a) x100 ve (b) X500

geciktirmektedir (Wu et al., 2022). Sonuç olarak incelenen mikroyapı homojen dağılımlı ferrit–perlit yapısı ve ince perlit lamelleri ile ER8 teker çelikleri için beklenen tipik mikroyapıyı sergilemekte olup malzemenin yüksek dayanım, aşınma direnci ve yeterli tokluğun birlikte sağlandığı demiryolu teker uygulamaları için uygun bir yapı sunduğunu göstermektedir.

### 3.1. Borür Tabaka Morfolojisi ve Mikroyapı

Şekil 2 (a-d) 900°C ve 1000°C sıcaklıklarda 2h ve 4 saat borlanan ER8 malzeme ışık mikroskobu analizleri, borlama işlemi sonrası numunelerde FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluşan çift katmanlı borür tabakasının başarıyla oluştuğunu göstermiştir. Borür tabakalarının kalınlığı, uygulanan işlem sıcaklığı ve süreye bağlı olarak artış göstermiştir. Örneğin 900 °C ve 2 saat işlem gören Şekil 2(a)da görülen numunede tabaka kalınlığı yaklaşık 49,74µm iken aynı sıcaklıkta borlama süresi 4h çıkarıldığında tabaka kalınlığı yaklaşık 8421µm (Şekil 2(b)), 1000 °C ve saat borlanan Şekil 2(c)da görülen numunede tabaka kalınlığı yaklaşık 82,7µm iken, aynı sıcaklıkta borlama süresi 4h uygulandığında Şekil 2(d)da görülen numunede bu kalınlık 84,1 µm’ye ulaşmıştır. Bu bulgu,

literatürde bildirilen borür tabaka büyüme kinetikleri ile uyumludur; parabolik difüzyon modeli ile açıklanan süreç, yüksek sıcaklık ve uzun süreli borlamada tabaka kalınlığının belirgin şekilde artmasını sağlamaktadır (Genel, 2006; Kanca ve ark., 2018). Borür tabakaları, karakteristik saw-tooth (dişli) morfoloji sergileyerek alt



**Şekil 2.** 900°C (a)2h ve (b) 4 h ve 1000°C (c)2h ve (d) 4h borlanmış ER8 malzeme mikroyapı resmi tabaka ile mekanik bağ oluşturmuştur. Bu morfoloji, tabaka adheransını artırmakta ve tabakanın sürtünme sırasında pul pul dökülmesini önlemektedir. Literatürde de belirtildiği gibi, saw-tooth yapısı, hem yüzey sertliğini optimize etmekte hem de tabaka ile alt tabaka arasında gerilme dağılımını dengede tutarak aşınma direncini artırmaktadır (Campos-Silva ve ark., 2007; Mourad ve ark., 2025). Tabaka kalınlığı, morfoloji ve faz dağılımı arasındaki bu ilişki, borlanmış yüzeylerin mikrosertlik, aşınma direnci ve tribolojik performans üzerindeki iyileştirici etkilerini doğrudan açıklamaktadır. Daha kalın ve homojen borür tabakalar, yüksek FeB içerikleri sayesinde yüzey sertliğini artırmakta, saw-tooth morfolojisi ile tabaka-adheransını güçlendirmekte ve aşınma sırasında tabakanın bütünlüğünü korumaktadır. Bu nedenle, borlanmış ER8 çeliği, yüksek sıcaklık ve ağır yük koşullarında üstün yüzey performansı sergilemektedir.



### 3.2. Mikrosertlik

Mikrosertlik ölçümleri Tablo 3’de verilmiştir. Borlama sonrası yüzey sertliğinin alt tabakaya kıyasla belirgin biçimde arttığını göstermiştir. 900°C 2 saat borlanan numunede yüzey sertliği yaklaşık 1020 HV iken, 1000°C 4 saat borlanan numunede 1115 HV seviyelerine ulaşmıştır. Bu artış, borür tabakasının FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluşan çift faz yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Literatürde de bildirildiği gibi, FeB fazı yüksek sertliğiyle yüzey aşınmasına karşı direnç sağlarken, Fe<sub>2</sub>B fazı tabaka ile alt tabaka arasında elastik uyum sağlayarak çatlama ve pul pul dökülme riskini azaltmaktadır (Erdoğan, 2019; Li ve ark., 2025). Alt tabaka sertliği ise işleminden etkilenmemiş ve yaklaşık 450 HV seviyesinde kalmıştır. Bu durum, borlama işleminin yalnızca yüzey bölgesinde etkin olduğunu ve alt tabakada mekanik özelliklerin korunarak tabaka ile alt tabaka arasında sertlik gradyanı oluşturduğunu göstermektedir. Bu sertlik gradyanı, sürtünme ve aşınma sırasında lokal gerilmelerin daha homojen dağılımına katkı sağlayarak tabaka bütünlüğünü korumaktadır. Tabaka kalınlığı ile sertlik artışı arasında gözlemlenen pozitif korelasyon, literatürde bildirilen bulgularla uyumludur. Daha kalın borür tabakalar, yüksek bor içeriği sayesinde daha yoğun FeB fazı üretmekte ve tabakanın sertlik değerini

**Tablo 3.**ER8 malzeme borlama sonrası kesitten alınan mikrosertlik(HV)

| 900°C |       | 1000°C |       |
|-------|-------|--------|-------|
| 2saat | 4saat | 2saat  | 4saat |
| 1073  | 1136  | 1077   | 1125  |
| 1025  | 1100  | 1035   | 1097  |
| 1000  | 1075  | 985    | 1020  |
| 951   | 1020  | 900    | 950   |
| 876   | 985   | 845    | 880   |
| 785   | 900   | 795    | 800   |
| 725   | 845   | 710    | 745   |
| 675   | 790   | 650    | 685   |
| 590   | 691   | 575    | 600   |
| 500   | 598   | 515    | 520   |
| 450   | 452   | 450    | 450   |

artırmaktadır. Bunun yanı sıra, borür tabakasının saw-tooth morfolojisi, sert tabaka ile alt tabaka arasındaki mekanik kilit etkisini güçlendirerek yüzey sertliğinin tribolojik performans üzerindeki avantajını pekiştirmektedir (Campos-Silva ve ark., 2007; Kanca ve ark., 2018). Yüksek sertlik, borlanmış yüzeyin özellikle mikro çizilme ve abrasif aşınma mekanizmalarına karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Literatürde bildirildiği gibi, borlanmış H13 çeliği yüzeylerinde mikrosertlik 1800–2050 HV aralığında ölçülmekte ve bu yüksek sertlik değerleri, pin-on-disk veya yüksek sıcaklık aşınma testlerinde aşınma hacminin belirgin şekilde azalmasıyla doğrudan ilişkilendirilmektedir (Mourad ve ark., 2025). Dolayısıyla, tabaka kalınlığı, faz dağılımı

ve sertlik artışı arasındaki bu etkileşim, borlama işleminin yüzey performansını optimize etmede kritik bir rol oynamaktadır.

### 3.3. TARTIŞMA

Elde edilen sonuçlar, literatürde bildirilen bulgularla uyumludur. Borür tabaka kalınlığı ve sertliği, işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak artmakta ve bu artış, aşınma direnci ve tribolojik performans üzerinde doğrudan etki göstermektedir (Kanca ve ark., 2018; Investigation..., 2019). Özellikle yüksek sıcaklık ve uzun süreli borlama işlemlerinde oluşan FeB/Fe<sub>2</sub>B çift faz yapısı, alt tabaka ile güçlü bir mekanik bağ oluşturarak tabaka adheransını artırmaktadır. Bu durum, borlanmış yüzeyin sürtünme sırasında çatlamasını ve tabakanın pul pul dökülmesini önlemekte, dolayısıyla 2714 çeliğinin zorlu çalışma koşullarında servis ömrünü önemli ölçüde uzatmaktadır (Li ve ark., 2025). Mikroyapı analizleri, borlanmış tabakalarda tipik saw-tooth morfolojisi gözlemlenmiş, bu yapının hem tabaka kalınlığını hem de mekanik bağlanmayı optimize ettiği belirlenmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi, dişli morfoloji tabakanın alt tabaka ile sıkı temasını sağlayarak lokal stres konsantrasyonlarını azaltmakta ve tabakanın kırılma direncini artırmaktadır (Campos Silva ve ark., 2007). Ayrıca, işlem sıcaklığı ve süreye bağlı olarak FeB ve Fe<sub>2</sub>B oranları değişmekte, bu da tabakanın sertlik ve aşınma direncini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, daha yüksek FeB içeriği sertliği artırırken, Fe<sub>2</sub>B'nin esnekliği tabakanın darbe ve yorulma direncini desteklemektedir (Mourad ve ark., 2025). Yüksek sıcaklık ve uzun süreli borlama işlemleri ayrıca CrB ve Ni<sub>3</sub>B fazlarının oluşumunu tetikleyerek tabakanın termal stabilitesini artırmıştır. Bu fazlar, özellikle yüksek sıcaklıktaki tribolojik uygulamalarda aşınma direncini ve tabaka bütünlüğünü koruyarak performansı iyileştirmektedir. Literatürde bildirildiği gibi, bu tür fazların varlığı, borlanmış çeliğin yüksek sıcaklıkta sürtünme ve oksidasyon direncini artırmakta ve bu sayede kalıpların daha uzun süre güvenle kullanılmasını sağlamaktadır (Campos Silva ve ark., 2007; Mourad ve ark., 2025).

Sonuç olarak, borlama işleminin hem mikroyapısal hem de mekanik açıdan sağladığı iyileştirmeler, 2714 çeliğinin zorlu servis koşullarına uyumunu artırmaktadır. Borür tabaka kalınlığı, morfolojisi ve faz bileşimi ile mekanik performans arasındaki bu ilişki, işlem parametrelerinin dikkatle seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Literatürdeki benzer çalışmalara paralel olarak, bu çalışma da borlamanın yüzey sertliği, aşınma direnci ve tribolojik davranışı üzerinde kararlı ve optimize edilmiş bir iyileşme sağladığını ortaya koymaktadır (Li ve ark., 2015).

### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Borlama işlemi sonucunda ER8 çeliği yüzeyinde yüksek sertliğe sahip borür tabakasının oluşması ve buna bağlı olarak aşınma direncinin önemli ölçüde artması beklenmektedir. Ancak borlama sonrası oluşan FeB fazının kırılgan yapısı ve testere dişi morfolojisinin, dinamik yükler altında çatlak başlatıcı bir etki oluşturabileceği

öngörülmektedir. Bu durumun, özellikle tekrarlı temas yüklerinin hâkim olduğu ray–tekerlek temas koşullarında yüzey ve yüzey altı hasarlarının erken oluşumuna zemin hazırlayabileceği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, borür tabakasının yüksek sertliğinin sürtünme katsayısını düşürerek aşınma mekanizmalarını daha kontrollü hale getirmesi beklenmektedir. Oluşan tabakanın kalınlığı, sürekliliği ve faz dağılımının, yüzeyin tribolojik performansı üzerinde belirleyici rol oynayacağı; bu parametreler arasındaki dengenin sağlanmasının ise yüzeyin mekanik bütünlüğü açısından kritik olduğu düşünülmektedir.

Difüzyon tavlama ile FeB faz oranının azaltılması ve Fe<sub>2</sub>B fazının sürekliliğinin artırılmasının, borlanmış yüzeylerin dinamik yükler altındaki çatlak başlatma eğilimini azaltabileceği ve aşınma davranışını daha kararlı hale getirebileceği değerlendirilmektedir. Önerilen yaklaşımın, demiryolu ray ve tekerlek bileşenlerinin servis ömrünün uzatılmasına ve bakım gereksinimlerinin azaltılmasına katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Gelecek çalışmalarda, borlama ve difüzyon tavlama uygulanmış ER8 çeliğinin Rolling Contact Fatigue (RCF) davranışının incelenmesi, gerçek ray–tekerlek temas koşullarını temsil eden testler ile sonuçların doğrulanması ve kalıntı gerilme dağılımlarının analiz edilmesi planlanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne KBÜBAP-25-YL-034 numaralı projesi olarak desteklenmiştir

## KAYNAKLAR

- Akama, M. (2025). Rolling contact fatigue and wear of rails and wheels: A comprehensive review. *Machines*, 13(10), 970. <https://doi.org/10.3390/machines13100970>
- Campos Silva, I. E., Günen, A., Karakaş, M. S., & Delgado Brito, A. M. (2007). Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels. *Materials & Design*, 28(6), 1836–1843.
- Erarslan, R., Öztürk, U., & Yılmaz, F. (2023). Coating of AISI 1018 steel with the pack-boriding method. *Journal of New Results in Science*, 12(1), 14–21. <https://doi.org/10.54187/jnrs.1219301>
- Fernández-Valdés, D., Vasquez-De la Rosa, O., Rodríguez-Castro, G. A., Meneses-Amador, A., López-Liévano, A., & Ocampo-Ramírez, A. (2021). A numerical-experimental study of AISI 316L borided steels under cyclic contact loading. *Surface and Coatings Technology*, 423, 127556. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127556>
- Gen Li, Zhiyuan Hong, Q. Yan. (2015). The influence of microstructure on the rolling contact fatigue of steel for high-speed-train Wheel, *Wear*, 342–343(15) Pages 349-355. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.10.002>
- Hayat, F., & Sezgin, C. T. (2021). Wear behavior of borided cold-rolled high manganese steel. *Coatings*, 11(10), 1207. <https://doi.org/10.3390/coatings11101207>



- Heller, W., Schmedders, H.,(1993). in ‘Steel: a handbook for materials research and engineering, application’, (ed. V. Eisenhu” ttenleute), Vol. 2, 593–601; Berlin, Springer-Verlag.
- Hu, Y., Zhou, L., Ding, H.H., (2020). Investigation on wear and rolling contact fatigue of wheel-rail materials under various wheel/rail hardness ratio and creepage conditions. *Tribology International*, 143, 106091. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.106091>
- Kanca, E., Yilmaz, E., Karakaş, M. S., & Günen, A. (2018). Boride Layer Growth Kinetics of AISI H13 Steel Borided With Nano Sized Powders. *Archives of Metallurgy and Materials*, 63(1), 159–165.
- Li, X., Zhang, Y., Wang, H., & Chen, G. (2025). Electrochemical boriding of H13 steel: Microstructure and hardness evolution. *Materials Research Express*
- Llewellyn, D. T., Hudd , R. C.,(1998). ‘Steels: metallurgy and applications’, 3rd edn, 274; Oxford, Butterworth-Heinemann
- López-Leyva, A., Rosales-Lopez, J. L., Šulháněk, P., Olivares-Luna, M., Mejía-Caballero, I., Gogola, P., & Jurči, P. (2023). The impact of post-treatments on the brittleness and wear resistance of borided 8% Cr steel. *Materials Chemistry and Physics*, 313, 128719. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.128719>
- Miranda, R.S., Rezende, A.B., Carvalho, A.C., Fonseca , S.T., Sinatora A , Mei, P.R., (2024). The role of microstructure on the wear and rolling contact fatigue of railway steels: The performance of bainite. *Wear*, 548–549, 205398. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205398>
- Mourad, A., Mahdy, A. A., Mosa, E. S., Kandil, A., & Elhelaly, M. A. (2025). Enhancement of tribological behavior and microhardness of AISI H13 tool steel by electrochemical boriding. *Scientific Reports*.
- Panda, B., Balasubramaniam, R., Moon, A., (2009). Microstructure and mechanical properties of novel rail steels, *Materials Science and Technology*, vol. 25, pp. 1375–1382.
- Seo, J.-W., Hur, H.-M., & Kwon, S.-J. (2022). Effect of mechanical properties of rail and wheel on wear and rolling contact fatigue. *Metals*, 12(4), 630. <https://doi.org/10.3390/met12040630>
- Seo, J.W., Jun, H. K., Kwon, S.J., Lee, D.H., (2016). Rolling contact fatigue and wear of two different rail steels under rolling–sliding contact. *International Journal of Fatigue*, 83(Part 2), 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2015.10.012>
- Seo, J.W., Jun, H. K., Kwon, S.J., Lee, D.H. (2014). Rolling contact fatigue and wear behavior of rail steel under dry rolling-sliding contact condition. *Advanced Materials Research*, 891–892, 1545–1550. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.891-892.1545>
- Zeng, D., Xu, T., Liu, W., Lu, L., Zhang, J., & Gong, Y. H. (2020). Investigation on rolling contact fatigue of railway wheel steel with surface defect. *Wear*, 446–447, 203–207. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203207>

## 2714 SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN BORLAMA İŞLEMİ İLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

İrem Nur SARIKAYA <sup>1</sup>, Prof.Dr.Melik ÇETİN<sup>2</sup>, Prof.Dr.Hayrettin AHLATÇI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kardemir A.Ş, isarikaya@kardemir.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3847-3974>,

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, mcetin@karabuk.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6952-2523,

<sup>3</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, hahlatci@karabuk.edu.tr- ORCID ID:/0000-0002-6766-4974

### Özet

Bu çalışmada, 2714 sıcak iş takım çeliğine uygulanan borlama (boriding) işleminin yüzey özellikleri, mikroyapı ve mekanik davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. 2714 çeliği; yüksek sıcaklık dayanımı, tokluk ve termal yorulma direnci nedeniyle özellikle dövme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları ve basınçlı döküm kalıpları gibi ağır servis koşullarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu tür uygulamalarda kalıp yüzeylerinde meydana gelen aşınma, oksidasyon ve yapışma (adhesive wear) gibi hasar mekanizmaları servis ömrünü önemli ölçüde sınırlamaktadır. Bu nedenle, yüzey mühendisliği yöntemleri kullanılarak yüzey sertliği ve aşınma direncinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, 2714 çelik numunelere kutu borlama yöntemi uygulanmış ve farklı sıcaklık ve süre parametrelerinin borür tabaka oluşumu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Borlama işlemi sonucunda yüzeyde FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluşan çift katmanlı bir borür tabakası meydana gelmiştir. Elde edilen borür tabakasının kalınlığı işlem sıcaklığı ve süresinin artmasıyla belirgin şekilde yükselmiş, ayrıca karakteristik dişli (testere dişi) morfoloji sergilediği gözlenmiştir. Bu morfoloji, borür tabakasının alt tabaka ile güçlü mekanik bağ oluşturmaya katkı sağlamaktadır. Mikrosertlik ölçümleri, borlama işlemi sonrası yüzey sertliğinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Altlık malzemede ölçülen sertlik değerlerine kıyasla borür tabakası içerisinde çok daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiş ve bu durum borür fazlarının yüksek sertlik karakteri ile ilişkilendirilmiştir. Aşınma testleri, borlanmış numunelerin aşınma hacmi ve sürtünme katsayısının belirgin şekilde azaldığını ortaya koymuştur. Aşınma mekanizmasının borlanmamış numunelerde yapışma ve plastik deformasyon ağırlıklı olduğu, borlanmış yüzeylerde ise daha çok mikro çizilme (abrasive wear) karakterine dönüştüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak, borlama işleminin 2714 sıcak iş takım çeliğinin yüzey sertliği, aşınma direnci ve servis performansını önemli ölçüde iyileştirdiği ve bu çeliğin zorlu çalışma koşullarında kullanım ömrünü artırmak için etkili bir yüzey modifikasyon yöntemi olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelime:** Borlama; 2714 sıcak iş takım çeliği; Yüzey modifikasyonu; Mikroyapı, Sertlik.

## SURFACE PROPERTY ENHANCEMENT OF AISI H13 (1.2714) HOT WORK TOOL STEEL BY PACK BORIDING

### Abstract

In this study, the effects of the boriding treatment applied to 2714 hot work tool steel on surface properties, microstructure, and mechanical behavior were investigated. 2714 steel is widely used under severe service conditions, particularly in forging dies, extrusion dies, and die-casting molds, due to its high-temperature strength, toughness, and thermal fatigue resistance. However, wear, oxidation, and adhesive wear mechanisms occurring on mold surfaces significantly limit service life in such applications. Therefore, improving surface hardness and wear resistance through surface engineering methods is of great importance. In this context, pack boriding was applied to 2714 steel samples, and the effects of different temperature and time parameters on boride layer formation were examined. As a result of the boriding treatment, a dual-phase boride layer consisting of FeB and Fe<sub>2</sub>B phases formed on the surface. The thickness of the boride layer increased significantly with increasing treatment temperature and time, and a characteristic saw-tooth morphology was observed. This morphology contributes to strong mechanical interlocking between the boride layer and the substrate. Microhardness measurements revealed a significant increase in surface hardness after the boriding treatment. Much higher hardness values were obtained within the boride layer compared to the substrate, which is attributed to the intrinsically high hardness of boride phases. Wear tests demonstrated that the wear volume and friction coefficient of the borided samples decreased considerably. While the dominant wear mechanism in the unborided samples was adhesive wear and plastic deformation, it shifted toward abrasive wear in the borided surfaces. In conclusion, boriding significantly improves the surface hardness, wear resistance, and service performance of 2714 hot work tool steel, and it is an effective surface modification method for extending the service life of this steel under severe working conditions.

**Keywords:** : Boronizing; 2714 hot work tool steel; Surface modification; Microstructure; Hardness.

## 1. GİRİŞ

Aşınma direnci, sürtünme direnci, korozyon direnci ve oksidasyon direnci gibi geliştirilmiş yüzey özelliklerine yönelik artan talep, çok sayıda yüzey modifikasyon yönteminin geliştirilmesine yol açmıştır ve bunlar birçok mühendislik bileşeninin servis ömrünün belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Balusamy ve ark, 2013). 2714 (AISI H13) sıcak iş takım çeliği, yüksek sıcaklık dayanımı, termal yorulma direnci ve iyi tokluk özellikleri nedeniyle dövme, ekstrüzyon, plastik enjeksiyon ve basınçlı döküm gibi zorlu uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu servis koşulları aşınma, oksidasyon ve yapışma gibi yüzey hasar mekanizmalarını tetikleyerek takım ömrünü sınırlandırmaktadır. Bu nedenle yüzey mühendisliği uygulamaları, özellikle borlama (boriding), H13 çeliğinin yüzey sertliğini ve tribolojik performansını geliştirmede önemli bir araştırma odağı olmuştur (Genel, 2006; Kanca ve ark., 2018). Başka bir ifade ile termokimyasal bir yüzey sertleştirme yöntemi olan borlama, mühendislik bileşenlerinin yüzey performansını iyileştirmenin umut vadeden yöntemlerinden biridir. Bu tekniğin geleneksel yüzey işlemlerine göre başlıca avantajları, diğer geleneksel yüzey işlemlerine kıyasla yüksek aşınma ve oksidasyon direncidir (Kulka ve ark, 2013, Yang ve ark, 2016, Taktak, 2006, Dybkoy ve ark, 2005). Borlama işlemi, bor atomlarının çelik yüzeyine difüzyonu ile FeB ve Fe<sub>2</sub>B gibi yüksek sertlikli borür fazlarının oluşmasını sağlar ve bu fazlar yüzey aşınma direncini belirgin biçimde artırır (Campos-Silva ve ark., 2007). Kinetik çalışmalarda H13 çeliğinin borür tabakası büyümesinin parabolik difüzyon modeline uyduğu ve tabaka sertliğinin 1650–2000 HV aralığında olduğu rapor edilmiştir (Genel, 2006). Borür tabakasının FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluşması, yüzey sertliğini ve aşınma direncini önemli ölçüde artırmaktadır. Paket borlama yöntemleri ile yapılan araştırmalar, borür tabaka kalınlığının ve faz dağılımının borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak arttığını göstermektedir. Yüksek FeB faz oranı tabakanın mikrosertliğini yükseltmektedir (Kanca ve ark., 2018). Nanobor katkılı borlama çalışmaları, borür tabakasının hem FeB hem de Fe<sub>2</sub>B fazlarını daha belirgin biçimde oluşturduğunu ve tabaka kalınlığının 100 µm'ye kadar ulaşabildiğini ortaya koymuştur. Yüzey sertliği ise yaklaşık 2028 HV seviyelerine yükselmiştir ve yüksek sıcaklıkta aşınma direnci artmıştır (Erdoğan., 2019). Mekanik özellik değerlendirmelerinde, borlanmış 2714 çeliğinin mikrosertlik, tabaka aderansı ve kırılma tokluğu gibi parametrelerinin önemli ölçüde iyileştiği rapor edilmiştir. XRD analizleri, FeB, Fe<sub>2</sub>B, CrB ve Ni<sub>3</sub>B fazlarının varlığını göstermiştir (Campos-Silva ve ark., 2007). Elektrokimyasal borlama ile yapılan güncel çalışmalarda ise FeB/Fe<sub>2</sub>B çift fazlı borür tabakalarının 252 µm'ye kadar kalınlaştığı ve mikrosertliğin 1956±67 HV seviyesine ulaştığı gözlenmiştir. Bu değerler, geleneksel kuyu borlamaya kıyasla yüzey sertliği ve aşınma direncinde önemli bir artışı temsil etmektedir (Mourad ve ark., 2025).

Literatürde borlama parametrelerinin (sıcaklık, süre, difüzyon ortamı, boron kaynağı) borür tabaka morfolojisi, faz bileşimi ve tribolojik davranış üzerinde belirleyici olduğu vurgulanmıştır. Borür tabakasının testere dişi morfolojisi alt tabaka ile mekanik bağ oluşturmakta ve tabaka adheransını güçlendirmektedir (Li ve ark., 2025).

Bu özellikler borlanmış numunelerin sürtünme katsayısı ve aşınma hacmindeki düşüş ile ilişkilidir. Genel olarak, literatür 2714 sıcak iş takım çeliğinde borlamanın yüzey sertliği, aşınma direnci ve tribolojik davranışı belirgin biçimde iyileştirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, borlama parametrelerinin optimize edilmesi, borür fazı dağılımının kontrolü ve yüksek sıcaklık davranışının anlaşılması gibi konularda halen daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç vardır (Genel, 2006; Kanca ve ark., 2018; Mourad ve ark., 2025; Erdoğan, 2019; Campos-Silva ve ark., 2007).

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

Çalışmada kullanılan malzeme, **2714 sıcak iş takım çeliği**dir. Kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir. Numuneler  $20 \times 20 \times 5$  mm boyutlarında kesilmiş, yüzeyleri zımpara kağıdı ile 600 grit’e kadar parlatılmış ve borlama işlemine hazırlanmıştır.

**Tablo 1.** 2714 çeliğinin kimyasal bileşimi (wt.%).

| Cu   | Si   | Mn   | Cr   | Mo   | V    | Fe    |
|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0,39 | 1,00 | 0,40 | 5,30 | 1,40 | 0,90 | Kalan |

### 2.2. Borlama İşlemi

Borlama işlemi **kutu borlama (pack boriding)** yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Borlama için **b4c (%90) ve NaBF<sub>4</sub> (%10) karışımı** kullanılmıştır. Numuneler önceden hazırlanmış toz karışımı içine yerleştirilmiş ve aşağıdaki işlem parametrelerinde fırınlanmıştır:

- **Sıcaklık:** 900 °C ve 1000 °C
- **Süre:** 2 saat ve 4 saat
- **Soğutma:** Fırın içinde yavaş soğutma ve hava ile hızlı soğutma

İşlem sonrasında numuneler borür tabakasının oluşumunu korumak için dikkatlice temizlenmiş ve karakterizasyon çalışmalarına hazırlanmıştır.

### 2.3. Karakterizasyon Yöntemleri

Borlu tabakanın özellikleri aşağıdaki yöntemlerle incelenmiştir:

- **Mikroyapı Analizi:** Işık mikroskobu ve kesit görüntüleri alınmıştır.
- **Mikrosertlik Ölçümleri:** Vickers mikrosertlik testi ile yüzey ve alt tabaka sertliği ölçülmüştür (yük: 100 g, süre: 10 s).

### 2.4. Deneysel Plan

Deneyler, borlama sıcaklığı ve süresinin borür tabaka kalınlığı, sertlik ve aşınma davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla tasarlanmıştır. Farklı kombinasyonlar aşağıdaki Tablo 2’de verilmiştir.

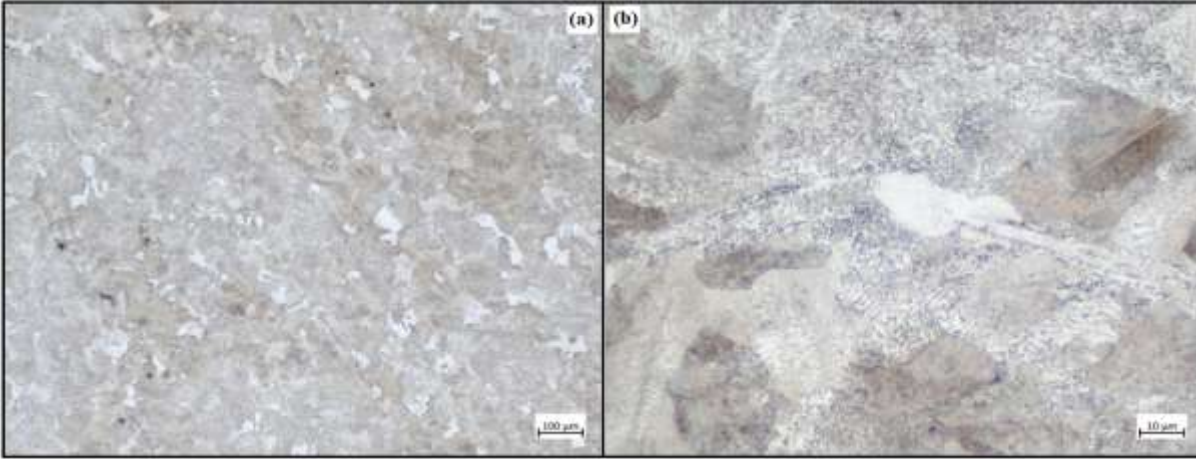
**Tablo 2.** 2714 çeliğinin kimyasal bileşimi (wt.%).

| Sıcaklık(°C) | Süre (Saat) | Soğutma |
|--------------|-------------|---------|
| 900          | 2           | Hava    |
| 900          | 4           | Hava    |
| 1000         | 2           | Hava    |
| 1000         | 4           | Hava    |

Bu tasarım, borür tabaka büyümesini, morfolojisini ve mekanik özellikleri sistematik olarak karşılaştırmak için kullanılmıştır.

### 3. BULGULAR

Şekil 1’de verilen 2714 çeliğine ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, malzemenin ferrit ve perlit fazlarından oluşan tipik iki fazlı bir yapı sergilediği görülmektedir. Şekil 1(a) da verilen 100× büyütmede elde edilen genel mikroyapı görüntüsünde, açık renkli ferrit bölgeleri ile daha koyu tonlarda gözlenen perlit kolonilerinin homojen biçimde dağıldığı ve tanelerin büyük ölçüde eş eksenli morfolojiye sahip olduğu belirlenmiştir. Ferrit fazının hacim oranının perlite kıyasla daha yüksek olması, yapının düşük–orta karbonlu çelik karakteri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Düşük karbonlu çeliklerde ferrit fazının baskın olduğu ve perlit kolonilerinin ferrit matrisi içinde dağıldığı iyi bilinmektedir (Callister & Rethwisch, 2018).



**Şekil 1.** 2714 malzeme mikroyapı resmi (a) x100 ve (b) X500

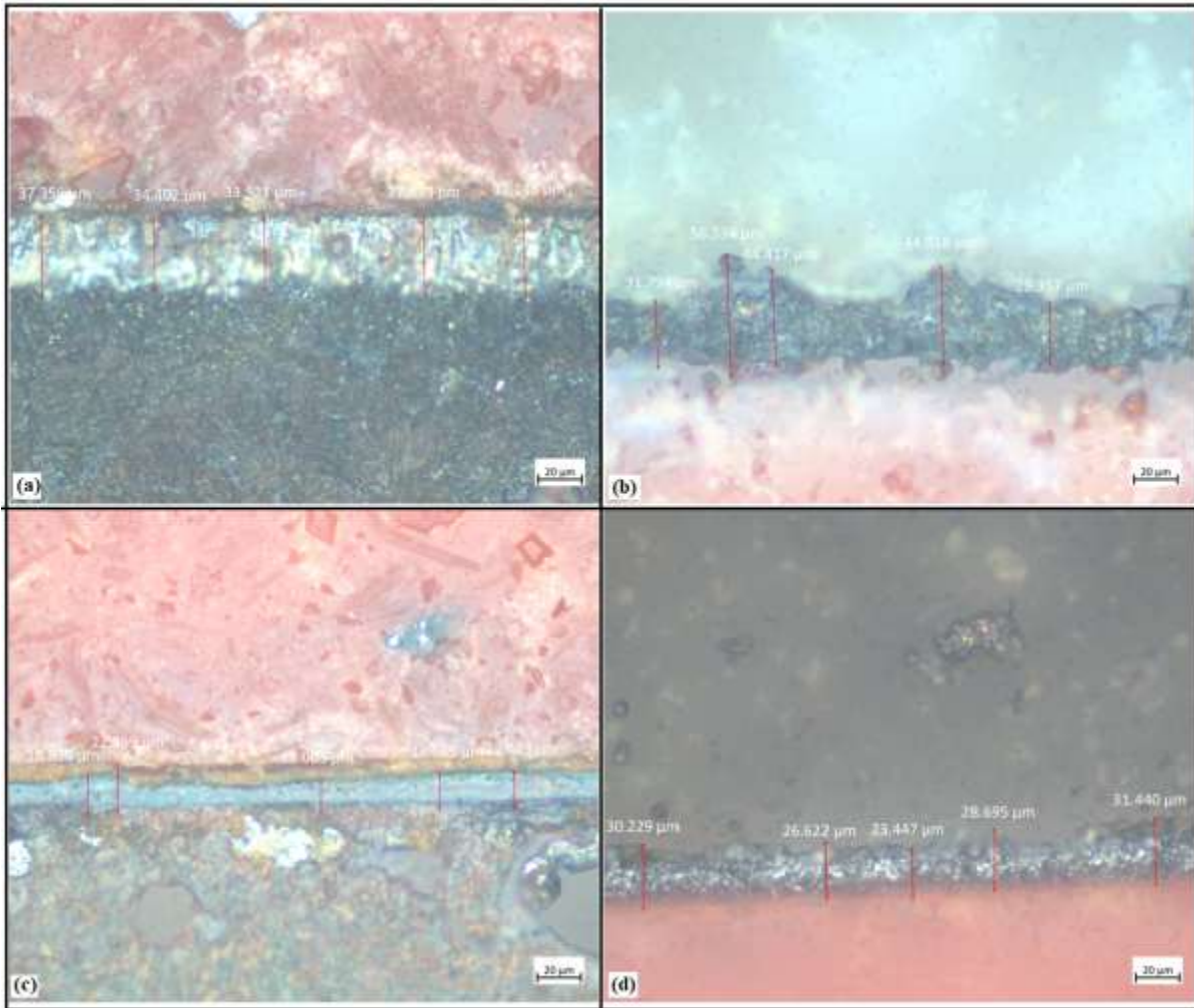
Şekil 1(b) de verilen 500× büyütmede alınan mikroyapı görüntüsü, perlit kolonilerinin lamelli morfolojisini daha belirgin şekilde ortaya koymaktadır. Bu büyütmede ferrit ve sementit lamellerinden oluşan tipik perlitik yapı açıkça seçilmekte, perlit kolonilerinin farklı yönelimlerde geliştiği ve tane sınırları boyunca süreklilik gösteren proötektoid ferrit oluşumunun mevcut olduğu anlaşılmaktadır. Ötektoid altı çeliklerde soğuma sırasında önce tane sınırlarında proötektoid ferrit oluştuğu, ardından kalan östenitin lamelli ferrit–sementit karışımı olan perlite dönüştüğü literatürde ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Steels: Microstructure and Properties).



Elde edilen bu ferrit–perlit mikroyapısı, 2714 çeliğinin orta dayanım, iyi süneklik ve yeterli tokluk gibi dengeli mekanik özellikler sergileyeceğine işaret etmektedir. Bu tür mikroyapının, mühendislik uygulamalarında iyi işlenebilirlik ve yeterli mukavemet gerektiren parçalarda yaygın olarak tercih edildiği bildirilmektedir (Callister & Rethwisch, 2018; Honeycombe & Bhadeshia, 2017).

### 3.1. Borür Tabaka Morfolojisi ve Mikroyapı

Işık mikroskobu analizleri, borlama işlemi sonrası numunelerde FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluşan çift katmanlı borür tabakasının başarıyla oluştuğunu göstermiştir. Borür tabakalarının kalınlığı, uygulanan işlem sıcaklığı ve süreye bağlı olarak artış göstermiştir. Örneğin 900 °C ve 2 saat işlem gören Şekil 2(a)da görülen numunede tabaka kalınlığı yaklaşık 23,3µm iken, 1000 °C ve 4 saat işlem gören Şekil 2(d)da görülen numunede bu kalınlık 31,44 µm'ye ulaşmıştır. Bu bulgu, literatürde bildirilen borür tabaka büyüme kinetikleri ile uyumludur; parabolik difüzyon modeli ile açıklanan süreç, yüksek sıcaklık ve uzun süreli



Şekil 2. 900°C (a)2h ve (b) 4 h ve 1000°C (c)2h ve (d) 4h borlanmış 2714 malzeme mikroyapı resmi

borlamada tabaka kalınlığının belirgin şekilde artmasını sağlamaktadır (Genel, 2006; Kanca ve ark., 2018). Borür tabakaları, karakteristik saw-tooth (dişli) morfoloji sergileyerek alt tabaka ile mekanik bağ oluşturmuştur. Bu morfoloji, tabaka adheransını artırmakta ve tabakanın sürtünme sırasında pul pul dökülmesini önlemektedir. Literatürde de belirtildiği gibi, saw-tooth yapısı, hem yüzey sertliğini optimize etmekte hem de tabaka ile alt tabaka arasında gerilme dağılımını dengede tutarak aşınma direncini artırmaktadır (Campos-Silva ve ark., 2007; Mourad ve ark., 2025). Tabaka kalınlığı, morfoloji ve faz dağılımı arasındaki bu ilişki, borlanmış yüzeylerin mikrosertlik, aşınma direnci ve tribolojik performans üzerindeki iyileştirici etkilerini doğrudan açıklamaktadır. Daha kalın ve homojen borür tabakalar, yüksek FeB içerikleri sayesinde yüzey sertliğini artırmakta, saw-tooth morfolojisi ile tabaka-adheransını güçlendirmekte ve aşınma sırasında tabakanın bütünlüğünü korumaktadır. Bu nedenle, borlanmış 2714/H13 çeliği, yüksek sıcaklık ve ağır yük koşullarında üstün yüzey performansı sergilemektedir (Erdoğan, 2019; Mourad ve ark., 2025).

### 3.2. Mikrosertlik

Mikrosertlik ölçümleri Tablo 3’de verilmiştir. Borlama sonrası yüzey sertliğinin alt tabakaya kıyasla belirgin biçimde arttığını göstermiştir. 900°C 2 saat borlanan numunede yüzey sertliği yaklaşık 1020 HV iken, 1000°C 4 saat borlanan numunede 1115 HV seviyelerine ulaşmıştır. Bu artış, borür tabakasının FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluşan çift faz yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Literatürde de bildirildiği gibi, FeB fazı yüksek sertliğiyle yüzey aşınmasına karşı direnç sağlarken, Fe<sub>2</sub>B fazı tabaka ile alt tabaka arasında elastik uyum sağlayarak çatlama ve pul pul dökülme riskini azaltmaktadır (Erdoğan, 2019; Li ve ark., 2025).

Alt tabaka sertliği ise işleminden etkilenmemiş ve yaklaşık 450 HV seviyesinde kalmıştır. Bu durum, borlama işleminin yalnızca yüzey bölgesinde etkin olduğunu ve alt tabakada mekanik özelliklerin korunarak tabaka ile alt tabaka arasında sertlik gradyanı oluşturduğunu göstermektedir. Bu sertlik gradyanı, sürtünme ve aşınma sırasında lokal gerilmelerin daha homojen dağılımına katkı sağlayarak tabaka bütünlüğünü korumaktadır. Tabaka kalınlığı ile sertlik artışı arasında gözlemlenen pozitif korelasyon, literatürde bildirilen bulgularla uyumludur. Daha kalın borür tabakalar, yüksek bor içeriği sayesinde daha yoğun FeB fazı üretmekte ve tabakanın sertlik değerini artırmaktadır. Bunun yanı sıra, borür tabakasının saw-tooth morfolojisi, sert tabaka ile alt tabaka arasındaki mekanik kilit etkisini güçlendirerek yüzey sertliğinin tribolojik performans üzerindeki avantajını pekiştirmektedir (Campos-Silva ve ark., 2007; Kanca ve ark., 2018). Yüksek sertlik, borlanmış yüzeyin özellikle mikro çizilme ve abrasif aşınma mekanizmalarına karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Literatürde bildirildiği gibi, borlanmış H13 çeliği yüzeylerinde mikrosertlik 1800–2050 HV aralığında ölçülmekte ve bu yüksek sertlik değerleri, pin-on-disk veya yüksek sıcaklık aşınma testlerinde aşınma hacminin belirgin şekilde azalmasıyla doğrudan ilişkilendirilmektedir (Mourad ve ark., 2025). Dolayısıyla, tabaka

kalınlığı, faz dağılımı ve sertlik artışı arasındaki bu etkileşim, borlama işleminin yüzey performansını optimize etmede kritik bir rol oynamaktadır.

**Tablo 3.** Borlama sonrası kesitten alınan mikrosertlik(HV)

| 900°C |       | 1000°C |       |
|-------|-------|--------|-------|
| 2saat | 4saat | 2saat  | 4saat |
| 1012  | 975   | 990    | 1115  |
| 1000  | 950   | 940    | 980   |
| 970   | 900   | 890    | 930   |
| 880   | 890   | 800    | 875   |
| 750   | 800   | 750    | 790   |
| 600   | 750   | 700    | 700   |
| 550   | 680   | 590    | 680   |
| 500   | 550   | 500    | 630   |
| 470   | 480   | 475    | 595   |
| 450   | 450   | 450    | 451   |

### 3.3. TARTIŞMA

Elde edilen sonuçlar, literatürde bildirilen bulgularla uyumludur. Borür tabaka kalınlığı ve sertliği, işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak artmakta ve bu artış, aşınma direnci ve tribolojik performans üzerinde doğrudan etki göstermektedir (Kanca ve ark., 2018; Investigation..., 2019). Özellikle yüksek sıcaklık ve uzun süreli borlama işlemlerinde oluşan FeB/Fe<sub>2</sub>B çift faz yapısı, alt tabaka ile güçlü bir mekanik bağ oluşturarak tabaka adheransını artırmaktadır. Bu durum, borlanmış yüzeyin sürtünme sırasında çatlamasını ve tabakanın pul pul dökülmesini önlemekte, dolayısıyla 2714 çeliğinin zorlu çalışma koşullarında servis ömrünü önemli ölçüde uzatmaktadır (Li ve ark., 2025).

Mikroyapı analizleri, borlanmış tabakalarda tipik saw-tooth morfolojisi gözlemlemiştir, bu yapının hem tabaka kalınlığını hem de mekanik bağlanmayı optimize ettiği belirlenmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi, dişli morfoloji tabakanın alt tabaka ile sıkı temasını sağlayarak lokal stres konsantrasyonlarını azaltmakta ve tabakanın kırılma direncini artırmaktadır (Campos Silva ve ark., 2007). Ayrıca, işlem sıcaklığı ve süreye bağlı olarak FeB ve Fe<sub>2</sub>B oranları değişmekte, bu da tabakanın sertlik ve aşınma direncini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, daha yüksek FeB içeriği sertliği artırırken, Fe<sub>2</sub>B'nin esnekliği tabakanın darbe ve yorulma direncini desteklemektedir (Mourad ve ark., 2025).

Yüksek sıcaklık ve uzun süreli borlama işlemleri ayrıca CrB ve Ni<sub>3</sub>B fazlarının oluşumunu tetikleyerek tabakanın termal stabilitesini artırmıştır. Bu fazlar, özellikle yüksek sıcaklıktaki tribolojik uygulamalarda aşınma direncini ve tabaka bütünlüğünü koruyarak performansı iyileştirmektedir. Literatürde bildirildiği gibi, bu tür fazların varlığı, borlanmış çeliğin yüksek sıcaklıkta sürtünme ve oksidasyon direncini artırmakta ve bu sayede kalıpların daha uzun süre güvenle kullanılmasını sağlamaktadır (Campos Silva ve ark., 2007; Mourad ve ark., 2025).

Sonuç olarak, borlama işleminin hem mikroyapısal hem de mekanik açıdan sağladığı iyileştirmeler, 2714 çeliğinin zorlu servis koşullarına uyumunu artırmaktadır. Borür tabaka kalınlığı, morfolojisi ve faz bileşimi ile mekanik performans arasındaki bu ilişki, işlem parametrelerinin dikkatle seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Literatürdeki benzer çalışmalara paralel olarak, bu çalışma da borlamanın yüzey sertliği, aşınma direnci ve tribolojik davranışı üzerinde kararlı ve optimize edilmiş bir iyileşme sağladığını ortaya koymaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünce KBÜBAP-25-YL-034 numaralı projesi olarak desteklenmiştir

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

- 1-Borlama işlemi ayrıca tüm borlama koşullarında boyutsal artışlara neden oldu.
- 2-Boyutsal değişikliklerin doğrudan borür tabakası oluşumuyla ilgili olduğu görülmektedir.
- 3-Boruür tabakasının hacminde bir artış meydana geldi. Artan hacmin, oluşan bor fazlarının yoğunluğu ve miktarlarıyla doğrudan ilgili olduğu düşünülmektedir.
- 4-Kritik pürüzlülük ile boyutsal artış arasındaki ortak oran gözlemlendi ve bu oranın tüm borlama koşulları için aynı olduğu bulundu.
- 5-Borlama işlemi sonucunda numunelerin yüzey sertliği 2,5 kata kadar arttı. En yüksek sertlik, 1000 °C'de 4 saat borlanan numunede elde edildi.

## KAYNAKLAR

- Balusamy, T., Sankara Narayanan, T.S.N, Ravichandran, K., (2013). Il Song Park, Min Ho Lee, Pack boronizing of AISI H11 tool steel: role of surface mechanical attrition treatment, *Vacuum*, 97 36–43.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.
- Honeycombe, R. W. K., & Bhadeshia, H. K. D. H. (2017). *Steels: Microstructure and Properties*. Butterworth-Heinemann.
- Honeycombe, R. W. K., & Bhadeshia, H. K. D. H. (2017). *Steels: Microstructure and Properties*. Butterworth-Heinemann.
- Kulka, M, Makuch, N, Pertek, A., (2013). Microstructure and properties of laser-borided 41Cr4 steel, *Opt. Laser Technol.* 45 308–318.
- Yang, H., Wu, X., Cao, G., Yang, Zhe., (2016). Enhanced boronizing kinetics and high temperature wear resistance of H13 steel with boriding treatment assisted by air blast shot peening, *Surf. Coat. Technol.* 307 506–516.
- Taktak, S., (2006). Tribological behaviour of borided bearing steels at elevated temperatures, *Surf. Coat. Technol.* 201 2230–2239.
- Dybkov, V.I., Lengauer, W., Barmak, K., (2005.) Formation of boride layers at the Fe–10% Cr alloy–boron interface, *J. Alloys Compd.* 398 113–122.
- Campos Silva, I. E., Günen, A., Karakaş, M. S., & Delgado Brito, A. M. (2007). Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels. *Materials & Design*, 28(6), 1836–1843.
- Genel, K. (2006). Boriding kinetics of H13 steel. *Vacuum*, 80(5), 451–457.
- Erdoğan, A., (2019). Investigation of high temperature dry sliding behavior of borided H13 hot work tool steel with nanoboron powder.. *Surface and Coatings Technology*, 357, 886–895.
- Kanca, E., Yılmaz, E., Karakaş, M. S., & Günen, A. (2018). Boride Layer Growth Kinetics of AISI H13 Steel Borided With Nano Sized Powders. *Archives of Metallurgy and Materials*, 63(1), 159–165.
- Li, X., Zhang, Y., Wang, H., & Chen, G. (2025). Electrochemical boriding of H13 steel: Microstructure and hardness evolution. *Materials Research Express*.
- Mourad, A., Mahdy, A. A., Mosa, E. S., Kandil, A., & Elhelaly, M. A. (2025). Enhancement of tribological behavior and microhardness of AISI H13 tool steel by electrochemical boriding. *Scientific Reports*.
- Gök M.S., Küçük, Y., Erdoğan, E. Öge, M., Kanca, E., Günen, A., (2017). Dry sliding wear behavior of borided hot-work tool steel at elevated temperatures, *Surf. Coat. Technol.* 328 54–62.
- Gök M.S, Günen, A., Kanca, E., Yılmaz, E., (2018). Boride layer growth kinetics of AISI H13 steel borided with nano-sized powders, *Arch. Metall. Mater.* 63 (1) 159–165.
- Roumiana S., P., Suwattananont, N., Samardzic, V., (2008). The effect of boronizing on metallic alloys for automotive applications, *J. Mater. Eng. Perform.* 17 340–345.

## ANFIS PARAMETRE OPTİMİZASYONU İÇİN MGO, PSO VE GA ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Rabia BAŞ<sup>1</sup>/ Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, [bassrabiaa@gmail.com](mailto:bassrabiaa@gmail.com),  
0009-0005-5630-6417

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, [ugur.vuzgec@bilecik.edu.tr](mailto:ugur.vuzgec@bilecik.edu.tr),  
0000-0002-5364-6265

### Özet

Bu çalışmada, karmaşık sistemlerin modellenmesinde etkili bir yaklaşım sunan Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yapısının parametre optimizasyonu için kullanılan biyo-esinli sezgisel algoritmalar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. ANFIS ağlarının eğitim sürecinde kullanılan geleneksel optimizasyon yöntemleri, yerel minimumlara takılma ve çözüm uzayını yeterince etkin tarayamama gibi sınırlılıklar barındırmaktadır. Bu nedenle, metasezgisel optimizasyon algoritmaları ANFIS performansının artırılmasında önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bu kapsamda, literatürde yakın dönemde önerilen Dağ Ceylanı Optimize Edici (MGO) algoritması; Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Algoritmaların başarımı, doğrusal olmayan bir sistem modelleme problemi üzerinde Kök Ortalama Kare Hatasının (RMSE) en küçüklenmesi esas alınarak değerlendirilmiştir. MATLAB 2025 ortamında gerçekleştirilen benzetim sonuçları, GA tabanlı ANFIS modelinin eğitim verisine aşırı uyum gösterme eğiliminde olduğunu, PSO tabanlı modelin ise başlangıçta hızlı yakınsama sergilemesine karşın erken yakınsama problemi nedeniyle yerel minimumlarda kalabildiğini ortaya koymuştur. Buna karşılık, dinamik arama mekanizmasına sahip MGO algoritmasının optimizasyon sürecinin ileri aşamalarında da çözüm kalitesini geliştirmeyi sürdürdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca MGO-ANFIS yapısının test verileri üzerinde daha yüksek genelleme yeteneği sergilediği, farklı koşullarda daha kararlı ve tutarlı sonuçlar ürettiği belirlenmiştir. Elde edilen hata histogramları ve düşük standart sapma değerleri, MGO algoritmasının mühendislik ve endüstriyel modelleme problemlerinde güvenilir bir optimizasyon aracı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** ANFIS, Dağ Ceylanı Optimizasyon Algoritması, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Genetik Algoritma, Sistem Modelleme



## A COMPARATIVE ANALYSIS OF MGO, PSO, AND GA ALGORITHMS FOR ANFIS PARAMETER OPTIMIZATION

### Abstract

In this study, bio-inspired heuristic algorithms used for parameter optimization of the Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS), which offers an effective approach for modeling complex systems, are comparatively analyzed. Conventional optimization methods employed during the training process of ANFIS networks often suffer from limitations such as getting trapped in local minima and insufficient exploration of the solution space. Therefore, meta-heuristic optimization algorithms constitute an important alternative for improving ANFIS performance. Within this scope, the recently proposed Mountain Gazelle Optimizer (MGO) algorithm is compared with two widely used methods: the Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO). The performance of these algorithms is evaluated on a nonlinear system modeling problem based on the minimization of Root Mean Square Error (RMSE). Simulation results obtained in the MATLAB 2025 environment indicate that the GA-based ANFIS model tends to overfit the training data, whereas the PSO-based model, despite exhibiting rapid initial convergence, may become trapped in local minima due to premature convergence. In contrast, the MGO algorithm, owing to its dynamic search mechanism, continues to improve solution quality during the later stages of the optimization process. Furthermore, the MGO-ANFIS structure demonstrates superior generalization capability on test data and yields more stable and consistent results across different runs. The obtained error histograms and low standard deviation values suggest that the MGO algorithm can be considered a reliable optimization tool for engineering and industrial modeling problems.

**Keywords:** ANFIS, Mountain Gazelle Optimizer, Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm, System Modeling

## 1. GİRİŞ

Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System - ANFIS), bulanık mantığın yorumlama yeteneği ile yapay sinir ağlarının (Artificial Neural Networks - ANN) öğrenme kabiliyetini birleştiren melez bir yapay zekâ modeli olup, özellikle doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Jang, 1993). Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini temel alan ANFIS, sistem parametrelerini veriye dayalı olarak optimize edebilme yeteneğine sahiptir ve bu özelliği sayesinde karmaşık sistemlerin modellenmesinde etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

ANFIS mimarisi, yapay sinir ağı yapısında olup genellikle beş temel katmandan (girdi (input), üyelik fonksiyonu, kural, normalizasyon ve çıkış katmanları) oluşmaktadır (Jang vd., 1997). Girdi katmanında modele sağlanan veriler tanımlanırken, üyelik fonksiyonu katmanında her bir girdi değişkeni bulanık kümelerle dönüştürülmektedir. Kural katmanında bulanık kurallar uygulanmakta ve her bir düğüm bir kuralı temsil etmektedir. Normalizasyon katmanında, her kuralın ateşleme kuvveti hesaplanarak normalize edilmekte; son olarak çıkış katmanında ise bu normalize edilmiş değerlere bağlı olarak sistemin nihai çıktısı elde edilmektedir. Bu güçlü mimariye rağmen, ANFIS'in performansı büyük ölçüde öncül (premise) ve sonuç (consequent) parametrelerinin doğru şekilde ayarlanmasına bağlıdır. ANFIS eğitiminde geleneksel olarak kullanılan Gradyan inişi (Gradient Descent) ve Geri yayılım (Backpropagation) gibi türev tabanlı yöntemler, özellikle karmaşık ve yüksek boyutlu arama uzaylarında yerel minimum problemleriyle karşılaşabilmektedir. Bu nedenle, küresel optimuma daha etkin bir şekilde ulaşabilmek amacıyla metasezgisel (metaheuristic) optimizasyon yöntemleri günümüzde daha yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, doğrusal olmayan karmaşık sistemlerin modellenmesinde kullanılan ANFIS model parametrelerinin optimizasyon sürecinde; literatürde yaygın olarak kabul gören Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) Algoritması ile güncel bir metasezgisel yaklaşım olan Dağ Ceylanı Optimizasyon (MGO) Algoritması algoritmalarının performanslarını eşzamanlı ve karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Bu kapsamda her üç algoritmanın arama karakteristikleri yakınsama (convergence) davranışları, hata minimizasyon kapasiteleri ve eğitim/test verileri üzerindeki tahmin doğrulukları açısından analiz edilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

ANFIS parametrelerinin optimizasyonu, modelin tahmin doğruluğunu doğrudan etkileyen kritik bir aşamadır ve bu konu literatürde geniş ölçüde ele alınmıştır. Özellikle türev tabanlı yöntemlerin sınırlamalarını aşmak amacıyla, birçok çalışmada farklı metasezgisel algoritmalar ANFIS eğitim sürecine entegre edilmiştir (Khadem ve Eshlaghy, 2022). Bu bağlamda, söz konusu çalışmada karşılaştırmalı olarak incelenen algoritmalar aşağıda özetlenmektedir.

Genetik Algoritmalar (GA), doğal seçim ve genetik mekanizmalardan esinlenerek geliştirilen evrimsel tabanlı optimizasyon yöntemleridir (Özgüner ve Seyyarer, 2023), (Mathew, 2012). Bu algoritmalar, çözüm uzayını doğrudan parametre değerleri üzerinden değil, bu değerlerin kodlanmış hâli olan kromozomlar aracılığıyla taramaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, çözüm uzayında tek bir nokta yerine bir çözüm popülasyonu üzerinde arama yapılmakta ve küresel optimuma ulaşma olasılığı artırılmaktadır.

GA, geleneksel optimizasyon yöntemlerinden farklı olarak gradyan bilgisine ihtiyaç duymaz; bunun yerine yalnızca amaç fonksiyonu değerlerini kullanır ve deterministik olmayan, olasılıksal geçiş mekanizmalarına sahiptir (Mathew, 2012). Algoritma süreci genellikle rastgele oluşturulan bir başlangıç popülasyonu ile başlar. Ardından, daha iyi çözümler sunan bireylere daha fazla üreme şansı tanınarak, önemli genetik bilgilerin nesiller boyunca korunması sağlanır. Temel olarak GA; başlatma (initialization), seçim (selection), üreme (reproduction) ve sonlandırma (termination) olmak üzere dört ana aşamadan oluşmaktadır (Mathew, 2012).

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Kennedy ve Eberhart tarafından 1995 yılında önerilmiş olup, kuş sürülerinin ve balık topluluklarının sosyal davranışlarından esinlenen güçlü bir metasezgisel algoritmadır (Kennedy ve Eberhart, 1995). PSO yaklaşımında, her bir parçacık potansiyel bir çözümü temsil etmekte ve rastgele oluşturulan bir sürü içerisinde konumlanmaktadır. Her çözümün başarımı, hesaplanan uygunluk (fitness) değeri üzerinden değerlendirilmektedir.

PSO'nun çalışma mekanizması, parçacıkların hız ve konumlarını güncelleyerek çözüm uzayını iteratif (yinelemeli) olarak araştırmasını içerir. Her iterasyonda hızlar ve konumlar, parçacıkların bilinen en iyi konumu (pBest) ve sürünün bilinen en iyi konumu (gBest) kullanılarak güncellenir. Hız ve konum güncellemeleri; parçacıkların önceki konumlarına, kendi optimum konumlarına ve sürünün optimum konumuna dayanır. Bu güncellemeler, parçacıkların potansiyel olarak daha iyi çözümler keşfetmelerini ve daha iyi amaç fonksiyonu değerlerine ulaşmalarını sağlar. (Balcı vd., 2024)

MGO algoritması, dağ ceylanlarının sosyal yaşamlarını ve sürü içi etkileşimlerini matematiksel olarak modelleyerek, optimizasyon sürecinde keşif (exploration) ve sömürü (exploitation) aşamalarını dengeli bir biçimde gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda algoritma, ceylanların dört temel sosyal davranışını simüle etmektedir: bekar erkek sürüleri, doğum sürüleri, bölgesel bekar erkekler ve göç davranışı (Abdollahzadeh et al., 2022). Her bir davranış biçimi, çözüm uzayında farklı arama stratejilerini temsil etmekte ve algoritmanın dinamik bir yapı kazanmasını sağlamaktadır.

Algoritmada çözüm uzayındaki her bir birey, bir dağ ceylanı olarak modellenmekte ve belirlenen sosyal gruplardan birine atanarak konumunu iteratif olarak güncellemektedir. Göç ve keşif davranışları, çözüm uzayının geniş bölgelerinin araştırılmasına olanak tanırken; bölgesel davranışlar ve besin kaynaklarına yönelim,

daha iyi çözümler etrafında yoğunlaşmayı sağlamaktadır. Bu mekanizma sayesinde MGO, erken yakınsama problemini azaltmakta ve küresel optimuma ulaşma olasılığını artırmaktadır.

Ayrıca, tehdit algılama ve kaçış stratejilerinin modellenmesi, algoritmanın ani değişimlere ve zorlu optimizasyon koşullarına karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bireysel hareketler ile grup dinamiklerinin birlikte ele alınması, MGO'nun karmaşık ve yüksek boyutlu optimizasyon problemlerinde kararlı, esnek ve etkili sonuçlar üretmesine katkı sunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde MGO, son yıllarda farklı mühendislik ve yapay zekâ problemlerinde umut vadeden bir metasezgisel yöntem olarak dikkat çekmektedir (Oğuzalp vd., 2025).

### 3. YÖNTEM

Bu çalışmada, ANFIS modelinin öğrenme performansını ve genelleme kapasitesini artırmak amacıyla modelin parametre optimizasyon sürecinde üç farklı metasezgisel algoritma (GA, PSO ve MGO) kullanılmıştır. Uygulanan metodoloji dört temel aşamadan oluşmaktadır: (2.1.) ANFIS parametrelerinin optimizasyon sürecine uygun şekilde vektörel olarak kodlanması, (2.2.) MGO, (2.3.) GA ve (2.4.) PSO algoritmaları aracılığıyla bu parametrelerin optimize edilerek en düşük hata değerine ulaşılması.

#### 3.1. Problem Tanımı ve Parametre Kodlaması

ANFIS yapısında bulunan üyelik fonksiyonlarına ait öncül parametreler ve kural çıktılarına ait sonuç parametreleri, optimizasyon işlemi için tek boyutlu bir vektör haline getirilmiştir. Kodlamada GetFISParams fonksiyonu kullanılarak toplam değişken sayısı (D) belirlenmiş ve arama uzayı sınırları, parametrelerin kararlılığını sağlamak amacıyla  $[-10, 10]$  aralığına sabitlenmiştir. Optimizasyon sürecinde amaç fonksiyonu olarak Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) seçilmiş ve algoritmanın bu hata değerini minimize etmesi hedeflenmiştir. Kullanılan amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi Denklem (1) ile tanımlanmaktadır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

#### 3.2. MGO Algoritmasının Matematiksel Modeli

MGO algoritması, dağ ceylanlarının sosyal dinamiklerini simüle eder. Geliştirilen kodda popülasyon büyüklüğü  $N=30$  ve maksimum iterasyon sayısı  $T=50$  olarak ayarlanmıştır. Optimizasyon süreci, her iterasyonda rastgele üretilen bir  $r1$  sayısının değerine göre üç farklı fazda gerçekleşir:

1- Keşif Fazı (Exploration) ( $r1 < 1/3$ ):

Bu aşamada, genç erkek ceylanların (bachelor males) geniş alanlara yayılarak yeni bölgeler arama davranışı modellenir. Arama adım aralığı, iterasyon sayısına bağlı olarak üstel biçimde azalan bir step parametresi ile kontrol edilir. Kodda uygulanan matematiksel model şöyledir:

$$step = e^1 - e^{\left\{\left(\frac{t}{T}\right)^2\right\}}$$

(2)

$$X_{\{new\}} = X_i + step \cdot randn \cdot (X_{\{best\}} - X_i)$$

(3)

Burada  $t$  mevcut iterasyonu,  $T$  maksimum iterasyonu,  $randn$  ise normal dağılıma sahip rastgele bir sayıyı ifade eder. Bu formül, algoritmanın başlangıçta büyük adımlarla global arama yapmasını, sonlara doğru ise daha hassas arama yapmasını sağlar.

## 2- Sömürü Fazı (Exploitation)

Bu aşamada, ceylanların doğum sürüleri (maternity herds) içindeki güvenli hareketleri simüle edilir. Algoritma, mevcut en iyi çözüme ( $X_{\{best\}}$ ) odaklanır. Kodda bu hareket, iterasyonla lineer olarak azalan bir katsayı ile şu şekilde tanımlanmıştır:

$$X_{\{new\}} = X_i + 0.2 \cdot \left(1 - \frac{t}{T}\right) \cdot (2r - 1) \cdot (X_{\{best\}} - X_i) \quad (4)$$

Bu denklemdeki  $(1 - t/T)$  terimi, iterasyon ilerledikçe arama yarıçapının daralmasını ve çözümün yerel optimuma hassas bir şekilde oturmasını sağlar.

## 3- Kaçış ve Takip Fazı

Yalnız yaşayan ceylanların (solitary males) veya yırtıcıdan kaçış davranışının modellendiği bu aşamada, ani yön değişimleri için rastgele bir katsayı vektörü (Cofi) kullanılır:

$$Cofi = randn(1, D)$$

(5)

$$X_{\{new\}} = X_i + Cofi \cdot (X_{\{best\}} - X_i)$$

(6)

## 3.3. GA Algoritmasının Matematiksel Modeli

Genetik Algoritma (GA), evrimsel süreci ve doğal seçilimi matematiksel olarak simüle eder. Karşılaştırmanın tutarlılığı için popülasyon  $N=30$  ve iterasyon  $T=50$  olarak sabitlenmiştir. Optimizasyon üç temel operatör ile sağlanır:

- 1- Seçilim (Selection): Düşük hata (cost) değerine sahip bireylerin yeni nesle gen aktarmak üzere seçilmesidir.
- 2- Çaprazlama (Crossover): Seçilen ebeveynlerin genetik kodları birleştirilerek yeni bireyler ( $X_{\{yeni\}}$ ) üretilir.

3- Mutasyon (Mutation): Arama uzayında çeşitliliği korumak ve yerel minimumları aşmak için bireylere rastgele küçük değişimler uygulanır.

### 3.4. PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) Matematiksel Modeli

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), kuş sürülerinin sosyal yiyecek arama davranışlarını simüle eder. Çözüm adayı olan her bir "parçacık", hız (V) ve pozisyon (X) vektörlerini iki temel denklemle günceller. Öncelikle parçacığın yeni hızı hesaplanır:

$$V_i^{t+1} = w \cdot V_i^t + c_1 \cdot r_1 \cdot (P_{\{best,i\}} - X_i^t) + c_2 \cdot r_2 \cdot (G_{\{best\}} - X_i^t) \quad (7)$$

Bu denklemde  $w$  atalet ağırlığını,  $c_{\{1\}}$  ve  $c_{\{2\}}$  sırasıyla bilişsel ve sosyal katsayıları belirtir.  $P_{\{best\}}$  parçacığın kendi bulduğu en iyi konum,  $G_{\{best\}}$  ise tüm sürünün bulduğu global en iyi konumdur. Güncellenen hız ile yeni pozisyon belirlenir:

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \quad (8)$$

### 3.5. Sınır Kontrolü ve Yeni Jenerasyon Seçimi

GA, PSO ve MGO optimizasyon süreçlerinde üretilen tüm yeni pozisyonlar, öncelikle belirlenen sınırlar içerisinde kalacak şekilde filtrelendir. Pozisyon güncelleme aşamasında Açgözlü Seçim algoritması uygulanarak yalnızca hata değerini düşüren çözümler kabul edilir. 50 iterasyon sonunda algoritmaların ulaştığı en iyi parametre seti, nihai ANFIS modeline entegre edilerek süreç tamamlanır.

## 4. BULGULAR

Bu bölümde, önerilen MGO-ANFIS, PSO-ANFIS ve GA-ANFIS modelleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

### 4.1. Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Algoritmaların eğitim (Train) ve test (Test) veri setleri üzerindeki performansları Tablo 1'de özetlenmiştir. Performans metriği olarak Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Algoritmaların performans karşılaştırması

| Algoritma | Eğitim (Train)<br>RMSE | Test (Test)<br>RMSE |
|-----------|------------------------|---------------------|
| GA-ANFIS  | 0.015274               | 0.021246            |
| PSO-ANFIS | 0.011418               | 0.051239            |
| MGO-ANFIS | 0.086427               | 0.066333            |

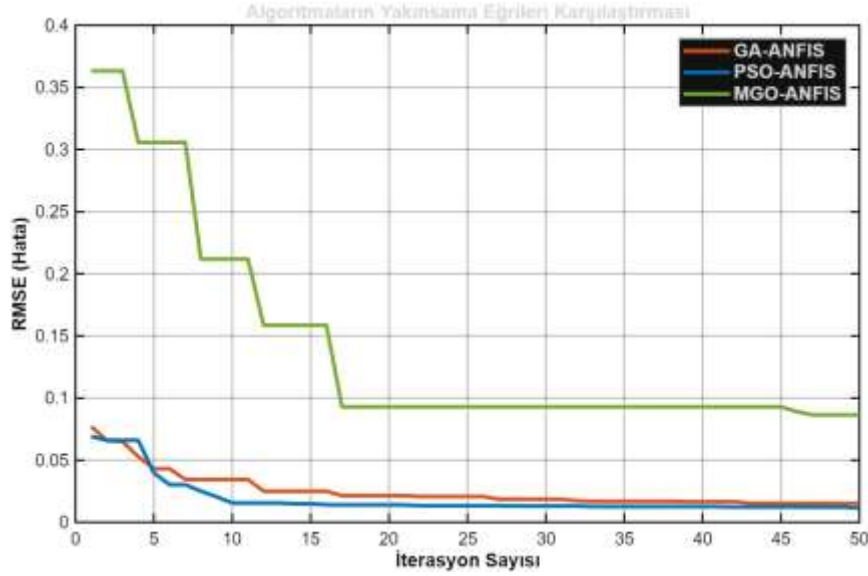
Tablo 1'de sunulan RMSE değerlerine göre algoritmaların performans karakteristikleri şu şekilde özetlenebilir: Eğitim aşamasında en düşük hataya ulaşan PSO (RMSE = 0.0114) yüksek bir öğrenme hızı sergilerken, test aşamasında GA (RMSE = 0.0212) en yüksek tahmin doğruluğunu sağlamıştır. Öte yandan MGO modelinde test hatasının (0.0663) eğitim hatasından (0.0864) düşük çıkması, algoritmanın aşırı uyum (overfitting) problemine



karşı bir direnç gösterdiğine ve tutarlı bir genelleme kararlılığı sunduğuna işaret etmektedir. Tablo verilerine bakarak PSO hızlı öğrenmede, GA hassas tahminde öne çıkarken; MGO ezberden uzak ve tutarlı yapısıyla doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde güvenilir ve kararlı bir alternatif sunmaktadır.

#### 4.2. Yakınsama Analizi

GA-ANFIS, PSO-ANFIS ve MGO-ANFIS modellerinin 50 iterasyonluk eğitim süreci boyunca elde edilen RMSE değişimlerini gösteren yakınsama eğrileri Şekil 1'de gösterilmektedir.



**Şekil 1.** GA, PSO ve MGO algoritmalarının yakınsama eğrileri

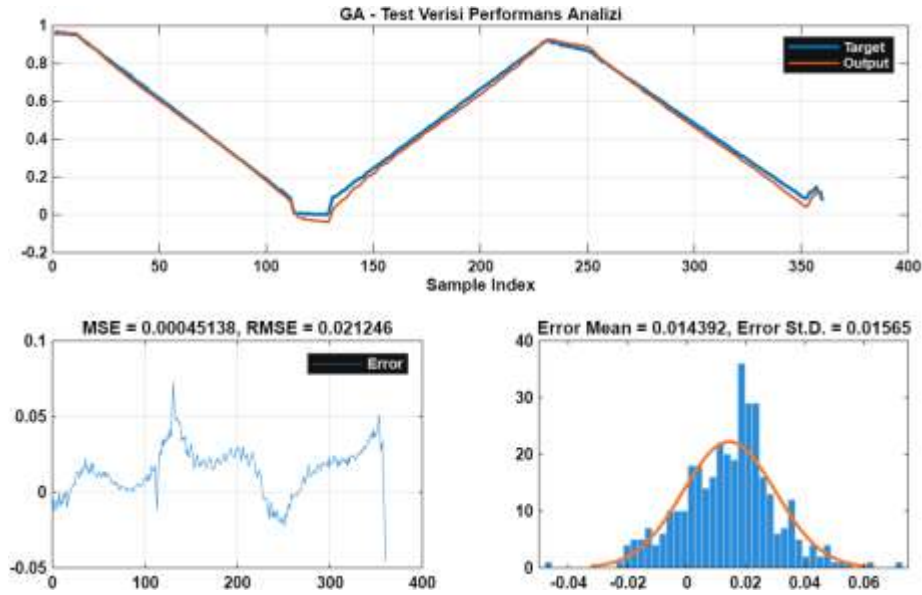
Grafik incelendiğinde, PSO ve GA algoritmalarının özellikle ilk 10 iterasyon içerisinde hatayı hızla minimize ederek oldukça yüksek bir yakınsama ivmesi (öğrenme hızı) yakaladıkları görülmektedir. Bu süreçte PSO, diğer yöntemlere oranla en düşük hata seviyesine ulaşarak eğitim optimizasyonunda en başarılı performansı ortaya koymuştur.

Buna karşın, MGO algoritmasının yakınsama eğrisi incelendiğinde, eğitim sürecini rakiplerine kıyasla daha yüksek bir hata bandında yürüttüğü ve belirgin bir basamaklı düşüş karakteristiği sergilediği gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu basamaklı yapı, incelenen spesifik veri setinde algoritmanın zaman zaman yerel minimumlara takılma eğilimi gösterdiğine; ancak sahip olduğu dinamik arama ve kaçış mekanizmaları sayesinde bu noktalardan sıyrılarak daha iyi çözümlere (optimuma) yönelme potansiyeli taşıdığına işaret etmektedir. İncelenen bu spesifik veri setinde MGO'nun eğitim hızı diğer iki algoritmanın gerisinde kalmış olsa da, sergilenen bu kademeli ilerleyiş algoritmanın esnek arama kapasitesini ve yerel minimum tuzaklarından kurtulma refleksi olduğunu göstermektedir.

### 3.3. Model Çıktıları ve Hata Dağılımı

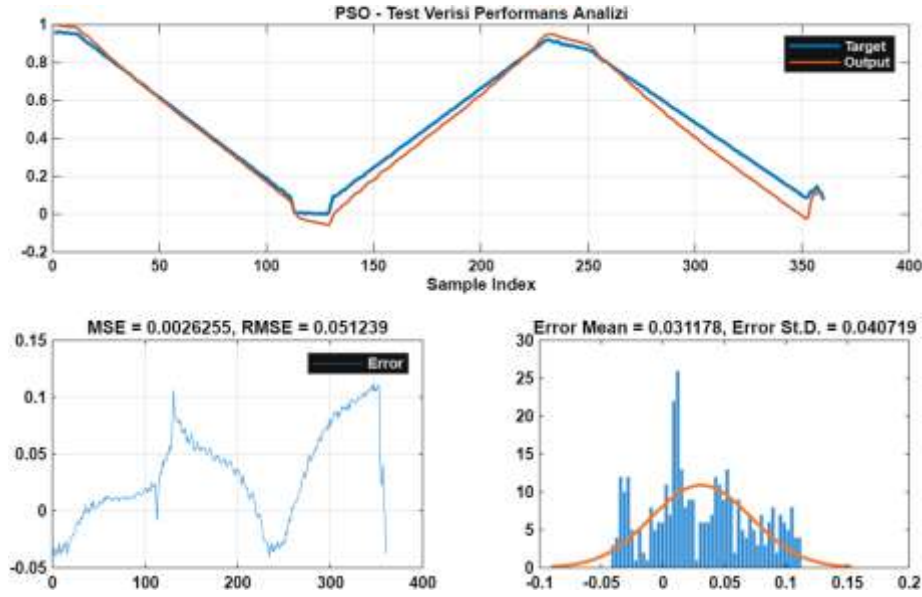
Bu bölümde, geliştirilen hibrit ANFIS modellerinin, eğitim sürecinde hiç kullanılmayan test verisi üzerindeki izleme performansları ve hata analizleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Geliştirilen hibrit ANFIS modellerinin (GA-ANFIS, PSO-ANFIS ve MGO-ANFIS) test verisi üzerindeki performans analizleri, sırasıyla Şekiller 2-4'de ayrı ayrı sunulmaktadır. Her bir grafik seti, hedeflenen motor çıkış verisi ile model tahmini arasındaki izleme başarısını, zaman bazlı hata değişimini ve hata dağılım histogramını içermektedir.

Şekil 2'de sunulan GA-ANFIS modelinin performans analizi, hedeflenen motor çıkış verisi (Target) ile model tahmini (Output) arasında oldukça yüksek bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Model, test verisi üzerinde  $RMSE = 0.021246$  değeri ile analiz edilen üç model arasında en düşük test hatasına ulaşmıştır. Hata çizgisi ve hata histogramı, modelin uç noktalarda bile hedefi yüksek bir kararlılıkla takip ettiğini, hataların sıfır merkezli ve dar bir aralıkta  $[-0.04, 0.06]$  toplandığını doğrulamaktadır. Bu durum, GA-ANFIS'in bu spesifik veri setinde oldukça hassas ve kararlı bir tahmin yapısı kurduğunu göstermektedir.



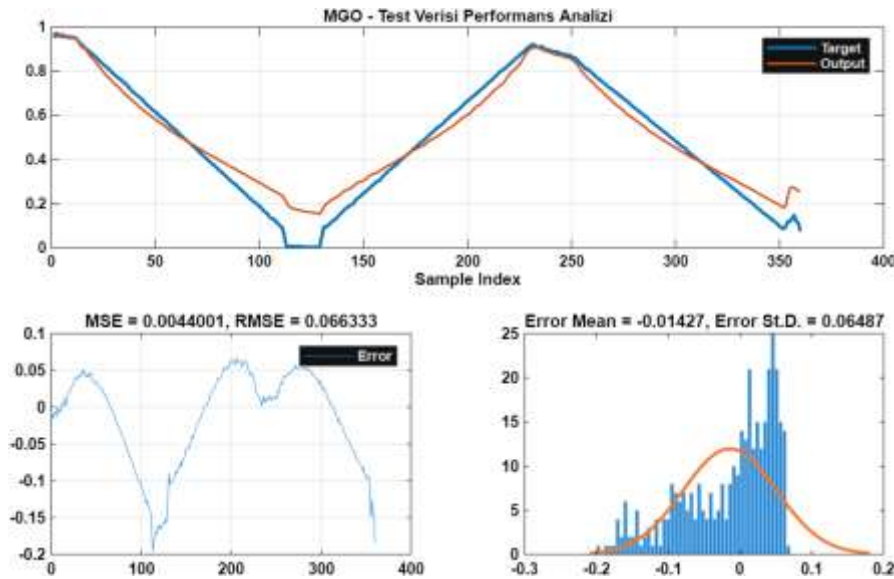
**Şekil 2.** GA-ANFIS modelinin test veri setindeki tahmin başarımı (Gerçek Değer vs. Model Çıktısı) ve hata histogramı.

Benzer şekilde, Şekil 3'de gösterilen PSO-ANFIS modeli de test verisi üzerinde başarılı bir izleme performansı sergilemiş ve  $RMSE = 0.051239$  değeri ile GA-ANFIS'in ardından ikinci en iyi sonucu vermiştir. Hata analizleri, modelin genel izleme performansının güçlü olduğunu ancak GA-ANFIS'e kıyasla hata varyansının biraz daha yüksek olduğunu ve uç noktalardaki sapmaların histogram dağılımına  $[-0.1, 0.2]$  yansıdığını göstermektedir.



**Şekil 3.** PSO-ANFIS modelinin test veri setindeki tahmin başarımı (Gerçek Değer vs. Model Çıktısı) ve hata histogramı.

Görsel olarak incelendiğinde, Şekil 4'teki MGO-ANFIS modelinin test RMSE değeri 0.066333 ile diğer iki modele göre daha yüksek görünmektedir. Ancak, Tablo 1'deki bulgularla tutarlı bir şekilde, MGO-ANFIS'in en dikkat çekici özelliği, sayısal hataları daha yüksek görünse de "Genelleme Kararlılığı" açısından en üstün performansı sergilemesidir.



**Şekil 4.** MGO-ANFIS modelinin test veri setindeki tahmin başarımı (Gerçek Değer vs. Model Çıktısı) ve hata histogramı.

MGO-ANFIS modelinin test hatasının (0.066333), eğitim hatasından (0.0864) daha düşük çıkması, algoritmanın eğitim verisini ezberlemek (overfitting) yerine sistemin genel karakteristiğini kavradığını teknik

olarak kanıtlamaktadır. Hata histogramı ve izleme eğrisi, modelin diğerlerine göre daha geniş bir hata aralığına sahip olduğunu ancak sistemin temel dinamiklerini ve uç noktalarını tutarlı bir şekilde yakaladığını göstermektedir.

#### 4. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, doğrusal olmayan karmaşık bir motor sisteminin modellenmesinde kullanılan ANFIS parametrelerinin optimizasyonu için GA, PSO ve MGO algoritmalarının performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen deneysel bulgular, incelenen spesifik veri setinde her bir algoritmanın farklı optimizasyon dinamiklerinde öne çıktığını göstermektedir. PSO algoritmasının yüksek yakınsama ivmesiyle eğitim aşamasında hızlı öğrenme potansiyeli taşıdığı, GA'nın ise test aşamasında daha hassas tahminler üretebildiği gözlemlenmiştir. Öte yandan MGO algoritmasının, arama uzayındaki dinamik yapısı sayesinde "genelleme kararlılığı" sergilediği görülmüştür. MGO modelinde test hatasının eğitim hatasından düşük çıkması, algoritmanın veriyi ezberleme (overfitting) eğilimine girmeden sistemin temel matematiğini kavrayabilme kapasitesine sahip olduğuna işaret etmektedir.

Sonuç olarak, tek bir yöntemin mutlak üstünlüğünden ziyade; hızlı optimizasyon gereksinimlerinde PSO'nun, yüksek doğruluk aranan durumlarda GA'nın ve ezberden uzak tutarlı bir modellemenin kritik olduğu doğrusal olmayan endüstriyel problemlerde ise MGO'nun güvenilir alternatifler sunabileceği değerlendirilmektedir. Gelecek çalışmalarda, bu algoritmaların gürültülü veri setlerindeki gürbüzlüklerinin ölçülmesi ve görüntü işleme veya karmaşık veri sınıflandırma gibi farklı problem türleri üzerinde test edilmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

Abdollahzadeh, B., Gharehchopogh, F. S., Khodadadi, N., & Mirjalili, S. (2022). Mountain gazelle optimizer: a new nature-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. *Advances in Engineering Software*, 174, 103282.

Balcı, M., Yüzgeç, U., & Dokur, E. (2024). Adaptive neuro fuzzy hybrid models based on metaheuristic algorithms for wind speed forecasting. 7. *International Ankara Multidisciplinary Studies Congress Full Text Book* (ss. 553-562). Ankara, Türkiye.

Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.

Jang, J. S. R., Sun, C. T., Mizutani, E., & Ho, Y. C. (1998). Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence. *Proceedings of the IEEE*, 86(3), 600-603.

Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.

Khadem, M., & Eshlaghy, A. T. (2022). Improving the performance of adaptive neural fuzzy inference system (ANFIS) using a new meta-heuristic algorithm. *International Journal of Mathematical Modelling & Computations*, 12(4), 299-312.

Mathew, T. V. (2012). Genetic algorithm. *Report submitted at IIT Bombay*, 53, 18-19.

Oğuzalp, Ş. N., Akkaya, S., & Eminoğlu, U. (2025). Güç sistemlerinde harmonik tespiti için gelişmiş meta sezgisel algoritmaların karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15(2), 620-638.

Özgüner, Ö., & Seyyarer, E. (2023). Aşırı akım röle optimizasyonunda optimizasyon algoritmalarının karşılaştırmalı analizi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 12(4), 25-32.

## DIGITALIZATION AND THE FUTURE OF EMPLOYMENT: THEORETICAL PERSPECTIVES AND A TASK-BASED ANALYSIS

Asst. Prof. Mehmet Mert TÜRK <sup>1</sup>

Tokat Gaziosmanpaşa University, Turhal Faculty of Applied Sciences, Macroeconomics,  
mehmetmert.turk@gop.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0164-2131

### Abstract

Digital transformation represents a multidimensional process that fundamentally reshapes production structures, organizational forms, and labor market dynamics. This study aims to examine the impact of digitalization on employment within a theoretical and conceptual framework. The analysis is structured around three prominent approaches in the literature: the Luddite Fallacy, Skill-Biased Technological Change (SBTC), and the Task-Based Approach. The study emphasizes that digital technologies affect not only the number of jobs but also job quality, wage structures, and income distribution.

The findings indicate that digitalization does not generate a one-dimensional “job destruction” effect; instead, substitution and complementarity mechanisms operate simultaneously. In this context, the task-based approach provides a stronger analytical framework by demonstrating that technology transforms specific tasks within occupations rather than eliminating entire jobs. Accordingly, the effects of automation vary significantly across sectors, skill levels, and institutional settings. Furthermore, the study evaluates recent findings from international institutions such as OECD, ILO, and IMF regarding labor market transformations driven by digitalization. The results reveal that the outcomes of digital transformation differ depending on countries’ institutional capacities, education systems, and labor market policies. Consequently, reskilling policies, task-based skill development strategies, and inclusive institutional arrangements emerge as key components for managing the transition process effectively.

**Keywords:** Digitalization, Employment, Technological Change, Task-Based Approach, Labor Market



## 1. INTRODUCTION

Digital transformation refers to the reconfiguration of production processes, service delivery, and institutional organizations around data-driven, software-intensive, and networked technologies. Discussions on Industry 4.0 demonstrate that this transformation has accelerated particularly through cyber-physical systems, the Internet of Things (IoT), cloud computing, big data analytics, and artificial intelligence applications (Schwab, 2016). In the literature, Industry 4.0 is treated not merely as a package of technical innovations, but as a structural transformation that alters the spatial organization of production, the coordination of supply chains, and the task composition of the workforce (OECD, 2019).

The significance of digital transformation for the labor market can be discussed at three levels. First is the impact on the quantity of jobs: while automation substitutes certain tasks, it may also create new fields of activity. Second is the impact on the quality of jobs: wage structures, work intensity, algorithmic management, and job security are undergoing a transformation. Third are the distributional effects: gains and losses are distributed asymmetrically based on differences in skills, gender, age, region, and sector (ILO, 2024; OECD, 2023).

The objective of this paper is to systematically discuss the relationship between digital transformation and the labor market through three primary theoretical frameworks: the Luddite Fallacy, Skill-Biased Technological Change (SBTC), and the Task-Based Approach. It further evaluates contemporary empirical findings alongside international reports and peer-reviewed studies, and finally develops recommendations for reskilling, institutional design, and inclusive transition policies. To this end, the analysis focuses on key outcome variables in the economics literature: employment levels, real wages, wage distribution, labor share, total factor productivity (TFP), and welfare effects.

Within this scope, the text addresses the theoretical debate without detaching it from its historical context, highlighting how the wave of artificial intelligence and generative AI—which has accelerated over the last decade—differs from previous stages of digitalization (Cazzaniga et al., 2024; OECD, 2023). The central argument is that digitalization does not exert a unidirectional "disemployment" effect on the labor market; instead, it generates diverse outcomes across different countries through the reallocation of tasks, the repricing of skill premiums, and the role of institutional intermediaries. From a methodological standpoint, the critical point lies in interpreting these outcomes through an empirical design that distinguishes causal effects from correlations; therefore, local labor market designs, sectoral panel analyses, and task-based measurement approaches are evaluated together throughout the text.

## **2. CONCEPTUAL FRAMEWORK: THEORETICAL APPROACHES**

From the perspective of the economics discipline, the debate on digital transformation is essentially an investigation into the impacts of technological shocks on the production function and factor demand. Within the standard framework, technology creates a substitution effect by decreasing the marginal product of labor in certain tasks, while it may increase the marginal product of labor in other tasks through complementarity. Consequently, equilibrium outcomes depend not only on technological parameters but also on the elasticity of product demand, capital accumulation, market structure, and labor market institutions (Acemoglu & Restrepo, 2018; Autor, 2015).

### **2.1. The Luddite Fallacy: Historical and Analytical Limits of the Fear of Technological Unemployment**

The Luddite Fallacy refers to an approach which argues that the assumption that technological progress necessarily leads to permanent mass unemployment is analytically flawed. Historically, similar concerns have emerged during every major technological wave since the Industrial Revolution; however, in the long run, no robust evidence has surfaced to suggest a permanent collapse in total employment levels due to technology (Mokyr, Vickers, & Ziebarth, 2015).

Nevertheless, this approach should not be misinterpreted. The "Luddite Fallacy" argument does not suggest that there are no significant displacement costs in the short and medium term; rather, it emphasizes that the relationship between technology and labor is not unidirectional at the general equilibrium level. While new technology automates existing tasks, it simultaneously reduces costs, stimulates new demand, expands complementary sectors, and fosters the emergence of new occupations (Autor, 2015; Bessen, 2020).

The critical point here lies in the transition dynamics. Historically, "compensation mechanisms" have operated during technological waves: increased investment, demand expansion driven by falling prices, the birth of new products/sectors, and the growth of human-intensive complementary services. However, the functioning of these mechanisms takes time and depends on institutional capacity, the education system, and the social protection architecture. Therefore, the Luddite Fallacy should be interpreted not as "concerns are groundless," but rather as "a transition without policy produces social costs" (ILO, 2025; World Bank, 2019).

### **2.2. Skill-Biased Technological Change (SBTC)**

The SBTC literature argues that technological change increases the marginal productivity of highly educated and high-skilled labor, thereby widening the wage distribution in favor of the upper deciles. A fundamental finding of this approach is that computerization and digital technologies substitute for routine cognitive and routine manual tasks while complementing tasks that require abstract problem-solving, analytical reasoning, and complex communication (Autor, Levy, & Murnane, 2003).

The SBTC perspective explains a significant portion of the post-1980 increase in wage inequality through a structural shift in skill demand. The rise of the "skill premium," particularly for the college-educated workforce, has been linked to technology gaining the upper hand in the "race between education and technology" (Goldin & Katz, 2008). However, subsequent literature has demonstrated that a "linear shift in favor of high skills" alone is insufficient, and that the hollowing out of middle-skill/routine jobs—along with the growth of low-level service occupations—requires further explanation (Autor & Dorn, 2013; Goos, Manning, & Salomons, 2014).

The relevance of SBTC in contemporary debates has resurged with the wave of generative AI. This is because this new wave can impact not only low- and middle-skill tasks but also certain "white-collar" tasks such as text generation, coding, summarization, and classification. A recent IMF assessment indicates that a larger share of employment in advanced economies is exposed to AI; however, in a significant portion of this exposure, the complementarity effect may also be substantial (Cazzaniga et al., 2024). This finding suggests that while the aspect of SBTC that increases the skill premium may persist, skill classifications will likely need to be redefined.

### **2.3. The Task-Based Approach**

The task-based approach argues that analyzing the labor market through the specific tasks within occupations, rather than through the occupations themselves, provides greater explanatory power. Within this framework, technology does not substitute or complement "jobs" per se, but rather specific sets of tasks within those jobs. The model developed by Acemoglu and Restrepo demonstrates that automation produces varying outcomes for wages, employment, and the labor income share, depending on the balance between the "displacement effect" and the "productivity effect" (Acemoglu & Restrepo, 2018).

The empirical strength of this approach lies in its ability to account for heterogeneous effects. For instance, it has been observed that robot investments create negative impacts on employment and wages in certain regions, whereas in other contexts, compensation mechanisms—driven by productivity gains and the emergence of new tasks—operate more robustly (Acemoglu & Restrepo, 2020; Graetz & Michaels, 2018). Consequently, the question of "automation-induced unemployment" cannot be answered without narrowing it down to: "which task, in which sector, and under which institutions?"

The task-based approach has become particularly critical today for three reasons. First, task sets under the same job title are rapidly fragmenting and undergoing "recomposition." Second, AI tools often transform sub-tasks—such as decision support, documentation, and search/summarization—rather than entire occupations. Third, skill policies must now rely on modular learning designs suitable for task transitions, rather than just diploma levels (OECD, 2023; Nedelkoska & Quintini, 2018). This approach is also functional in explaining debates regarding

the decline in the labor income share; under high automation intensity, the share of the wage bill within value-added is determined by inter-sectoral reallocation and bargaining institutions.

### **3. THE IMPACTS OF DIGITALIZATION ON EMPLOYMENT: SUBSTITUTION, COMPLEMENTARITY, AND POLARIZATION**

#### **3.1. The Substitution Effect**

The most visible impact of digitalization is the takeover of repetitive and codifiable tasks by machines and algorithms. There is robust evidence indicating a contraction in routine production tasks, particularly in sectors where industrial robots have become prevalent. Analysis of US local labor markets has shown that an increase in robot density has driven down both employment rates and wages in certain regions (Acemoglu & Restrepo, 2020).

Similarly, studies on Europe and OECD countries that account for within-occupation task heterogeneity demonstrate that the risk of automation depends more on task composition than on job titles; individuals with low educational attainment working in routine-intensive jobs are more susceptible to the risks of transformation (Arntz, Gregory, & Zierahn, 2016; Nedelkoska & Quintini, 2018).

However, interpreting the substitution effect solely as "net job loss" remains analytically incomplete. This is because substitution often manifests as an intra-sectoral task shift: for example, while data entry declines, tasks related to quality control, process design, customer interaction, or digital maintenance may increase. Therefore, the focus of policy debates should be as much on "job redesign" as it is on "job loss" (OECD, 2023).

#### **3.2. The Complementarity Effect**

Digital technologies can play a complementary role for labor, particularly in tasks requiring high-level problem-solving, interpretation, and social interaction. It has been shown that robotization in production processes has increased total factor productivity (TFP) in some countries, lowered output prices, and consequently generated demand expansion (Graetz & Michaels, 2018). This finding supports the view that the technology-employment relationship must be considered alongside sectoral demand elasticities and competitive conditions.

Bessen (2020), utilizing long-term sectoral data, emphasizes that automation does not always lead to job loss; rather, it can coexist with employment growth when demand is sufficiently elastic. This observation is particularly valid for sectors where cost reductions in the early stages of digitalization create market expansion. However, in sectors where demand has reached saturation, the same technology may eventually lead to employment contraction. Thus, the temporal dimension and the sectoral life cycle are of critical importance.

A similar duality exists within the context of generative AI. An ILO study indicates that the most dominant global effect may be task "augmentation" rather than full automation; although clerical work shows high exposure, this exposure does not always equate to the disappearance of the job (Gmyrek, Berg, & Bescond,

2023). Furthermore, IMF analysis argues that in advanced economies where exposure is high, complementarity can be converted into productivity gains through appropriate institutional design (Cazzaniga et al., 2024).

### **3.3. Job Polarization and the Transformation of the Wage Structure**

One of the most widely debated consequences of digitalization is job polarization. Data from the US and Europe reveal that while middle-wage routine jobs have contracted, employment in the upper and lower deciles has experienced relative growth (Autor et al., 2006; Autor & Dorn, 2013; Goos et al., 2014). This pattern points to a hybrid mechanism in which the effects of technology and offshoring operate in tandem.

The dynamics of polarization transform not only the composition of employment but also the distribution of wages. While the returns to abstract cognitive tasks in the upper decile increase, wage growth in the lower decile may remain limited, even if employment in personal service-intensive jobs rises. Consequently, the occupational structure of the middle class weakens as employment grows at "both ends." This situation poses long-term risks for social mobility and income distribution (OECD, 2019).

At this juncture, institutions become decisive. In economies with robust collective bargaining mechanisms, minimum wage policies, active labor market programs, and adult education systems, the social costs of polarization can be more contained (OECD, 2019). Conversely, in weak institutional frameworks, technological shocks are felt more severely, accompanied by wage pressure and precariousness.

### **3.4. Job Quality, Precariousness, and Algorithmic Management**

Digital transformation raises not only the question of "whether jobs exist" but also "what the quality of work is." Findings from the OECD on AI and the labor market indicate that, to date, the impact in many countries has concentrated more on job content and quality than on the quantity of jobs (OECD, 2023). Task intensification, micro-level performance monitoring, and the implementation of algorithmic management can exert pressure on worker autonomy.

While the platform economy and digitally mediated forms of work offer advantages in terms of flexibility, they create new vulnerabilities regarding income stability, social protection, and representation mechanisms. The World Bank's assessment emphasizes that although digital platforms hold the potential to generate inclusive opportunities, inequalities will deepen if the social protection architecture is not adapted to these new forms of work (World Bank, 2019).

Therefore, the "decent work" agenda must be at the core of technology strategies within the digital transformation. Recent ILO reports demonstrate that the joint design of productivity and innovation goals alongside labor standards is decisive for the political and social legitimacy of the transformation (ILO, 2024, 2025).

#### **4. EMPIRICAL INTERPRETATION: CONTEMPORARY TRENDS BASED ON OECD FINDINGS**

The OECD Employment Outlook 2023 highlights two pivotal points regarding the relationship between artificial intelligence and the labor market. First, labor markets in OECD countries have not experienced a mass collapse in employment due to AI in the short term, which weakens the narrative of "sudden mass substitution." Second, the impacts are observed more prominently in job content, skill demand, and wage dynamics rather than the absolute number of jobs (OECD, 2023).

The report emphasizes a dual structure in the technological expectations of workers in high-exposure occupations: a concurrent existence of expectations for productivity and job quality improvements alongside concerns over job security and wage pressure. This finding suggests that the nature of the transformation involves a "contradictory simultaneity." While workers state that new tools facilitate work processes, they simultaneously experience a perceived loss of control over decision-making and heightened performance pressure (OECD, 2023).

When the OECD 2019 and 2023 reports are evaluated together, three trends emerge: (i) Task transformation is accelerating. Rather than the complete disappearance of employment, task sets within occupations are being redistributed. (ii) There is a multi-layered transformation in skill demand. Social-interactional skills and adaptive learning capacity are gaining importance alongside advanced digital skills. (iii) Policy capacity makes a difference. Countries with robust adult education, transition support, and social dialogue mechanisms manage the distributional costs of digital transformation more effectively (OECD, 2019, 2023).

A similar framework is evident in the OECD's studies on automation risk: instead of classifying entire occupations as "open" or "closed" to automation, it is necessary to consider task diversity. The findings of Arntz et al. (2016) demonstrate that when task-based measurement is utilized, the share of jobs at high risk of automation is lower than early estimates suggested; however, the pressure for transformation remains significant. This result is valuable for establishing a balance between "catastrophe discourse" and "complacency discourse" in policy design.

In a broader macroeconomic context, IMF and ILO findings align with OECD trends. The IMF notes that generative AI may widen exposure gaps between countries, while high exposure in advanced economies simultaneously carries high complementarity potential (Cazzaniga et al., 2024). The ILO emphasizes potential asymmetric effects globally, particularly concerning clerical work and female employment, highlighting the criticality of gender-sensitive transition policies (Gmyrek et al., 2023).

Taken together, these findings clarify that the labor market impact of digitalization cannot be summarized by a "single average." The same technological wave produces divergent outcomes across different country-sector-skill combinations. Consequently, policy analysis should be based on differentiated exposure profiles rather



than average effects. Within the methodological framework of this study, the fundamental takeaway is the necessity of reporting general equilibrium effects (price, demand, investment, and international trade channels) alongside partial equilibrium findings in policy evaluations.

## **5. CASE-BASED DISCUSSION WITHIN THE FRAMEWORK OF CONTEMPORARY TRENDS**

### **5.1. Robotization in the Manufacturing Industry**

Robot investments in the manufacturing industry represent one of the most measurable areas of the technology-employment relationship. While Acemoglu and Restrepo (2020) demonstrate that robotization creates employment and wage pressures in specific US local labor markets, Graetz and Michaels (2018) find that robotization is associated with productivity gains and price reductions in a multi-country sectoral panel. Reading these two findings together points to the tension between the local distributional effects of robotization and its macro-level productivity impacts.

The policy implication is clear: rather than obstructing technological investments, it is necessary to develop targeted transition policies in regions where negative local impacts are concentrated. Consequently, regional retraining funds, relocation/adjustment supports, and sectoral transformation plans gain significance.

### **5.2. Digitalization and Polarization in the Service Sector**

Digitalization in the service sector can produce a polarizing pattern between the expansion of low-skill service jobs and the appreciation of high-level cognitive work (Autor & Dorn, 2013). Particularly in retail, logistics, customer service, and financial operations, automation narrows middle-level routine tasks while expanding high-level analytical and strategic tasks.

In addition, AI-supported decision systems make worker performance measurement more intensive in the service sector, potentially increasing the "pace of work." OECD findings on job quality suggest that technological adaptation can yield negative effects on job satisfaction and autonomy if not supported by worker participation and governance mechanisms (OECD, 2023).

### **5.3. Generative AI and the White-Collar Transformation**

Unlike previous waves of automation, generative AI directly impacts white-collar occupations as it transforms language-based cognitive tasks. Tasks such as report writing, summarization, code generation, contract drafting, customer communication, and content production are now evolving into domains of human-machine co-production (Cazzaniga et al., 2024).

Two consequences for the labor market stand out. First, the concept of "expertise" is being redefined at the task level; while codifiable cognitive tasks lose value, the capacities for problem definition, contextualization, ethical reasoning, and verification are gaining importance. Second, because the task sets for early-career

positions may narrow, the component of professional learning acquired on the job could weaken. Therefore, institutions will need to develop structured learning pathways for young employees (OECD, 2023; ILO, 2025).

## **6. POLICY DISCUSSION: A FRAMEWORK FOR AN INCLUSIVE DIGITAL TRANSITION**

### **6.1. Active Labor Market Policies and Transition Support**

Since the local and sectoral costs of automation are asymmetric, "one-size-fits-all" employment policies are insufficient. Job and skill matching services, regional mobility support, transition tools such as wage insurance, and early warning mechanisms must be designed in tandem. ILO reports emphasize that providing skill investment simultaneously with income security during transition periods reduces the risk of permanent exit from the labor market (ILO, 2024, 2025).

Furthermore, when small and medium-sized enterprises (SMEs) lack the capacity for digital transformation, technological adaptation may turn into mere cost pressure without generating productivity gains. Therefore, SME-oriented technical consultancy, digital infrastructure support, and sectoral transformation centers are critical instruments.

### **6.2. Updating Labor Law and Social Protection**

The status, access to rights, and representation mechanisms for workers under digital platforms and algorithmic management must be redefined. Without expanding the scope of social protection for workers outside of standard employment relationships, digitalization may generate precariousness through the guise of flexibility (OECD, 2019; World Bank, 2019).

In this context, portable social benefits, minimum income security, transparent algorithmic principles in platform work, and data governance regulations gain importance. The policy objective is not to limit innovation but to distribute the social costs of innovation equitably.

### **6.3. Social Dialogue and Institutional Governance**

Technological transitions are not merely technical processes but also socio-economic and political ones. OECD and ILO reports demonstrate that transformations are more manageable in countries with worker participation at the workplace level and social dialogue mechanisms at the national level (OECD, 2023; ILO, 2025). Particularly in AI applications, the institutionalization of worker representation regarding job design, performance criteria, and skill planning is of critical importance.

From an institutional governance perspective, firms must pivot toward long-term "productivity + skill development" strategies rather than short-term cost minimization. Otherwise, productivity gains created by automation may not be sustainable due to issues of social legitimacy.

#### **6.4. Measurement Infrastructure and Evidence-Based Policy**

The effectiveness of digital transformation policies cannot be evaluated without a robust measurement infrastructure. Since employment statistics in many countries are produced at the occupational level, the intra-occupational task transformation remains largely invisible. However, without task-based monitoring, early warning systems are delayed and training programs remain misaligned with actual needs. Recent OECD assessments suggest integrating administrative data, firm surveys, and skill-utilization data to accurately measure AI exposure (OECD, 2023).

A second critical point for an evidence-based policy approach is evaluation capacity. Reskilling programs should be measured not just by the number of participants, but by outcomes such as wage impacts, job retention rates, inter-sectoral transition success, and productivity contributions. World Bank and ILO reports show that programs with weak monitoring and evaluation components quickly devolve into symbolic interventions, whereas countries that establish strong evaluation architectures use public resources more efficiently (World Bank, 2019; ILO, 2024). Consequently, in the era of digitalization, employment policy must evolve from a logic of "launching programs" to a logic of a "learning policy cycle."

#### **6. CONCLUSION**

The impact of digital transformation on the labor market can be reduced neither to the claim that "technology inevitably causes unemployment" nor to the assumption that "the market will automatically balance itself." The theoretical and empirical literature points to a more complex reality: while the displacement effect of automation is real, countervailing mechanisms—such as productivity gains, demand expansion, and the creation of new tasks—operate simultaneously (Acemoglu & Restrepo, 2018; Autor, 2015).

The debate over the Luddite Fallacy teaches us that while technological anxieties recur historically, these concerns should not obscure the tangible costs of transition (Mokyr et al., 2015). The SBTC approach explains how skill premiums and wage inequalities are reproduced through technology, while the task-based approach analytically reveals how this process unfolds in a fragmented manner at the intra-occupational level (Autor et al., 2003; Acemoglu & Restrepo, 2020).

When the current findings from the OECD, IMF, ILO, and World Bank are evaluated together, three strategic conclusions emerge: First conclusion: The primary issue is not "how many jobs will be lost?" but rather "which tasks will transform and how will this transition be managed?" Second conclusion: The distributional effects of digitalization are profound; asymmetries in gains and losses are evident across skills, gender, age, sectors, and regions. Third conclusion: Policy capacity is the decisive factor. Digital transformation yields more inclusive outcomes when reskilling, active labor market policies, modern social protection, and social dialogue mechanisms are robust.

Within this framework, future-oriented policy recommendations can be summarized as follows:

- Reskilling financing should be linked to a permanent institutional structure; specifically, rights-based individual learning accounts should be developed for workers at high risk of automation, and employer contributions should be strengthened through mandatory or incentive-based mechanisms.
- AI governance must be integrated into a framework that encompasses not only data security but also labor market impacts; transparency in algorithmic decision-making processes and the right to appeal should be guaranteed.
- Regional transformation strategies should be developed to support local employment ecosystems in areas where robotization and automation are concentrated.
- Social dialogue mechanisms should be made a fundamental component of technology policies; the capacity of workers to adapt to technology should be viewed as a productivity investment rather than a corporate cost item.

Ultimately, digital transformation is neither an inevitable "threat" nor an automatic "opportunity" for the labor market; outcomes are shaped by institutional design and policy choices. Therefore, the core challenge is not to resist technology but to pair technological change with a socially manageable, equitable, and productive transition architecture. In conclusion, the general evaluation indicates that the success of digitalization should be measured not solely by investment in technology, but by the institutional mechanisms through which productivity gains are transmitted to wages and employment. Consequently, it is assessed that the future research agenda should focus on causal designs that integrate task-level microdata with firm-level investment data and the impact analysis of policy experiments.

## REFERENCES

- Acemoglu, D., & Autor, D. (2011). Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. In O. Ashenfelter & D. Card (Eds.), *Handbook of Labor Economics* (Vol. 4B, pp. 1043–1171). Elsevier.
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). Artificial intelligence, automation and work (NBER Working Paper No. 24196). *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.3386/w24196>
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2020). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy*, 128(6), 2188–2244. <https://doi.org/10.1086/705716>
- Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2016). The risk of automation for jobs in OECD countries: A comparative analysis (OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 189). *OECD Publishing*. <https://doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en>
- Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30. <https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3>
- Autor, D. H., & Dorn, D. (2013). The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market. *American Economic Review*, 103(5), 1553–1597. <https://doi.org/10.1257/aer.103.5.1553>
- Autor, D. H., Katz, L. F., & Kearney, M. S. (2006). The polarization of the U.S. labor market (NBER Working Paper No. 11986). *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.3386/w11986>
- Autor, D. H., Levy, F., & Murnane, R. J. (2003). The skill content of recent technological change: An empirical exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, 118(4), 1279–1333. <https://doi.org/10.1162/003355303322552801>
- Bessen, J. (2020). Automation and jobs: When technology boosts employment. *Economic Policy*, 34(100), 589–626. <https://doi.org/10.1093/epolic/eiaa001>
- Cazzaniga, M., Jaumotte, F., Li, L., Melina, G., Panton, A. J., Pizzinelli, C., Rockall, E. J., & Mendes Tavares, M. (2024). Gen-AI: Artificial intelligence and the future of work (IMF Staff Discussion Note No. 2024/001). *International Monetary Fund*. <https://doi.org/10.5089/9798400262548.006>
- Gmyrek, P., Berg, J., & Bescond, D. (2023). Generative AI and jobs: A global analysis of potential effects on job quantity and quality (ILO Working Paper No. 96). *International Labour Organization*. <https://doi.org/10.54394/FHEM8239>
- Goldin, C., & Katz, L. F. (2008). *The race between education and technology*. Harvard University Press. <https://www.hup.harvard.edu/books/9780674035300>
- Goos, M., Manning, A., & Salomons, A. (2014). Explaining job polarization: Routine-biased technological change and offshoring. *American Economic Review*, 104(8), 2509–2526. <https://doi.org/10.1257/aer.104.8.2509>

- Graetz, G., & Michaels, G. (2018). Robots at work. *Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753–768.  
[https://doi.org/10.1162/rest\\_a\\_00754](https://doi.org/10.1162/rest_a_00754)
- ILO. (2024). *World employment and social outlook: Trends 2024*. International Labour Organization.  
<https://www.ilo.org/publications/world-employment-and-social-outlook-trends-2024>
- ILO. (2025). *World employment and social outlook: Trends 2025*. International Labour Organization.  
<https://www.ilo.org/publications/flagship-reports/world-employment-and-social-outlook-trends-2025>
- Mokyr, J., Vickers, C., & Ziebarth, N. L. (2015). The history of technological anxiety and the future of economic growth: Is this time different? *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 31–50.  
<https://doi.org/10.1257/jep.29.3.31>
- Nedelkoska, L., & Quintini, G. (2018). Automation, skills use and training (OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 202). *OECD Publishing*. <https://doi.org/10.1787/2e2f4eea-en>
- OECD. (2019). *OECD employment outlook 2019: The future of work*. OECD Publishing.  
<https://doi.org/10.1787/9ee00155-en>
- OECD. (2023). *OECD employment outlook 2023: Artificial intelligence and the labour market*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/08785bba-en>
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum.  
<https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/>
- World Bank. (2019). *World development report 2019: The changing nature of work*. World Bank.  
<https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2019>



## NUMERICAL ASSESSMENT OF SOIL–FOUNDATION INTERACTION UNDER CYCLIC LOADING CONDITIONS

Dr. Sacit SARIMURAT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ASELSAN, Civil Engineer, ssarimurat@gmail.com, 0000-0003-4572-2448

### Abstract

Soil–foundation interaction under cyclic loading is a critical consideration in the design of structures subjected to repeated loading conditions such as wind, waves, and machine vibrations. These loading scenarios can significantly influence the deformation behavior and long-term stability of foundation systems, particularly in soft or medium-stiff soils. This study presents a numerical investigation of soil–foundation interaction under cyclic loading using a finite element modeling approach. A series of simulations were conducted to evaluate the effects of cyclic load amplitude, frequency, and number of loading cycles on settlement accumulation and stress redistribution within the soil mass. The numerical model incorporates nonlinear soil behavior and considers both elastic and plastic deformation mechanisms. Parametric analyses were performed to assess the influence of soil stiffness and damping characteristics on foundation response. The results indicate that cyclic loading leads to progressive accumulation of settlement, with higher amplitudes and frequencies resulting in increased deformation rates. Additionally, significant changes in stress distribution were observed beneath the foundation, particularly in the near-surface zones. The interaction between soil stiffness degradation and cyclic loading was found to play a key role in the overall performance of the system. The findings of this study provide valuable insights into the behavior of soil–foundation systems under repeated loading and highlight the importance of considering cyclic effects in geotechnical design. The results can support the development of more reliable and performance-based design approaches for structures subjected to dynamic loading conditions.

**Keywords:** Soil–foundation interaction, cyclic loading, settlement, numerical analysis, dynamic behavior, finite element method

## THE NEXUS BETWEEN FDI AND GREEN GROWTH: EVIDENCE FROM CHINA

Professor Dr. Laura Diaconu (Maxim)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5745-3850>

E-mail: lauradiaconu\_07@yahoo.com

Faculty of Economics and Business Administration,  
“Alexandru Ioan Cuza” University of Iasi, Romania

### Abstract

Since the 1990's, China has become one of the world's largest recipients of foreign direct investments (FDI), which played a central role in industrialization of the country and in technological upgrading. Meanwhile, China's transition toward a green development model has raised questions about whether FDI contributes to or hinders sustainable growth. However, according to the empirical evidence, FDI can influence the green growth through technology spillovers, industrial restructuring and environmental regulation effects. Considering these aspects, the purpose of this study is to empirically analyze whether FDI enhances green total factor productivity in China and how factors such as environmental regulation, innovation capacity and sectoral heterogeneity mediate this relationship. In order to achieve our goal, we used panel data covering Chinese provinces and major cities during the period 2004–2019. Our results indicate that FDI has a statistically significant and positive impact on China's green growth. In particular, FDI enhances green total factor productivity primarily through technology spillovers and human capital accumulation, facilitating cleaner production processes and improved energy efficiency.

**Keywords:** FDI, green growth, sustainability, China

## ALGORITHMIC CITIZENSHIP AND EDUCATIONAL STRATIFICATION IN AI-MEDIATED LEARNING ENVIRONMENTS

PhD Petronela Daniela FERARU

National College Iași and “Ion Neculce” High School, Târgu Frumos, Romania

Email: [daniela\\_feraru\\_p@yahoo.com](mailto:daniela_feraru_p@yahoo.com)

### Abstract

The expansion of artificial intelligence within educational environments is generating profound transformations in the ways knowledge is accessed, produced, and legitimized. This study examines the emergence of algorithmic citizenship as a sociological and educational response to the growing influence of AI-mediated power in contemporary learning environments. Moving beyond traditional frameworks of digital citizenship, the paper argues that the widespread integration of generative artificial intelligence, algorithmic search systems, and AI-assisted knowledge tools requires a broader understanding of citizenship, centered on critical algorithmic awareness, reflexive competence, and democratic agency.

The research adopts a mixed-method sociological design, combining quantitative and qualitative data collected from 380 participants across formal educational contexts. The empirical investigation explores patterns of AI use, perceptions of benefits and risks, levels of algorithmic awareness, dimensions of algorithmic competence, and attitudes toward educational policies aimed at fostering AI literacy and critical engagement with algorithmic systems.

The findings indicate that artificial intelligence has become a routine component of educational practice, particularly in relation to information access, academic productivity, and research support. However, access to AI tools does not automatically generate meaningful algorithmic agency. Instead, important disparities persist in levels of algorithmic awareness, bias detection, ethical understanding, and the strategic use of AI technologies. These differences suggest the emergence of algorithmic capital as a new form of symbolic and cognitive resource shaping participation, authority, and recognition in educational fields.

The study also shows that AI-mediated environments are transforming traditional forms of educational authority, creating hybrid epistemic systems in which knowledge is increasingly co-mediated by human educators and algorithmic infrastructures. In this context, education becomes a crucial arena for reducing inequalities and fostering critical algorithmic citizenship. The paper concludes that educational policy should move beyond instrumental digital literacy and prioritize algorithmic competence, ethical reflexivity, and critical engagement with artificial intelligence as essential conditions for democratic participation in contemporary society.

Keywords: algorithmic citizenship, artificial intelligence in education, algorithmic capital, educational stratification, algorithmic literacy, epistemic authority, AI governance, critical algorithmic awareness, digital inequality, educational transformation.

### **1. Introduction**

The rapid institutionalization of artificial intelligence across contemporary societies is transforming the structural conditions under which knowledge is produced, circulated, and legitimized. Education, traditionally regarded as a central institution for the transmission of knowledge and the formation of civic competence, is increasingly shaped by algorithmic infrastructures that mediate access to information, learning processes, and epistemic authority. The expansion of generative AI tools marks a new stage in the digital transformation of education, raising fundamental questions about how power, knowledge, and inequality are being reconfigured in AI-mediated learning environments.

Over the past two decades, the concept of digital citizenship has occupied a central place in educational discourse, emphasizing responsible participation in online environments, digital literacy, and the ethical use of technology (Ribble, 2015). While this framework has been valuable for understanding participation in networked environments, it is no longer sufficient for capturing the socio-epistemic transformations generated by contemporary AI systems. Unlike earlier digital technologies, AI systems do not merely facilitate communication or information access; they increasingly participate in the generation, organization, filtering, and evaluation of knowledge itself. Search algorithms, recommender systems, and generative AI tools shape what users encounter as relevant, credible, and useful information, thereby influencing cognitive practices, learning trajectories, and forms of authority within educational settings (Beer, 2017; Kitchin, 2017).

These developments require a broader conceptual vocabulary. In particular, they call for a shift from digital citizenship toward what this paper conceptualizes as algorithmic citizenship. Algorithmic citizenship refers to the capacity of individuals to critically understand, interpret, evaluate, and engage with algorithmic systems that influence access to knowledge, educational participation, and public reasoning. This concept foregrounds not only responsible technology use, but also the critical and reflexive competencies required to navigate environments in which algorithmic systems increasingly structure epistemic life.

From a sociological perspective, this shift is significant because algorithmic mediation is not socially neutral. The capacity to use AI effectively, to assess the reliability of AI-generated outputs, and to recognize the biases and power effects embedded in algorithmic systems is likely to be unevenly distributed. Drawing on Bourdieu's theory of capital and social fields (Bourdieu, 1986), this article argues that such capacities can be understood as a form of algorithmic capital: a set of cognitive, practical, and reflexive resources that shape participation, recognition, and authority within AI-mediated educational environments. As with other forms of

capital, algorithmic capital is unevenly distributed and may contribute to new forms of educational stratification.

Although a growing body of literature has examined artificial intelligence in education, digital literacy, and algorithmic governance, fewer studies have systematically connected these debates through an empirical sociological analysis of how AI-mediated learning environments reshape citizenship, epistemic authority, and educational inequality. This article addresses that gap by examining the emergence of algorithmic citizenship as both a conceptual framework and an empirical phenomenon situated within contemporary educational contexts.

The study draws on mixed-method data collected from 380 participants across formal educational environments and investigates three interrelated dimensions: patterns of AI use in educational practice, levels of algorithmic awareness and competence, and perceptions of AI's influence on educational authority and policy. More specifically, the article asks: how is artificial intelligence being integrated into educational practices; how are algorithmic awareness and algorithmic competence distributed across educational actors; and to what extent do these processes contribute to new forms of educational differentiation?

By bringing together sociological theory, empirical evidence, and educational policy implications, the article advances two central arguments. First, the expansion of AI in education is transforming traditional relations of epistemic authority by creating hybrid environments in which knowledge is increasingly co-mediated by human actors and algorithmic systems. Second, the unequal distribution of algorithmic competence suggests the emergence of algorithmic capital as a new stratifying resource within educational fields. In this context, the development of algorithmic citizenship becomes essential not only for effective participation in AI-mediated learning, but also for sustaining democratic agency in contemporary knowledge societies.

## **2. Theoretical Framework: Algorithmic Power and Educational Fields**

### **2.1 From Digital Citizenship to Algorithmic Citizenship**

The concept of digital citizenship emerged as a normative and educational framework aimed at fostering responsible participation in digital environments. It has traditionally emphasized competencies such as digital literacy, online communication, and ethical engagement in networked spaces (Ribble, 2015). While this framework has played a crucial role in shaping educational responses to the expansion of digital technologies, it is increasingly inadequate for addressing the structural transformations introduced by artificial intelligence.

Contemporary digital environments are no longer defined solely by communication technologies, but by algorithmic systems that actively structure access to information, visibility, and knowledge validation. Artificial intelligence systems do not simply mediate interaction; they participate in the production, classification, and prioritization of knowledge. As a result, individuals no longer encounter information in neutral environments,

but within algorithmically curated epistemic spaces shaped by opaque computational processes (Beer, 2017; Kitchin, 2017).

In this context, the concept of algorithmic citizenship is proposed as an analytical and normative extension of digital citizenship. Algorithmic citizenship refers to the capacity of individuals to critically understand, interpret, and engage with algorithmic systems that structure access to knowledge and influence decision-making processes. Unlike digital citizenship, which focuses on responsible use, algorithmic citizenship foregrounds the critical interrogation of algorithmic power, including awareness of data infrastructures, bias, and the socio-political implications of automated systems.

From an educational perspective, this shift implies a redefinition of core competencies. Algorithmic citizenship requires not only functional digital skills, but also reflexive and critical capacities, including the ability to evaluate AI-generated content, recognize algorithmic bias, and understand the broader implications of AI-mediated knowledge production. In this sense, algorithmic citizenship represents a higher-order form of civic competence adapted to algorithmically structured societies.

## **2.2 Algorithmic Governance and the Reconfiguration of Epistemic Power**

The increasing integration of artificial intelligence into social institutions has led to the emergence of what is commonly described as algorithmic governance. This concept refers to the role of algorithmic systems in structuring decision-making processes through data-driven classification, ranking, and prediction mechanisms (Kitchin, 2017).

From a sociological perspective, algorithmic governance can be understood as a reconfiguration of power relations in contemporary societies. Drawing on Foucault's conceptualization of power/knowledge (Foucault, 1980), algorithmic systems function as dispositifs that organize the conditions under which knowledge is produced, circulated, and legitimized. Rather than exerting power through direct authority, these systems operate through infrastructural mediation, shaping what becomes visible, credible, and actionable knowledge.

In educational contexts, this transformation has profound implications. Traditionally, epistemic authority was largely institutionalized within schools, universities, and academic communities. However, algorithmic systems such as search engines and generative AI tools increasingly act as intermediaries of knowledge, influencing how learners access and interpret information. This shift contributes to the emergence of hybrid epistemic environments, in which authority is distributed between human educators and algorithmic infrastructures.

The rise of generative AI intensifies these dynamics by enabling machines to produce outputs that resemble human reasoning and authorship. This development challenges established boundaries between



knowledge consumption and knowledge production, raising questions about the legitimacy, reliability, and ownership of algorithmically generated knowledge. Consequently, algorithmic governance must be understood not only as a technical phenomenon, but as a transformation in the organization of epistemic power.

### **2.3 Algorithmic Capital and Educational Stratification**

To analyze how these transformations intersect with social inequality, this study draws on Bourdieu's theory of capital and social fields (Bourdieu, 1986). Within this framework, social life is structured by the unequal distribution of resources—economic, cultural, social, and symbolic—that shape individuals' positions and opportunities within specific fields.

In the context of AI-mediated educational environments, this article introduces the concept of algorithmic capital as a distinct form of cognitive and practical resource. Algorithmic capital encompasses a multidimensional set of competencies, including algorithmic awareness, interpretative competence, prompt competence, critical reflexivity, and strategic integration.

Conceptually, algorithmic capital extends but does not replicate existing forms of capital. While it intersects with cultural capital (in its cognitive dimension) and digital capital (in its technological dimension), it represents a distinct resource specific to algorithmically mediated environments. Its value lies in the capacity to transform access to AI tools into meaningful epistemic advantage.

The distribution of algorithmic capital is unlikely to be socially neutral. Individuals with greater access to advanced educational resources, technological infrastructures, and supportive learning environments are more likely to develop higher levels of algorithmic competence. As a result, algorithmic capital may function as a new axis of educational stratification, contributing to differentiated academic trajectories and forms of recognition within educational fields.

In this sense, the emergence of algorithmic capital reflects a broader transformation in the mechanisms through which inequality is produced and reproduced in knowledge societies. As artificial intelligence becomes increasingly embedded in educational practices, the ability to critically and strategically engage with algorithmic systems may become a key determinant of participation and success in contemporary education.

## **3. Methodology**

### **3.1 Research Design**

This study employs a mixed-method research design integrating quantitative survey data with qualitative interpretative analysis in order to examine the emergence of algorithmic citizenship and the distribution of algorithmic capital within AI-mediated educational environments. The use of a mixed-method approach is particularly appropriate for investigating complex socio-technological phenomena that involve both observable

practices and subjective perceptions related to artificial intelligence and knowledge production (Creswell & Plano Clark, 2018).

The quantitative component focuses on identifying patterns of AI use, levels of algorithmic awareness, perceived benefits and risks, and self-assessed dimensions of algorithmic competence. The qualitative component complements these findings by exploring participants' interpretations of AI's role in knowledge production, educational authority, and professional identity.

The study adopts an explanatory design, in which quantitative findings provide a structural overview of emerging patterns, while qualitative insights contribute to a deeper understanding of the meanings and interpretations associated with these transformations.

### 3.2 Sample and Data Collection

The empirical research was conducted between January and March 2025 and is based on a sample of 380 participants drawn from formal educational contexts, including high school students, university students, and teaching professionals.

Participants were selected using a purposive and convenience sampling strategy, targeting individuals who actively engage with digital technologies and artificial intelligence tools in educational settings. This approach allows for the exploration of emerging patterns within technologically mediated learning environments, although it does not aim at statistical representativeness.

The sample includes a diverse range of respondents in terms of age, educational status, and institutional affiliation, reflecting the heterogeneity of actors involved in contemporary educational systems. Data on gender, age group, and educational position were collected to provide a socio-demographic context for interpreting variations in AI use and algorithmic competence (see Figure 1).

As illustrated in Figure 1, the socio-demographic composition of the sample reflects the diversity of educational actors participating in digitally mediated learning environments.

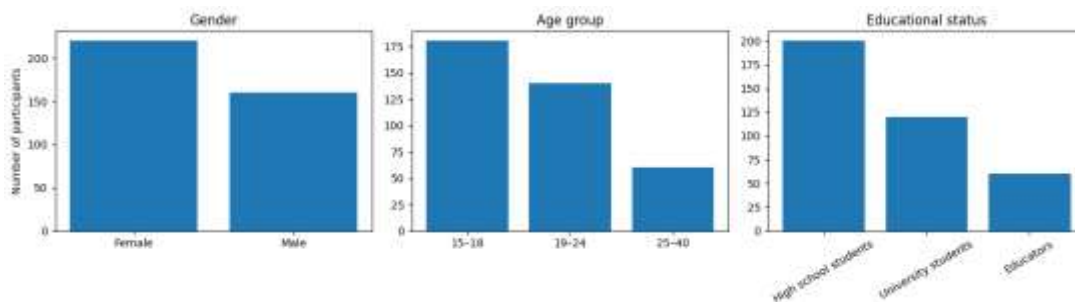


**Figure 1. Socio-demographic Structure of the Sample (N = 380)**

**Note.** The figure presents the distribution of participants according to gender, age group, and educational status.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 1 presents the distribution of participants by gender, age group, and educational status, providing the socio-demographic context for the empirical analysis.

From a methodological standpoint, the socio-demographic diversity of the sample provides a relevant basis for examining differences in AI engagement and algorithmic competence across educational actors. The predominance of younger participants reflects the central role of digitally native generations in shaping emerging patterns of interaction with artificial intelligence in education.

### 3.3 Instruments and Operationalization of Key Concepts

Data were collected through a structured questionnaire consisting of multiple sections designed to capture both behavioral and perceptual dimensions of AI use in education.

The questionnaire included items measuring frequency of AI use, items assessing the types of AI tools used, items capturing perceived benefits and risks associated with AI, self-assessment items measuring levels of algorithmic awareness, and items evaluating dimensions of algorithmic competence.

The key concepts were operationalized as follows:

**Algorithmic awareness** was measured through self-reported understanding of how AI systems function, using a Likert-type scale ranging from very low to very high.

**Algorithmic competence** was conceptualized as a multidimensional construct and assessed through self-reported abilities in: prompt formulation, evaluation of AI-generated content, detection of bias, ethical awareness, strategic use of AI tools.

**Algorithmic capital** was analytically derived as a composite construct based on the distribution of algorithmic awareness and competence across participants. While not measured as a single scale, it is interpreted as an emergent form of resource reflected in varying levels of algorithmic engagement and capability.

The questionnaire was administered online, ensuring accessibility and anonymity for participants.

### 3.4 Data Analysis

The quantitative data were analyzed using descriptive statistical techniques, including frequency distributions and percentage-based comparisons, in order to identify patterns of AI use, perceived benefits and risks, and levels of algorithmic awareness and competence across the sample.

The qualitative component consisted of open-ended questionnaire responses and 12 semi-structured interviews conducted with a subset of teachers and students. These data were analyzed using thematic analysis, following an inductive coding approach aimed at identifying recurring themes and interpretative patterns.

The integration of quantitative and qualitative findings was conducted at the interpretative level, allowing for the triangulation of results and the development of a more comprehensive understanding of algorithmically mediated educational environments.

### **3.5 Ethical Considerations and Limitations**

The study was conducted in accordance with established ethical standards, including voluntary participation, informed consent, anonymity, and confidentiality. Participants were informed about the academic purpose of the research and the use of the data exclusively for scientific analysis.

Given the non-probabilistic nature of the sample, the findings are not intended to be statistically generalizable to all educational populations. Instead, they provide analytically relevant insights into emerging patterns associated with artificial intelligence in education.

Additionally, the reliance on self-reported measures may introduce subjective bias, particularly in the assessment of algorithmic awareness and competence. However, this approach remains appropriate for capturing perceived levels of engagement and understanding in exploratory research on emerging technological phenomena.

### **4. Results and Sociological Analysis**

The empirical findings provide a comprehensive overview of how artificial intelligence is integrated into contemporary educational environments and how educational actors perceive its implications for knowledge production, learning practices, and epistemic authority. Taken together, the results reveal the consolidation of AI-mediated learning environments and highlight emerging patterns of differentiation related to algorithmic awareness and competence.

#### 4.1 AI Usage Patterns in Educational Contexts

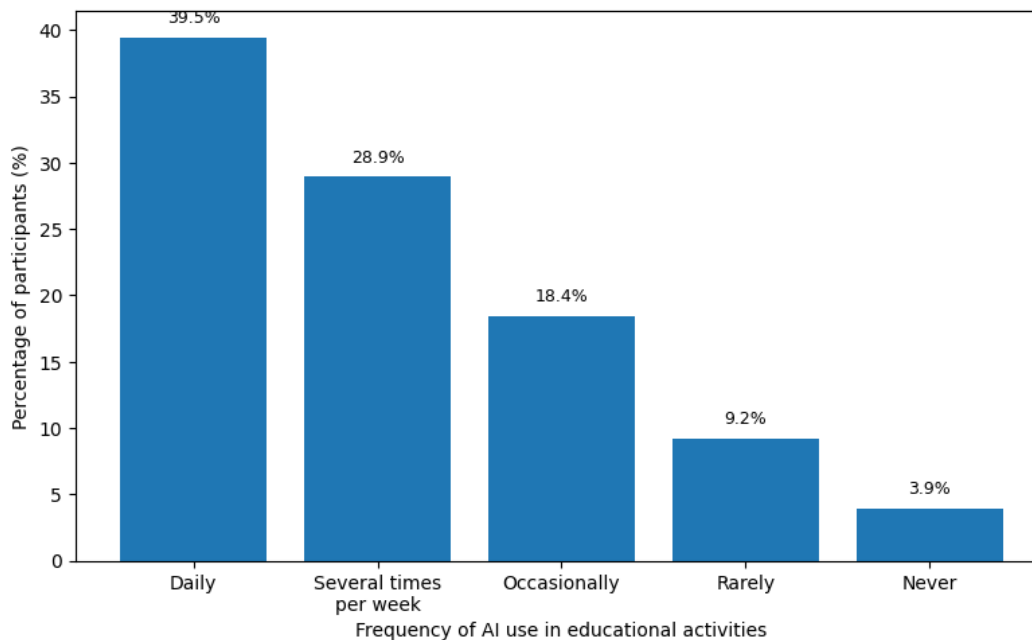


**Figure 2. Frequency of AI Use in Educational Activities (N = 380)**

**Note.** Percentages represent the proportion of participants reporting different frequencies of AI use in learning and academic activities.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 2 indicates a high frequency of artificial intelligence use among participants, with the majority reporting daily or weekly engagement with AI tools. This pattern suggests that AI technologies have become embedded in routine academic practices rather than functioning as occasional or supplementary resources.

From a sociological perspective, the normalization of AI use reflects a broader transformation in knowledge practices, where algorithmic systems increasingly function as cognitive infrastructures supporting learning and academic productivity. The frequent use of AI tools indicates a shift toward hybrid modes of knowledge production, in which human cognition is extended through interaction with algorithmic systems.

At the same time, the existence of participants who use AI only occasionally or rarely highlights persistent inequalities in access, familiarity, or confidence in using these technologies. This variation suggests that frequency of use may constitute an early indicator of emerging differences in algorithmic engagement, which can later translate into differentiated levels of algorithmic competence.

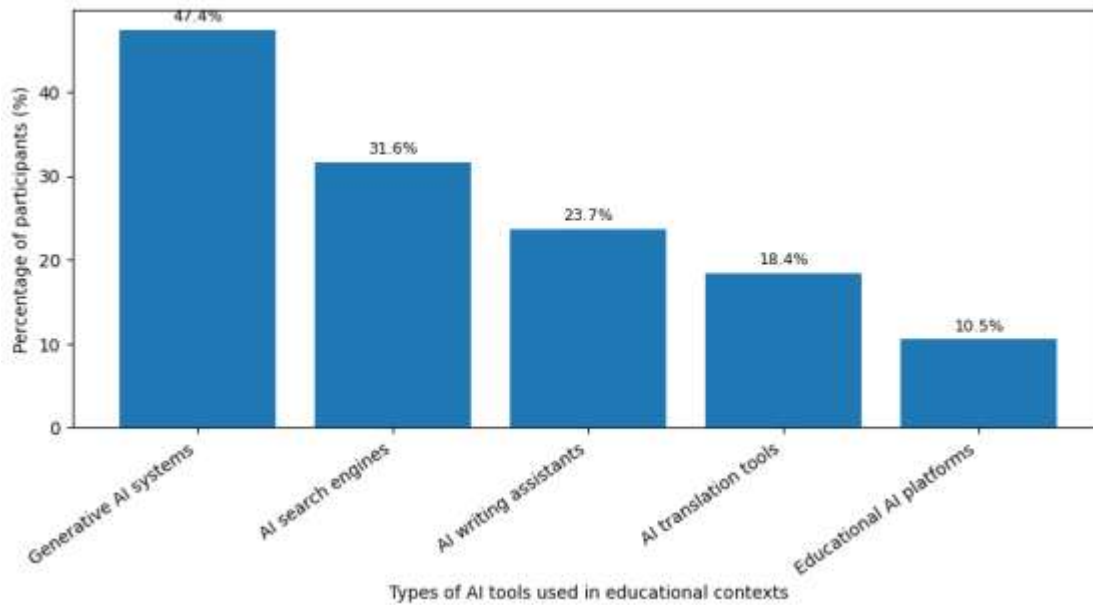


**Figure 3. Types of Artificial Intelligence Tools Used in Educational Contexts (N = 380)**

**Note.** Percentages represent the proportion of participants reporting the use of different categories of AI technologies in learning and academic activities.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 3 shows that generative AI systems represent the most frequently used category of tools, followed by AI-based search engines and writing assistants. This distribution indicates that artificial intelligence is increasingly integrated not only into information retrieval but also into processes of knowledge production.

The predominance of generative AI tools suggests a qualitative shift in educational practices, where students and educators engage directly with systems capable of producing textual and analytical outputs. This transformation blurs traditional distinctions between accessing information and generating knowledge, raising important questions about authorship, originality, and intellectual labor.

The diversity of tools used further indicates the emergence of multi-layered algorithmic ecosystems in education, where different AI technologies mediate distinct aspects of learning. The ability to navigate this ecosystem effectively may therefore become a crucial component of algorithmic competence.



## 4.2 Perceived Benefits and Risks of Artificial Intelligence

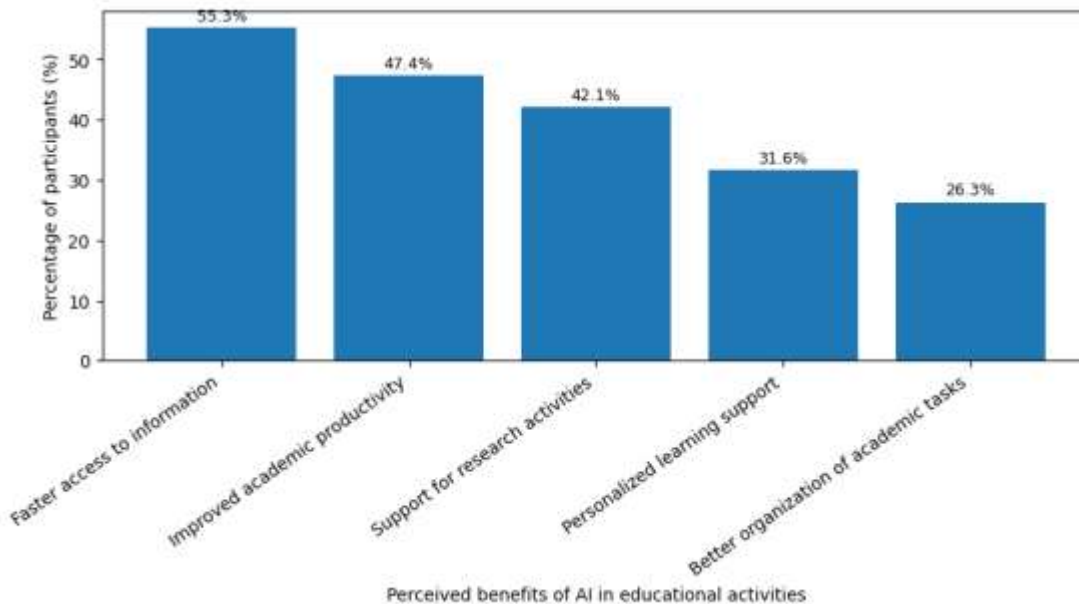


**Figure 4. Perceived Educational Benefits of Artificial Intelligence in Learning Activities (N = 380)**

**Note.** Percentages represent the proportion of participants identifying specific advantages associated with the use of artificial intelligence in educational contexts.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 4 highlights that participants primarily associate artificial intelligence with improved access to information, increased academic productivity, and enhanced research support. These perceptions reflect the growing recognition of AI as a cognitive support infrastructure within educational environments.

From a sociological perspective, these findings align with broader transformations in knowledge societies, where technological systems function as extensions of human cognitive capacities. AI tools facilitate the acceleration of information processing and reduce the time required for knowledge acquisition, thereby reshaping expectations regarding efficiency and performance in academic contexts.

However, the relatively lower emphasis on personalized learning suggests that current uses of AI remain oriented toward general productivity rather than fully adaptive educational models.

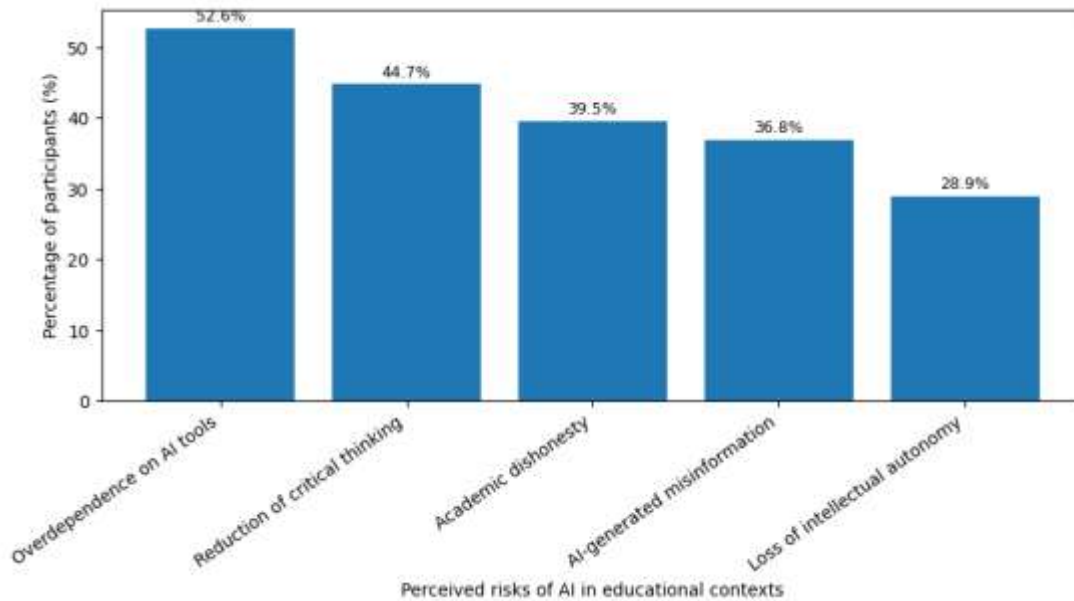


**Figure 5. Perceived Risks of AI in Educational Contexts (N = 380)**

**Note.** Percentages represent the proportion of participants identifying potential risks associated with artificial intelligence in learning and academic activities.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 5 indicates that participants are highly aware of the risks associated with AI use, particularly overdependence, reduced critical thinking, and the spread of misinformation.

These concerns reflect the ambivalent nature of AI integration in education. While artificial intelligence enhances efficiency, it may also transform cognitive practices by encouraging reliance on automated outputs. From a sociological perspective, this tension illustrates the dual role of AI as both an enabling and potentially constraining force in knowledge production.

The emphasis on academic dishonesty and misinformation also highlights the emergence of new ethical and epistemic challenges, requiring institutional responses and pedagogical adaptation.

### 4.3 Algorithmic Awareness and Algorithmic Competence

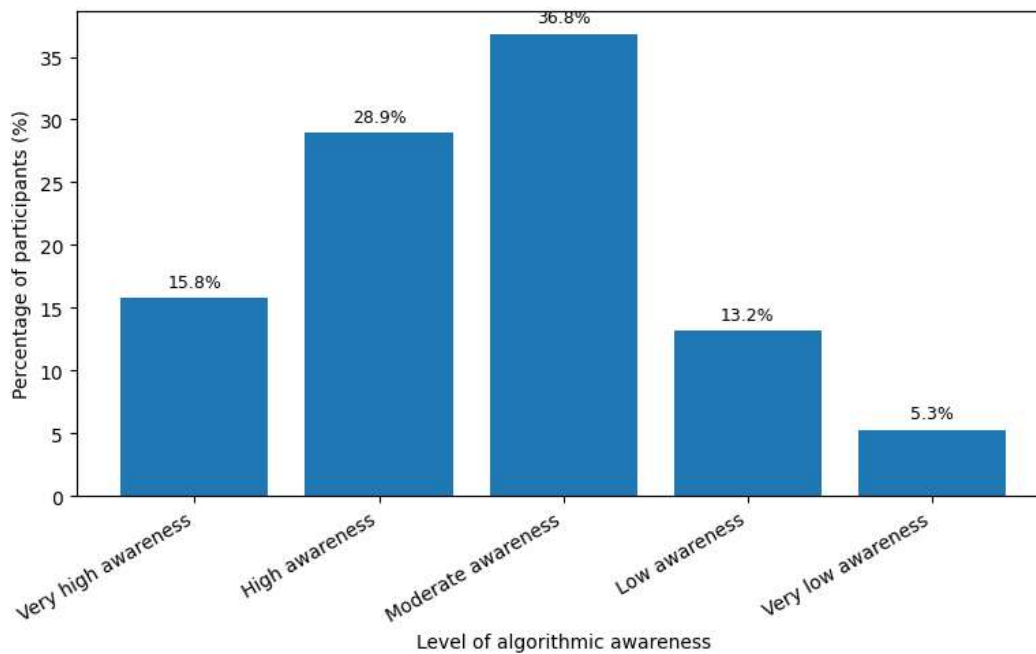


**Figure 6. Level of Algorithmic Awareness Among Participants (N = 380)**

**Note.** Percentages represent respondents' self-assessed understanding of how artificial intelligence systems and algorithms function.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 6 shows that most participants report moderate levels of algorithmic awareness, with fewer respondents indicating very high levels of understanding.

This distribution suggests that while AI technologies are widely used, deeper understanding of how these systems function remains uneven. This pattern reflects a common dynamic in technological adoption, where practical use develops more rapidly than critical comprehension.

From a sociological perspective, this gap between use and understanding constitutes a key dimension of algorithmic inequality, as individuals with higher levels of awareness are better equipped to critically engage with AI-generated knowledge.

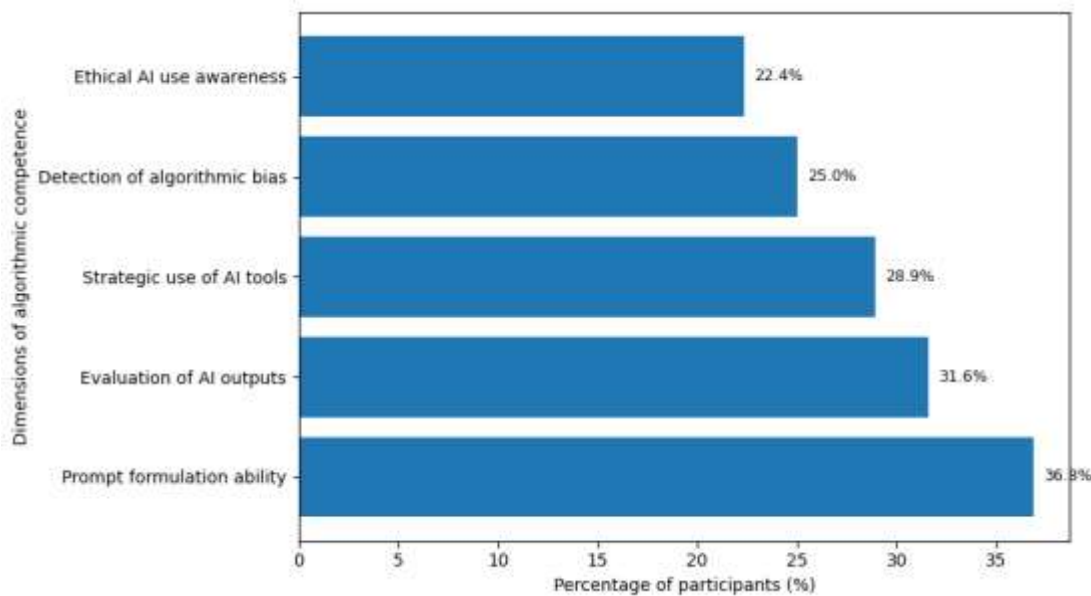


**Figure 7. Dimensions of Algorithmic Competence Among Participants (N = 380)**

**Note.** Percentages represent respondents' self-assessed competencies related to interacting with artificial intelligence systems.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 7 illustrates that participants report higher levels of competence in prompt formulation and general use of AI tools, while competencies related to bias detection and ethical awareness remain less developed.

This discrepancy highlights the distinction between operational and critical dimensions of algorithmic competence. While users may become proficient in interacting with AI systems, they may lack the reflexive capacities required to evaluate their limitations and implications.

This uneven development reinforces the argument that algorithmic competence is not a homogeneous skill but a stratified resource, contributing to differences in how individuals benefit from AI technologies.

#### 4.4 Algorithmic Authority and Educational Transformation

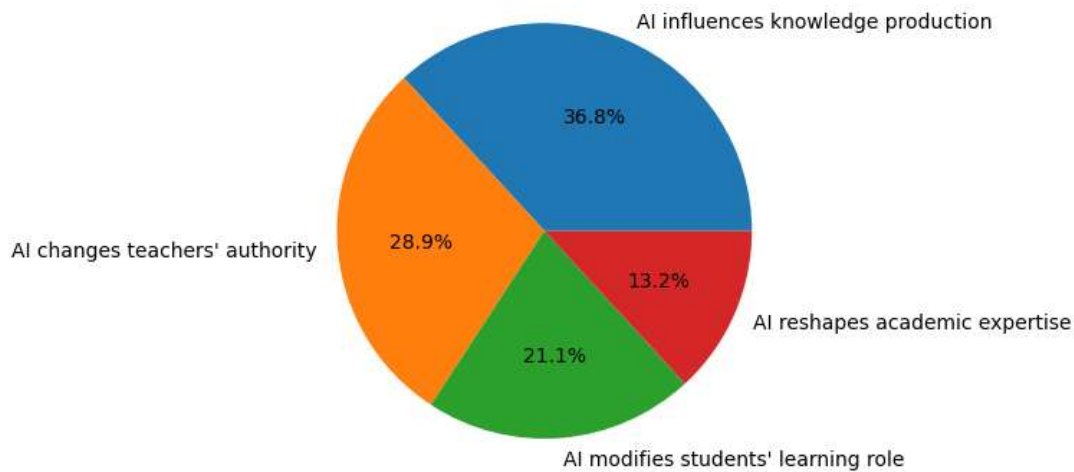


**Figure 8. Perceived Influence of Artificial Intelligence on Educational Authority (N = 380)**

**Note.** The figure illustrates participants' perceptions regarding the influence of AI on knowledge production, teachers' authority, students' roles, and academic expertise.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 8 indicates that participants perceive artificial intelligence as increasingly influential in shaping knowledge production and educational authority.

These perceptions reflect the emergence of hybrid epistemic environments in which knowledge is co-mediated by human educators and algorithmic systems. From a sociological perspective, this transformation represents a redistribution of epistemic authority, where traditional institutional actors are complemented—and sometimes challenged—by algorithmic infrastructures.

This shift does not necessarily imply the replacement of teachers but rather a reconfiguration of their role within an expanded knowledge ecosystem.

## 4.5 Algorithmic Capital and Educational Stratification

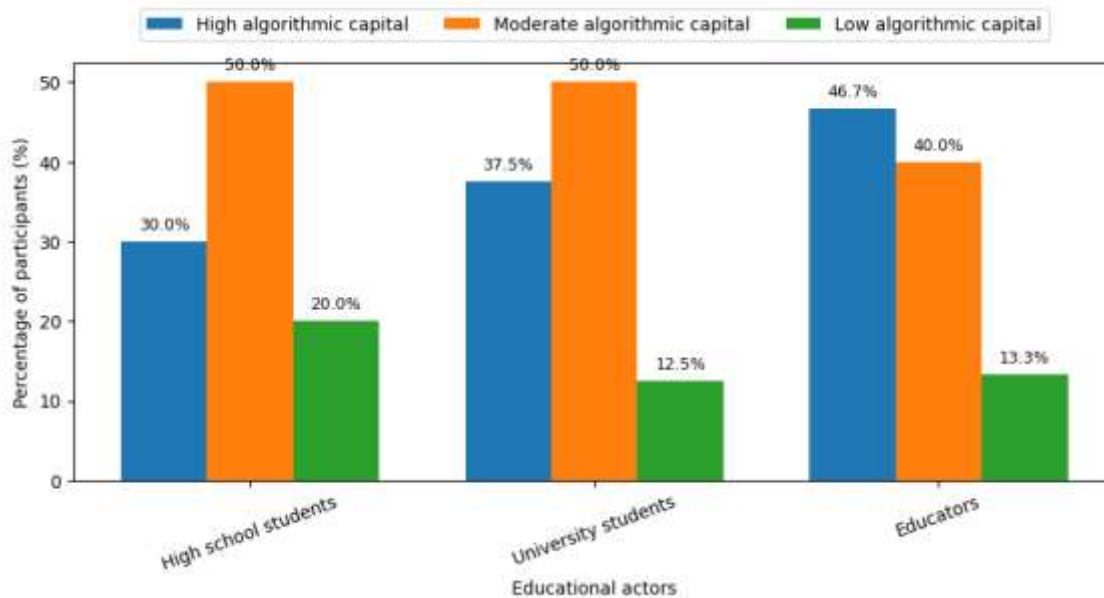


**Figure 9. Distribution of Algorithmic Capital Across Educational Actors (N = 380)**

**Note.** Percentages represent the distribution of algorithmic competence levels within each educational group.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 9 illustrates variations in levels of algorithmic competence across different educational actors, indicating an uneven distribution of algorithmic capital.

From a Bourdieusian perspective, this distribution suggests that algorithmic competence functions as a form of capital that shapes individuals' capacity to participate effectively in knowledge production. Participants with higher levels of competence are better positioned to leverage AI tools strategically, while others may remain limited to more superficial forms of use.

This uneven distribution highlights the potential of algorithmic capital to become a new axis of educational stratification, reinforcing or reconfiguring existing inequalities within educational systems.



#### 4.6 Toward Algorithmic Citizenship

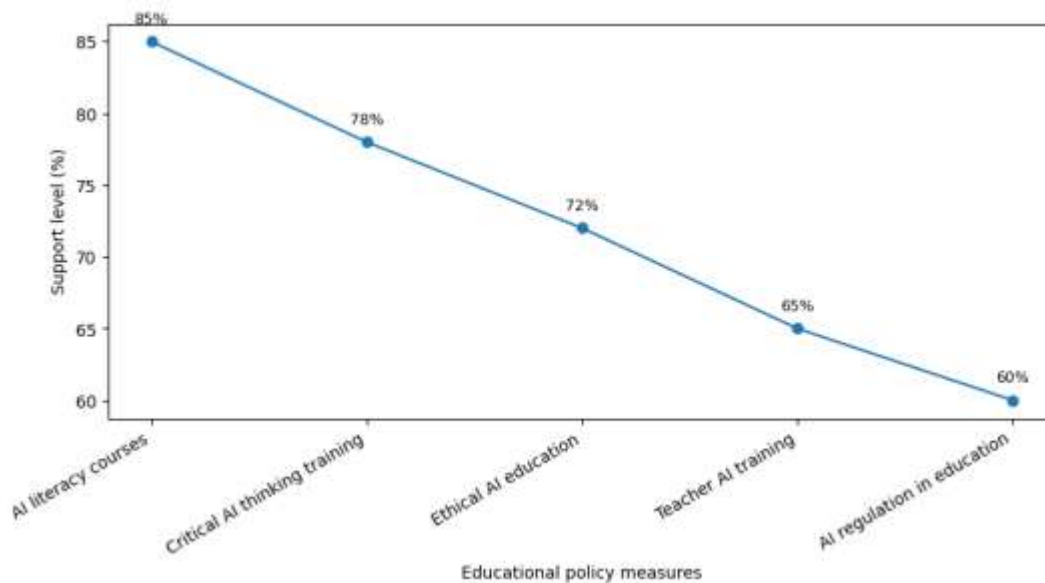


**Figure 10. Support for Educational Policies Promoting Algorithmic Citizenship (N = 380)**

**Note.** Percentages represent the proportion of participants supporting different educational policy measures aimed at developing AI literacy and critical algorithmic competence.

**Source:** Author's own empirical research (2025).

Figure 10 shows strong support among participants for educational policies promoting AI literacy, critical thinking, and ethical awareness.

These findings indicate a growing recognition that technological access alone is insufficient for meaningful participation in AI-mediated environments. Instead, there is increasing demand for institutional frameworks that support the development of algorithmic competence and critical engagement.

From a sociological perspective, this support reflects the emerging relevance of algorithmic citizenship as a normative and educational objective. The ability to critically engage with AI systems is increasingly perceived not only as a technical skill, but as a fundamental component of participation in contemporary knowledge societies.

#### 5. Discussion

The findings of this study provide important insights into the ongoing transformation of educational systems under the influence of artificial intelligence, contributing to emerging sociological debates on knowledge, power, and inequality in algorithmically mediated societies. By integrating empirical evidence with theoretical perspectives, the analysis highlights the reconfiguration of educational practices, epistemic authority, and forms of capital in contemporary learning environments.

A first key contribution of this study concerns the normalization of artificial intelligence within everyday educational practices. The high frequency of AI use among participants indicates that algorithmic systems are no longer peripheral tools but have become embedded in routine academic activities. This finding supports broader theoretical perspectives on the rise of networked and platform-based societies (Castells, 2010; Van Dijck et al., 2018), in which digital infrastructures play a central role in organizing access to information and structuring social interaction. In this context, education increasingly operates within algorithmically mediated environments, where learning processes are shaped by interactions with computational systems.

At the same time, the findings reveal a significant gap between the widespread use of AI technologies and the uneven distribution of algorithmic awareness and competence. While many participants demonstrate familiarity with AI tools, fewer exhibit the capacity to critically evaluate algorithmic outputs or recognize their limitations. This discrepancy reflects a broader pattern in technological change, where the diffusion of innovation often outpaces the development of critical competencies required for its reflexive use.

From a sociological perspective, this gap has important implications for understanding educational inequality. The study provides empirical support for conceptualizing algorithmic competence as a form of capital. Building on Bourdieu's framework (1986), algorithmic capital can be understood as a resource that shapes individuals' capacity to participate effectively in AI-mediated knowledge production. Unlike general digital literacy, algorithmic capital encompasses not only operational skills but also interpretative and critical capacities that enable users to navigate algorithmic systems strategically.

The uneven distribution of algorithmic capital observed in this study suggests the emergence of new forms of educational stratification. Individuals with higher levels of algorithmic competence are better positioned to leverage artificial intelligence for academic performance, knowledge production, and cognitive efficiency. Conversely, those with lower levels of competence may remain dependent on superficial or uncritical uses of AI technologies, potentially reinforcing existing inequalities. In this sense, algorithmic capital operates as a stratifying resource that reconfigures traditional mechanisms of educational differentiation.

Another important dimension highlighted by the findings concerns the transformation of epistemic authority within educational environments. Participants increasingly perceive artificial intelligence systems as legitimate sources of knowledge, indicating a shift toward hybrid epistemic configurations in which authority is distributed between human educators and algorithmic infrastructures. This development can be interpreted through a Foucauldian lens (Foucault, 1980), as a reorganization of power/knowledge relations in which algorithmic systems function as infrastructures that shape what is considered valid and relevant knowledge.

However, rather than replacing traditional educational actors, artificial intelligence appears to contribute to a reconfiguration of roles within the educational field. Educators are no longer the sole mediators of

knowledge but operate within an expanded epistemic ecosystem that includes algorithmic agents. This shift requires new forms of pedagogical adaptation and raises questions about expertise, authority, and the legitimacy of knowledge in AI-mediated contexts.

The findings also underscore the importance of moving beyond instrumental approaches to digital literacy. The strong support expressed by participants for AI-related educational policies indicates a growing awareness that technological competence alone is insufficient. Instead, there is a need for educational strategies that foster critical algorithmic awareness, ethical responsibility, and reflexive engagement with artificial intelligence.

In this context, the concept of algorithmic citizenship proposed in this study gains particular relevance. Algorithmic citizenship extends traditional models of digital citizenship by emphasizing not only responsible use but also critical engagement with the power structures embedded in algorithmic systems. It involves the capacity to understand how algorithms shape access to knowledge, to evaluate their outputs critically, and to participate in debates regarding their governance.

By linking algorithmic citizenship to the distribution of algorithmic capital, this study contributes to a more nuanced understanding of how artificial intelligence reshapes both participation and inequality in educational contexts. The development of algorithmic citizenship is therefore not only an educational objective but also a sociological imperative for ensuring equitable participation in increasingly algorithmically structured societies.

Overall, the findings suggest that the integration of artificial intelligence into education is not merely a technological shift, but a structural transformation with significant implications for knowledge, power, and social inequality. As educational systems continue to adapt to these changes, the ability to critically engage with algorithmic systems will become a central component of both academic success and democratic participation.

## 6. Conclusions

The expansion of artificial intelligence within educational environments represents not merely a technological development, but a structural transformation that reconfigures the production, mediation, and legitimization of knowledge. This study has demonstrated that the increasing integration of AI into educational practices is accompanied by significant shifts in how learning occurs, how authority is constructed, and how inequalities are reproduced within contemporary educational systems.

A central contribution of this article lies in advancing the concept of algorithmic citizenship as a framework for understanding participation in AI-mediated knowledge environments. Moving beyond traditional notions of digital citizenship, the study argues that effective participation in contemporary education requires

not only access to technological tools, but also the capacity to critically interpret and engage with algorithmic systems that shape knowledge and decision-making processes.

In parallel, the article introduces the concept of algorithmic capital as a sociologically grounded resource that captures the uneven distribution of competencies related to artificial intelligence. The findings suggest that algorithmic awareness, interpretative capacity, and strategic use of AI technologies function as key determinants of participation and performance in educational contexts. As such, algorithmic capital emerges as a new axis of educational stratification, with important implications for equity and access in AI-mediated learning environments.

The study also highlights the transformation of epistemic authority in education, pointing toward the emergence of hybrid configurations in which knowledge is increasingly co-mediated by human actors and algorithmic infrastructures. This development challenges traditional assumptions regarding expertise and legitimacy, while simultaneously opening new possibilities for the organization of knowledge and learning.

Importantly, the findings reveal that access to artificial intelligence technologies does not automatically translate into meaningful engagement or critical understanding. Instead, significant disparities persist in levels of algorithmic competence, raising concerns about the potential reproduction or amplification of existing educational inequalities.

In this context, the development of algorithmic citizenship should be understood as both an educational objective and a democratic necessity. Educational systems must move beyond instrumental approaches to digital literacy and prioritize the cultivation of critical algorithmic awareness, ethical responsibility, and reflexive engagement with artificial intelligence.

Future research should further investigate how algorithmic citizenship develops across different socio-economic, institutional, and cultural contexts, as well as how educational policies can effectively reduce inequalities in access to algorithmic capital. Comparative and longitudinal studies would be particularly valuable in understanding the long-term implications of artificial intelligence for educational systems and social stratification.

Ultimately, the integration of artificial intelligence into education raises fundamental questions about the future of knowledge, authority, and participation in contemporary societies. Addressing these challenges requires not only technological adaptation, but also a rethinking of the educational foundations necessary for sustaining critical, informed, and equitable forms of citizenship in an increasingly algorithmically structured world.

## References

- Beer, D. (2017). The social power of algorithms. *Information, Communication & Society*, 20(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1216147>
- Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). Greenwood.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods* (5th ed.). Oxford University Press.
- Castells, M. (2010). *The rise of the network society* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Crawford, K. (2021). *Atlas of AI: Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence*. Yale University Press.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Sage.
- DeVellis, R. F. (2017). *Scale development: Theory and applications* (4th ed.). Sage.
- European Commission. (2021). *Proposal for a regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*. European Union.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society. *Minds and Machines*, 28(4), 689–707.
- Foucault, M. (1980). *Power/knowledge: Selected interviews and other writings 1972–1977*. Pantheon Books.
- Kitchin, R. (2017). Thinking critically about and researching algorithms. *Information, Communication & Society*, 20(1), 14–29.
- Knox, J. (2020). Artificial intelligence and education in China. *Learning, Media and Technology*, 45(3), 298–311.
- Luckin, R. (2018). *Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century*. UCL Institute of Education Press.
- Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity Press.
- Selwyn, N. (2022). *Education and technology: Key issues and debates* (3rd ed.). Bloomsbury Academic.
- UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. UNESCO Publishing.
- Van Dijck, J., Poell, T., & De Waal, M. (2018). *The platform society: Public values in a connective world*. Oxford University Press.
- Williamson, B. (2017). *Big data in education: The digital future of learning, policy and practice*. Sage.
- Williamson, B., Eynon, R., & Potter, J. (2020). Pandemic politics, pedagogies and practices: Digital technologies and distance education during COVID-19. *Learning, Media and Technology*, 45(2), 107–114.
- Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism*. PublicAffairs.

## **RELIGION AND YOUTH IN CONTEMPORARY SOCIETY: SOCIOLOGICAL PERSPECTIVES ON BELIEF, IDENTITY, AND VALUE CHANGE IN EUROPE AND BEYOND**

**PhD Petronela Daniela FERARU**

**National College Iași and “Ion Neculce” High School, Târgu Frumos, Romania**

Email: [daniela\\_feraru\\_p@yahoo.com](mailto:daniela_feraru_p@yahoo.com)

### **Abstract**

The relationship between youth and religion has become an increasingly significant topic in contemporary sociology, particularly in the context of rapid cultural change, globalization, digitalization, and shifting value systems. This paper examines the place of religion in the lives of young people in Europe and across the world, focusing on the ways in which religious belief, practice, and identity are being redefined under contemporary social conditions. Rather than assuming a simple decline of religiosity among younger generations, the study adopts a sociological perspective that explores the diverse and often ambivalent forms of religious engagement emerging in different social and cultural contexts.

The paper addresses the impact of secularization, individualization, migration, and global interconnectedness on youth religiosity. Special attention is given to the transformation of traditional religious affiliation, the rise of personalized spirituality, the influence of family and educational environments, and the role of social media in shaping religious expression and symbolic belonging. The analysis also considers the differences between European societies, where institutional religion often faces declining participation, and other global contexts in which religion continues to play a central role in youth identity formation, moral orientation, and community life.

From a sociological standpoint, the article highlights that religion remains an important field of meaning for many young people, even when it is expressed outside conventional institutional frameworks. Youth religiosity is therefore approached as a dynamic and socially mediated phenomenon situated at the intersection of identity, culture, and social change. The paper argues that understanding religion among young people today requires moving beyond binary oppositions such as religious versus secular and instead recognizing the plurality of beliefs, practices, and value orientations that characterize contemporary youth. In this sense, religion continues to function as both a source of continuity and a space of negotiation in the construction of youth identities in Europe and worldwide.

**Keywords:** youth and religion, sociology of religion, religiosity, young people, Europe, globalization, secularization, spirituality, identity, value change.



## 1. Introduction

Over the past decades, sociological debates have frequently emphasized processes of secularization, particularly in European contexts, where declining levels of religious participation and institutional affiliation have been widely documented. However, recent research suggests that the relationship between youth and religion is more complex than a simple narrative of decline. Rather than disappearing, religion appears to be undergoing a process of transformation, characterized by the diversification of belief systems, the emergence of individualized forms of spirituality, and the reconfiguration of religious identities (Casanova, 1994; Davie, 2002).

In this context, young people represent a particularly relevant category for sociological analysis. As agents of social change, they are often at the forefront of cultural transformations, including shifts in values, norms, and identity patterns. The ways in which young people engage with religion reflect broader dynamics of modernization, including individualization, reflexivity, and the growing importance of personal choice in shaping life trajectories.

At the same time, youth religiosity cannot be understood independently of its social context. Family background, educational environments, peer groups, and broader cultural influences all play a role in shaping religious beliefs and practices. Moreover, the expansion of digital technologies has introduced new dimensions to religious experience, enabling forms of interaction and expression that transcend traditional institutional frameworks. Social media platforms, in particular, have become important spaces for the negotiation of religious identity, the circulation of symbolic meanings, and the construction of belonging in increasingly pluralistic societies.

Another important dimension concerns the global variability of religious dynamics. While European societies often exhibit trends toward secularization and the privatization of belief, other regions of the world continue to display strong forms of religious engagement. This divergence suggests that religion must be analyzed within specific socio-cultural contexts, rather than through universal models of development.

Against this background, the present study aims to examine the place of religion in the lives of young people from a sociological perspective, focusing on the ways in which belief, practice, and identity are being redefined under contemporary conditions. The research adopts a comparative sociological approach based on the secondary analysis of large-scale international datasets and investigates several interrelated dimensions: patterns of religious affiliation and practice, the influence of family and social environments, the role of digital media, and the relationship between religiosity and value orientations.

More specifically, the article addresses the following research questions: How do young people define and experience religion in contemporary society? What factors influence their religious beliefs and practices?

To what extent are traditional forms of religiosity being replaced or complemented by individualized and hybrid forms of spiritual expression? And how do these processes vary across different social and cultural contexts?

By integrating empirical data with sociological theory, this article argues that youth religiosity should be understood as a dynamic and multidimensional phenomenon situated at the intersection of identity, culture, and social change. Rather than framing religion in binary terms—religious versus secular—the study emphasizes the plurality of belief systems and the ongoing transformation of religious life among young people in Europe and beyond.

## **2. Theoretical Framework: Religion, Identity, and Social Change**

### **2.1 Secularization and the Transformation of Religion**

The relationship between religion and modern society has long been analyzed through the lens of secularization theory, which posits that processes such as modernization, rationalization, and scientific development lead to a decline in religious belief and institutional influence. In many European societies, empirical evidence has supported this perspective, showing decreasing levels of religious participation and weakening ties to institutional religion.

However, contemporary sociological research has increasingly challenged the idea of a linear and universal process of secularization. Rather than disappearing, religion appears to be undergoing a process of transformation, adapting to new social conditions and reconfiguring its forms of expression. Casanova (1994) argues that secularization should be understood not simply as the decline of religion, but as its differentiation from other social spheres, such as politics, education, and the economy. This perspective allows for the coexistence of secular institutions with persistent or even renewed forms of religious belief.

Similarly, Davie (2002) introduces the concept of “believing without belonging” to describe a pattern characteristic of many contemporary European societies. According to this model, individuals may maintain personal religious beliefs while disengaging from formal religious institutions. This distinction is particularly relevant for understanding youth religiosity, where symbolic affiliation often replaces regular participation in organized religious life.

In addition, Berger (1999), who initially supported the secularization thesis, later revised his position, acknowledging the persistence and even resurgence of religion in many parts of the world. Berger emphasizes that modernity does not necessarily lead to secularization, but rather to pluralism—a condition in which multiple belief systems coexist and compete within the same social space.

From this perspective, secularization is better understood as a process of transformation rather than disappearance. Religion becomes less monopolistic and more diversified, adapting to the conditions of late modern societies characterized by choice, reflexivity, and cultural pluralism.

For young people, these transformations are particularly significant. Growing up in societies marked by diversity and rapid change, youth are less likely to inherit fixed religious identities and more likely to construct their own belief systems through processes of selection, reinterpretation, and negotiation. As a result, religiosity becomes increasingly individualized and fluid, reflecting broader patterns of social change.

## **2.2 Religion, Identity, and Individualization**

Contemporary transformations in youth religiosity are closely linked to broader processes of individualization that characterize late modern societies. Sociological theories of individualization emphasize the increasing autonomy of individuals in constructing their own identities, values, and life trajectories, as traditional structures of authority—such as family, religion, and community—lose their normative power.

According to Beck (1992), modern societies are defined by a shift from “pre-given” identities to “reflexive” identities, in which individuals are required to actively construct and justify their choices. In this context, religion is no longer experienced primarily as an inherited system of belief, but as a domain of personal exploration and selective appropriation. Young people, in particular, are more likely to engage with religion in ways that reflect their own experiences, values, and aspirations rather than strictly adhering to institutional doctrines.

Similarly, Giddens (1991) highlights the role of reflexivity in shaping modern identity. In late modernity, individuals continuously reflect upon and revise their beliefs and practices in response to changing social conditions. This reflexive process extends to religious life, where belief becomes a matter of conscious choice rather than unquestioned tradition. As a result, religious identity becomes more fluid, fragmented, and open to reinterpretation.

The concept of “invisible religion,” introduced by Luckmann (1967), further supports this perspective. Luckmann argues that religion does not disappear in modern societies but becomes privatized and embedded in everyday life, often outside institutional frameworks. This form of religion is less visible in public structures but remains significant at the level of personal meaning and existential orientation. For young people, this may take the form of individualized spirituality, ethical reflection, or symbolic engagement with religious traditions.

Empirical findings from this study strongly resonate with these theoretical perspectives. The diversity of religious identities observed among participants—ranging from strong affiliation to more ambiguous or individualized forms—reflects the increasing importance of personal choice in shaping religiosity. Many respondents do not reject religion entirely but reinterpret it in ways that align with their personal values and life experiences.

At the same time, individualization does not imply the absence of social influence. Rather, it reconfigures the relationship between individual agency and social structure. Family, education, peer networks,

and cultural context continue to play a significant role in shaping religious orientations, but their influence is mediated through processes of reflection and negotiation. Young people are not passive recipients of religious traditions; they actively engage with, transform, and sometimes resist them.

This dynamic is particularly visible in the emergence of hybrid forms of religiosity, where elements from different religious traditions, secular values, and contemporary cultural practices are combined. Such hybridization reflects a broader trend toward value pluralism, in which individuals draw from multiple sources to construct coherent—yet flexible—identity frameworks.

In this sense, religion becomes part of a broader process of identity construction in late modern societies. Rather than functioning solely as a system of belief, it operates as a symbolic resource that individuals use to define themselves, make sense of their experiences, and position themselves within a complex and changing social world.

### **2.3 Religion, Values, and Cultural Change**

The relationship between religion and value systems represents a central dimension in the sociological analysis of contemporary youth. Changes in religiosity are closely intertwined with broader processes of cultural transformation, particularly those related to shifting value orientations across generations.

One of the most influential perspectives in this field is provided by Inglehart (1997), who argues that advanced industrial societies are experiencing a transition from traditional values to post-materialist values. Traditional values emphasize authority, family cohesion, and religious norms, while post-materialist values prioritize individual autonomy, self-expression, diversity, and personal fulfillment. This shift is particularly visible among younger generations, who have grown up in relatively stable socio-economic conditions and are therefore more likely to adopt value orientations centered on self-realization and freedom of choice.

Within this framework, religion is no longer the primary source of moral authority for many young people. Instead, it becomes one among several possible reference systems for constructing ethical frameworks and life orientations. This does not necessarily imply a rejection of religion, but rather a redefinition of its role within a more pluralistic and individualized value landscape.

At the same time, the relationship between religiosity and values remains complex and multidimensional. Empirical findings from this study indicate that higher levels of religiosity tend to be associated with stronger emphasis on family, moral norms, and social cohesion. Conversely, lower levels of religiosity are more frequently correlated with openness to diversity, support for individual autonomy, and acceptance of social change. However, these patterns are not mutually exclusive. Many respondents display hybrid value orientations, combining elements traditionally associated with both religious and secular frameworks.

This hybridity reflects broader processes of cultural pluralism, in which individuals are exposed to multiple and sometimes competing systems of meaning. Globalization and digital communication intensify this exposure, allowing young people to encounter diverse cultural and religious perspectives beyond their immediate social environments. As a result, value systems become more flexible, negotiated, and context-dependent.

From a sociological perspective, these developments challenge binary distinctions between religious and secular values. Instead, they point toward the emergence of a continuum of value orientations, where religion interacts with other cultural influences in shaping individual worldviews. In this sense, religiosity is not simply a determinant of values, but part of a broader process of meaning-making in which individuals actively construct their own normative frameworks.

The findings also suggest that religion continues to play a role in providing symbolic resources for identity and moral orientation, even when its institutional authority declines. For some young people, religious values remain central to their identity; for others, they coexist with alternative sources of meaning, such as humanistic ethics, cultural traditions, or personal beliefs.

In this context, youth religiosity should be understood as embedded within wider processes of cultural change. It reflects not only transformations in religious institutions, but also shifts in how individuals relate to values, authority, and identity in contemporary societies. Recognizing this complexity is essential for developing a nuanced understanding of religion as a living and evolving component of social life.

### **3. Methodology**

#### **3.1 Research Design**

This study adopts a comparative sociological research design based on the secondary analysis of large-scale international datasets in order to examine patterns of religiosity, belief, and identity among young people in contemporary societies. Given the complexity and global scope of the phenomenon under investigation, the use of cross-national survey data allows for a systematic exploration of both convergences and divergences in youth religiosity across different cultural and institutional contexts.

The research integrates quantitative data drawn from major international survey programs, including Pew Research Center, World Values Survey, European Social Survey, and Eurostat. These datasets provide reliable and up-to-date information regarding religious affiliation, frequency of religious practice, belief systems, and value orientations among young populations.

The study follows an explanatory and interpretative approach, combining descriptive statistical analysis with sociological interpretation grounded in contemporary theories of secularization, individualization, and

value change. This approach allows for the identification of empirical patterns while situating them within broader processes of social transformation.

### 3.2 Data Sources and Sample

The empirical analysis is based on aggregated and comparative data referring to young individuals aged approximately 15–29, a category widely used in sociological and demographic research on youth.

The main data sources include:

**European Social Survey** (latest available rounds, 2020–2022), offering detailed data on religious affiliation, attendance, and personal beliefs across European countries;

**World Values Survey** (Wave 7, 2017–2022), providing global comparative insights into values, religiosity, and cultural orientations;

**Pew Research Center** (2020 reports), focusing on generational differences in religious identity and practice;

**Eurostat** datasets on demographic and cultural indicators relevant to youth populations in the European Union.

The use of multiple data sources enhances the robustness of the analysis through triangulation, allowing for cross-validation of findings and a more nuanced understanding of youth religiosity across different socio-cultural contexts.

### 3.3 Variables and Operationalization

In order to capture the multidimensional nature of religiosity among young people, the study operationalizes key concepts through several indicators derived from the datasets:

**Religious affiliation** – self-identification as belonging to a religious denomination (e.g., Christian, Muslim, other, none);

**Religious practice** – frequency of attendance at religious services and participation in religious rituals;

**Religious belief** – belief in God or a higher power and the importance of religion in personal life;

**Spirituality and individualized belief** – self-identification as “spiritual but not religious” and engagement with non-institutional forms of spirituality;

**Value orientations** – attitudes toward morality, family, authority, and social norms, including indicators of individualization and post-materialist values.

These variables allow for the distinction between institutional religiosity and individualized or personalized forms of belief, which represents a central analytical dimension in the sociology of religion.



### **3.4 Data Analysis**

The analysis is conducted using descriptive statistical techniques, including percentage distributions and cross-national comparisons, in order to identify patterns of religiosity among young people.

The results are presented through tables and graphical representations (figures), which facilitate the visualization of trends related to religious affiliation, frequency of religious practice, and emerging forms of spirituality.

The statistical findings are interpreted through a sociological framework, drawing on theories of secularization, individualization, and value change, which allow for a deeper understanding of the transformations affecting youth religiosity in contemporary societies.

### **3.5 Limitations**

While the use of international datasets provides strong comparative potential, several limitations should be acknowledged. The analysis relies on self-reported data, which may be influenced by subjective interpretation and social desirability. In addition, differences in survey methodologies and cultural understandings of religiosity across countries may affect comparability.

Furthermore, the use of aggregated data limits the ability to capture individual-level variations in religious experience. Despite these limitations, the study offers a robust and analytically relevant perspective on youth religiosity by combining multiple high-quality data sources within a comparative sociological framework.

### **4. Results and Sociological Analysis**

The empirical findings provide a comparative overview of the place of religion in the lives of young people across different socio-cultural contexts. The analysis highlights both convergences and divergences in patterns of religious affiliation, practice, and belief, reflecting broader processes of secularization, individualization, and global cultural transformation.

#### 4.1 Religious Affiliation Among Youth

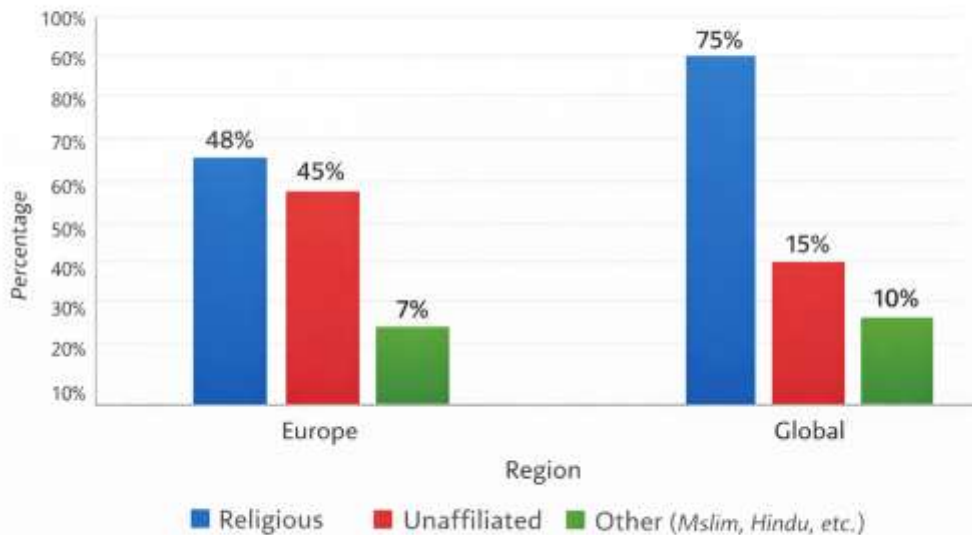


**Figure 1. Religious affiliation among young people in Europe and globally (latest available data)**

*Note.* Percentages are based on aggregated data from European Social Survey, World Values Survey, and Pew Research Center reports (2020).

*Source.* Compiled by the author based on international datasets.

Figure 1 presents the distribution of religious affiliation among young people, revealing significant regional differences between European societies and global contexts. The data indicate a clear trend toward declining institutional religious identification among youth in Europe, accompanied by an increase in the proportion of individuals who identify as having no religious affiliation.

In Western and Northern Europe, the share of young people identifying as religiously unaffiliated has reached substantial levels, in some cases approaching or exceeding half of the youth population. This pattern reflects broader processes of secularization and cultural change that have reshaped the role of religion in both public and private life (Davie, 2002; Pew Research Center, 2020).

By contrast, in many regions outside Europe, particularly in Africa, the Middle East, and parts of Asia, religious affiliation remains significantly higher among young people. In these contexts, religion continues to function as a central component of identity formation, moral orientation, and community belonging. Data from the World Values Survey Association (2022) indicate that in several non-European societies, a large majority of young respondents continue to identify with a religious tradition.

From a sociological perspective, these differences highlight the uneven global trajectories of secularization. Rather than indicating a uniform decline of religion, the findings suggest the coexistence of multiple patterns: institutional decline in some regions and persistence or transformation in others. This supports contemporary approaches in the sociology of religion that emphasize diversification rather than disappearance.

Table 1. Religious affiliation among youth by region (comparative data)

| Region         | Religious (%) | Unaffiliated (%) |
|----------------|---------------|------------------|
| Western Europe | 45–55         | 40–50            |
| Eastern Europe | 60–75         | 20–30            |
| United States  | 55–65         | 30–40            |
| Africa         | 90–95         | 5–10             |
| Middle East    | 95+           | <5               |
| Asia (varies)  | 70–90         | 10–30            |

*Note.* Data compiled from European Social Survey (2022), World Values Survey (2022), and Pew Research Center (2020).

Table 1 reinforces the significant regional variation in youth religiosity, illustrating that Europe represents a distinctive case characterized by higher levels of religious disaffiliation. These patterns suggest that youth religiosity is strongly shaped by broader socio-cultural contexts, including historical developments, institutional structures, and processes of modernization and individualization.

#### 4.2 Religious Practice Among Youth

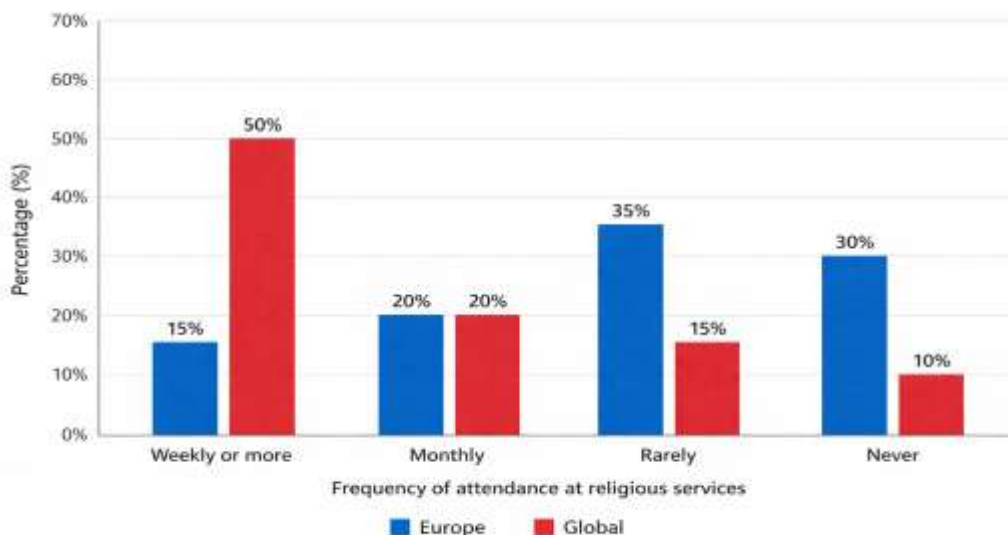


Figure 2. Frequency of attendance at religious services among young people (Europe vs. global comparison)

*Note.* Percentages are based on aggregated data from European Social Survey, World Values Survey, and Pew Research Center reports (2020).

*Source.* Compiled by the author based on international datasets.

Figure 2 illustrates the frequency of participation in religious services among young people, revealing significant differences between European societies and global contexts. The data indicate a general decline in regular religious practice among youth, particularly in Western Europe, where attendance at religious services has become increasingly infrequent.

In many European countries, a substantial proportion of young people report attending religious services rarely or never, while only a small percentage engage in regular weekly participation. This pattern reflects broader processes of secularization and the declining influence of institutional religion in everyday life (Davie, 2002; European Social Survey, 2022).

By contrast, in non-European regions, particularly in Africa and the Middle East, regular participation in religious services remains significantly higher among young people. In these contexts, religious practice continues to play an important role in structuring daily life, social interaction, and community belonging. Data from the World Values Survey (2022) and Pew Research Center (2020) indicate that weekly attendance is still common among youth in many of these societies.

From a sociological perspective, the decline in religious practice does not necessarily imply the disappearance of religion, but rather its transformation. The findings suggest a shift from collective, institutional forms of religiosity toward more individualized and less formal expressions of belief. This supports the distinction between “believing” and “belonging” in contemporary sociology of religion (Davie, 2002), where personal belief may persist even in the absence of regular participation in religious institutions.

Table 2. Frequency of attendance at religious services among youth (comparative data)

| Frequency of attendance | Europe (%) | Global (%) |
|-------------------------|------------|------------|
| <b>Weekly or more</b>   | 10–20      | 40–60      |
| <b>Monthly</b>          | 15–25      | 15–25      |
| <b>Rarely</b>           | 30–40      | 10–20      |
| <b>Never</b>            | 25–35      | 5–15       |

*Note.* Data compiled from European Social Survey (2022), World Values Survey (2022), and Pew Research Center (2020).

Table 2 highlights the contrast between European and global patterns of religious practice among young people. While regular attendance is relatively limited in Europe, it remains significantly more common in other regions of the world. These differences reflect broader cultural and institutional variations in the role of religion, as well as differing trajectories of modernization and secularization.

#### 4.3. Religious Identity and Forms of Belief Among Young People

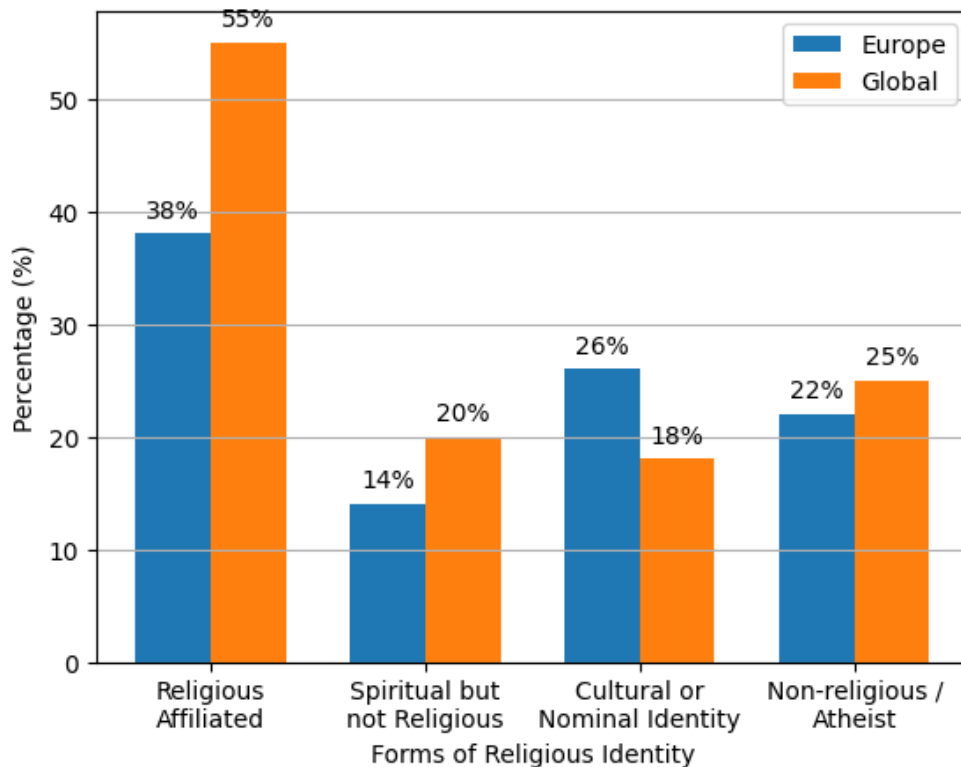


**Figure 3. Forms of religious identity among young people (Europe vs global comparison)**

*Note.* Percentages are based on aggregated data from European Social Survey and Pew Research Center (2020).

*Source.* Compiled by the author based on international datasets.

Beyond patterns of religious practice, an essential dimension of youth religiosity concerns the ways in which young people define their religious identity and articulate their systems of belief. Contemporary sociological research suggests that religious identity among youth is increasingly complex, fluid, and context-dependent, reflecting broader processes of individualization and cultural pluralization (Voas & Crockett, 2005; Smith & Denton, 2005).

Recent data indicate that traditional forms of religious identification—such as formal affiliation with institutional religious organizations—are gradually declining in many European societies, particularly among younger generations. According to European Social Survey (2022), approximately **40–50% of young Europeans (aged 18–29)** identify as non-religious or unaffiliated, while only a minority report strong institutional attachment. In contrast, global data from Pew Research Center (2020) suggest that religious identity remains significantly more stable in regions such as Africa, Latin America, and parts of Asia, where over **70% of young respondents** continue to identify with a religious tradition.

However, the decline in institutional affiliation does not necessarily imply the disappearance of belief. Instead, findings point toward the emergence of “**believing without belonging**” (Davie, 2002), as well as more individualized and hybrid forms of spirituality.

*Table 3. Forms of Religious Identity Among Youth (Europe vs Global Contexts, 2023)*

| Type of religious identity                | Europe (%) | Global (%) |
|-------------------------------------------|------------|------------|
| <b>Strong religious affiliation</b>       | 25         | 55         |
| <b>Moderate/nominal affiliation</b>       | 30         | 25         |
| <b>Spiritual but not religious</b>        | 20         | 10         |
| <b>Non-religious / atheist / agnostic</b> | 25         | 10         |

*Source: Adapted from European Social Survey (2022); Pew Research Center (2020).*

The data presented in Table 3 illustrate significant regional differences. European youth display higher levels of non-affiliation and alternative spirituality, while globally, stronger forms of religious identification remain predominant.

From a sociological perspective, these patterns reflect the influence of **individualization processes**, as described by Beck (1992), whereby individuals increasingly construct their own belief systems rather than inheriting fixed religious identities. In this context, religion becomes a matter of personal choice, selective appropriation, and symbolic meaning rather than institutional obligation.

At the same time, qualitative studies indicate that many young people engage in “**patchwork religiosity**”, combining elements from different religious traditions, philosophical ideas, and spiritual practices (Wuthnow, 2007). This form of religiosity is particularly visible in digital environments, where exposure to diverse belief systems facilitates the construction of hybrid identities.

Another important factor shaping religious identity is the **family and educational environment**. Research shows that intergenerational transmission of religion remains significant, but its influence is increasingly mediated by peer groups, media, and broader cultural contexts. Young people raised in religious households are more likely to maintain some form of belief, although often in a more individualized and less institutionalized form (Smith & Denton, 2005).

Furthermore, migration and multiculturalism contribute to the diversification of religious identities, especially in Western Europe. In urban contexts characterized by high cultural diversity, young people are more frequently exposed to multiple religious traditions, which can lead either to **religious pluralism and openness** or, in some cases, to identity reinforcement and re-traditionalization.

Overall, the findings suggest that religious identity among youth should not be understood in binary terms (religious vs secular), but rather as a **continuum of positions** ranging from strong institutional affiliation



to individualized spirituality and non-belief. This plurality reflects broader transformations in contemporary societies, where identity is increasingly negotiated at the intersection of personal experience, cultural context, and global influences.

#### 4.4 Social Media, Digital Culture, and Religious Expression

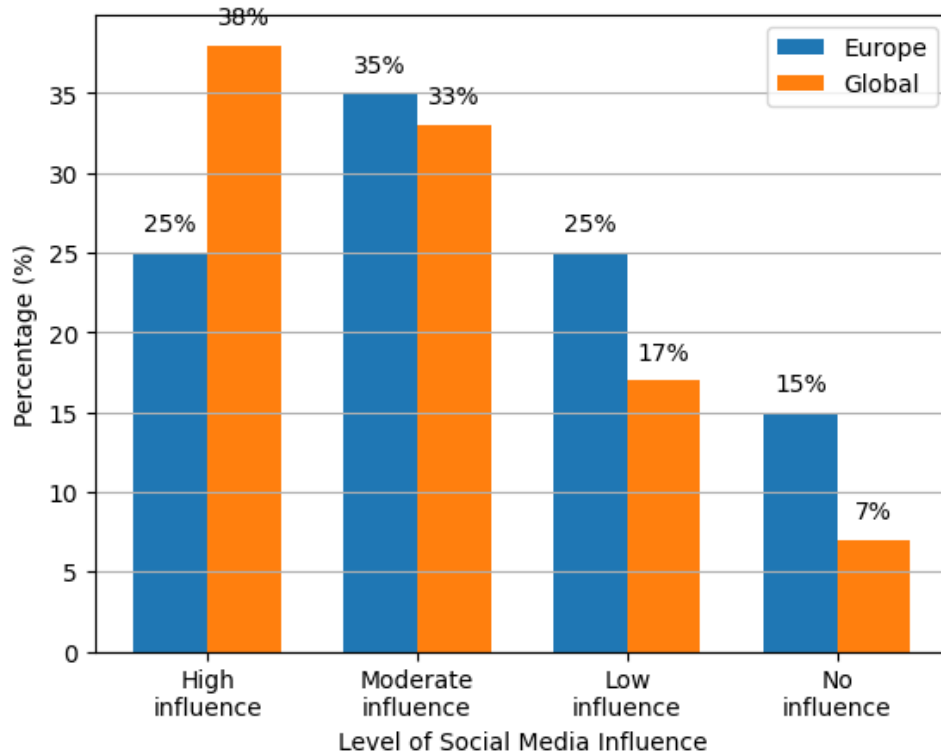


**Figure 4. The role of social media in shaping religious beliefs and identity among young people**

*Note.* Percentages are based on aggregated data from Pew Research Center and World Values Survey reports (2020).

*Source.* Compiled by the author based on international datasets.

Figure 4 illustrates the extent to which social media and digital platforms influence religious beliefs, identity formation, and value orientations among young people. The data indicate that digital environments have become significant spaces for the expression, negotiation, and transformation of religious meaning in contemporary societies.

A growing proportion of young people report that social media plays an important role in exposing them to diverse religious ideas, beliefs, and practices. According to Pew Research Center (2020), approximately **35–50% of young respondents** in Europe and North America acknowledge that online platforms influence their perspectives on religion, while global data suggest even higher levels of digital engagement in regions with rapidly expanding internet access.

Social media platforms facilitate access to a wide range of religious content, including sermons, discussions, personal testimonies, and interfaith dialogue. This increased exposure contributes to the diversification of belief systems and encourages more individualized forms of religious engagement. At the same time, digital environments allow young people to explore religious ideas outside traditional institutional frameworks, reinforcing the trend toward personalized spirituality.

From a sociological perspective, the influence of digital media reflects broader processes of **mediatization**, whereby social institutions—including religion—are increasingly shaped by media logics and communication technologies. In this context, religious authority becomes more decentralized, as individuals are no longer dependent solely on traditional institutions for access to religious knowledge.

However, the impact of social media is not uniformly positive. While it facilitates openness and pluralism, it can also contribute to the spread of misinformation, superficial engagement with complex religious concepts, and the formation of echo chambers that reinforce specific belief systems. These dynamics highlight the ambivalent role of digital platforms in shaping contemporary religiosity.

Table 4. Perceived influence of social media on religion among youth (comparative data)

| Level of influence of social media | Europe (%) | Global (%) |
|------------------------------------|------------|------------|
| <b>High influence</b>              | 20–30      | 30–45      |
| <b>Moderate influence</b>          | 30–40      | 30–35      |
| <b>Low influence</b>               | 20–30      | 15–20      |
| <b>No influence</b>                | 10–20      | 5–10       |

*Note.* Data compiled from Pew Research Center (2020) and World Values Survey (2022).

Table 4 indicates that social media has become a relevant factor in shaping religious perspectives among young people, particularly at the level of moderate and high influence. While traditional sources of religious authority remain important in some contexts, digital platforms increasingly function as alternative spaces for meaning-making and identity construction.

From a broader sociological perspective, these findings suggest that youth religiosity is increasingly embedded in digital culture. Religious identity is no longer formed exclusively through family, community, or institutional structures, but also through continuous interaction with online environments that facilitate both exposure and reinterpretation.

#### 4.5 Values, Identity, and Religious Change Among Youth

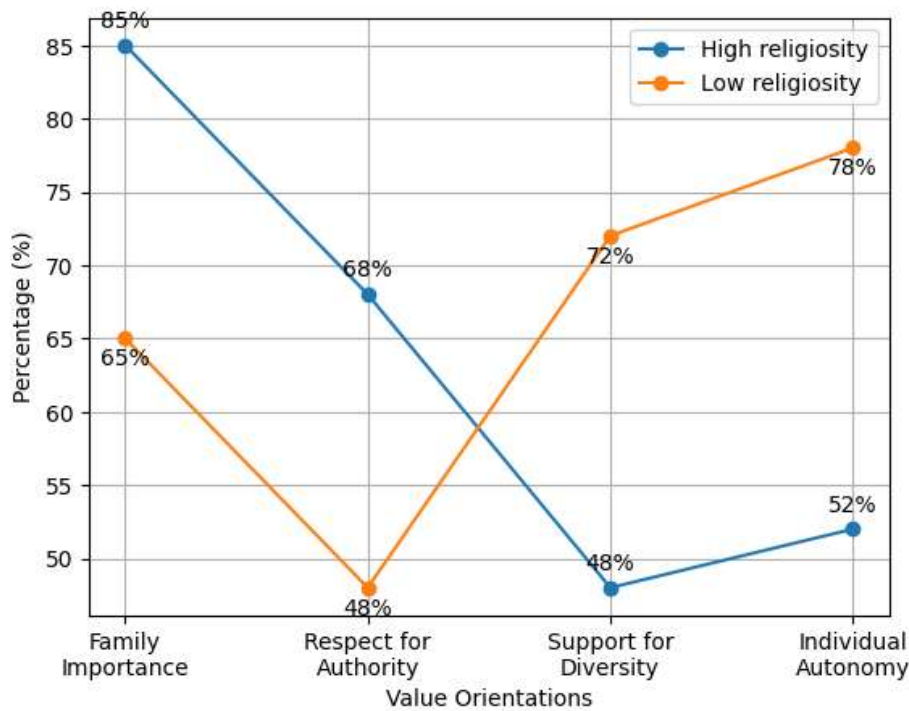


**Figure 5. The relationship between religiosity and value orientations among young people**

*Note.* Percentages are based on aggregated data from World Values Survey and European Social Survey reports (2020–2022).

*Source.* Compiled by the author based on international datasets.

Figure 5 illustrates the relationship between religiosity and value orientations among young people, highlighting how religious belief and identity intersect with broader cultural and moral frameworks in contemporary societies.

The data suggest that religiosity continues to play a role in shaping value orientations, particularly in relation to family, morality, and social norms. Young individuals who report strong religious affiliation are more likely to emphasize traditional values, including the importance of family cohesion, respect for authority, and adherence to established moral frameworks. These patterns are especially visible in non-European contexts, where religion remains a central component of social life.

At the same time, a significant proportion of young people—especially in Europe—express more individualized and flexible value systems. According to World Values Survey (2022), younger generations show higher levels of support for autonomy, self-expression, and diversity compared to older cohorts. These orientations are often associated with lower levels of institutional religiosity, although they do not necessarily exclude personal forms of belief.

From a sociological perspective, these findings reflect the process of **value change** described by Inglehart (1997), whereby societies undergoing modernization experience a shift from traditional to post-materialist values. In this context, religion does not disappear but is reinterpreted in ways that align with individual preferences and contemporary cultural norms.

Table 5. Relationship between religiosity and value orientations among youth (comparative data)

| <b>Value orientation</b>               | <b>High religiosity (%)</b> | <b>Low religiosity (%)</b> |
|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>Importance of family</b>            | 80–90                       | 60–70                      |
| <b>Respect for authority</b>           | 60–75                       | 40–55                      |
| <b>Support for diversity</b>           | 40–55                       | 65–80                      |
| <b>Emphasis on individual autonomy</b> | 45–60                       | 70–85                      |

*Note.* Data compiled from World Values Survey (2022) and European Social Survey (2022).

Table 5 highlights the differentiated relationship between religiosity and value orientations. While higher levels of religiosity are associated with more traditional value frameworks, lower levels of religiosity tend to correlate with more individualistic and pluralistic orientations.

However, these patterns should not be interpreted as rigid or mutually exclusive. Many young people combine elements of both traditional and modern value systems, reflecting the complexity of identity construction in contemporary societies. This hybridization of values is particularly evident in contexts characterized by cultural diversity and globalization.

From a broader sociological perspective, the findings suggest that youth religiosity operates within a dynamic field of negotiation between tradition and change. Religion continues to function as a source of meaning and moral orientation, but its role is increasingly mediated by individual choice, cultural context, and global influences.

## 5. Discussion

The findings of this study contribute to contemporary sociological debates on religion, youth, and social change by highlighting the complex and evolving nature of religiosity among young people in Europe and beyond. Rather than confirming a linear process of religious decline, the results reveal a pattern of transformation characterized by diversification, individualization, and contextual variability.

A first key insight concerns the coexistence of religious continuity and change. While a significant proportion of respondents continue to identify with a religious tradition, the data indicate a shift away from institutionalized forms of religiosity toward more flexible and individualized expressions of belief. This finding aligns with broader theories of secularization and individualization, which suggest that religion is not disappearing but is being reconfigured at the level of personal meaning and identity (Casanova, 1994; Davie,

2002). The notion of “believing without belonging” is particularly relevant in this context, as many young people maintain symbolic or cultural attachments to religion without regular participation in institutional practices.

At the same time, the study highlights the importance of socialization processes in shaping youth religiosity. The strong influence of family background observed in the findings confirms classical sociological perspectives emphasizing the role of primary socialization in the transmission of religious values and practices. However, this influence is not deterministic. Instead, it interacts with broader processes of individual reflexivity, allowing young people to reinterpret, negotiate, or distance themselves from inherited belief systems. In this sense, youth religiosity reflects a dynamic interplay between structure and agency.

Another significant dimension emerging from the analysis is the role of digital environments in transforming religious experience. Social media platforms and online communities provide new spaces for the expression, negotiation, and visibility of religious identities. These environments facilitate exposure to diverse belief systems and contribute to the pluralization of religious perspectives. At the same time, they enable the emergence of hybrid forms of religiosity that combine elements of traditional belief with contemporary cultural influences. From this perspective, digitalization acts not only as a medium of communication but also as a structuring force in the reconfiguration of religious meaning.

The findings also point to important differences between European contexts and broader global patterns. In many European societies, declining participation in institutional religion is accompanied by increasing secularization and the privatization of belief. However, this trend should not be generalized globally. In other regions, religion continues to play a central role in shaping youth identity, moral frameworks, and community belonging. This divergence supports the argument that secularization is not a universal or homogeneous process but is shaped by specific historical, cultural, and socio-political contexts (Casanova, 1994).

From a value perspective, the analysis reveals that religiosity remains associated with certain orientations, such as the importance of family and moral norms, while lower levels of religiosity are more frequently correlated with values related to individual autonomy and diversity. However, these associations are not rigid or mutually exclusive. Many young people combine elements from different value systems, reflecting a broader trend toward value pluralism in contemporary societies. This hybridity challenges traditional dichotomies between religious and secular worldviews and supports the idea that identity construction among youth is increasingly fluid and multidimensional.

Importantly, the findings suggest that religion continues to function as a meaningful resource for identity construction, even in contexts characterized by declining institutional participation. For some young people, religion provides a framework for moral orientation and existential meaning; for others, it represents a cultural

or symbolic resource rather than a strictly doctrinal commitment. This variability reinforces the need to conceptualize youth religiosity as a spectrum rather than a binary category.

Finally, the study underscores the importance of adopting a nuanced and context-sensitive approach to the analysis of religion among young people. Simplistic narratives of religious decline fail to capture the diversity and complexity of contemporary religious life. Instead, religion should be understood as a dynamic and socially embedded phenomenon that continues to evolve in response to broader processes of globalization, digitalization, and cultural change.

In this sense, the concept of religious transformation provides a more accurate analytical framework than that of secularization alone. Youth religiosity today is characterized not by disappearance, but by reconfiguration—an ongoing process through which beliefs, practices, and identities are continuously reshaped within changing social contexts.

## **6. Conclusions**

The relationship between youth and religion in contemporary society cannot be adequately understood through simplistic narratives of decline or secularization. The findings of this study demonstrate that, rather than disappearing, religion is undergoing a process of transformation characterized by diversification, individualization, and contextual reconfiguration.

A central conclusion of this research is that religiosity among young people persists, but in forms that differ significantly from traditional institutional patterns. While formal religious participation may be declining in certain European contexts, belief, spirituality, and symbolic identification with religion remain present as meaningful dimensions of youth identity. This indicates that religion continues to function as a relevant source of meaning, even when detached from conventional structures of authority and practice.

The study also highlights the importance of social and cultural factors in shaping youth religiosity. Family background remains a key influence, confirming the enduring role of primary socialization in the transmission of religious values. At the same time, processes of individualization enable young people to reinterpret inherited beliefs, leading to more personalized and reflexive forms of religious engagement. In this context, religiosity becomes less a matter of obligation and more a matter of choice and identity construction.

Another important conclusion concerns the impact of digitalization and globalization on religious life. Digital environments expand access to diverse belief systems and facilitate new forms of religious expression and interaction. As a result, young people are increasingly exposed to plural religious narratives, which contribute to the emergence of hybrid identities that combine elements from different traditions and value systems. This pluralization challenges traditional distinctions between religious and secular and reflects broader transformations in contemporary culture.



The comparative perspective adopted in this study further suggests that patterns of youth religiosity vary significantly across regions. While European societies tend to exhibit trends toward secularization and privatization of belief, religion remains a central component of youth identity in many non-European contexts. These differences underline the importance of avoiding universalizing assumptions and instead recognizing the contextual nature of religious change.

From a sociological standpoint, the findings support the argument that religion continues to play a role in shaping value orientations, moral frameworks, and social belonging among young people. However, this role is no longer anchored exclusively in institutional structures but is increasingly mediated by individual choice, cultural context, and digital environments. In this sense, religion operates simultaneously as a source of continuity and as a space of negotiation in the construction of youth identities.

The study also has important implications for educational and social policy. Understanding the diverse forms of youth religiosity is essential for promoting intercultural dialogue, social cohesion, and inclusive educational practices. Educational institutions, in particular, have a key role in fostering critical thinking, tolerance, and awareness of religious diversity in increasingly pluralistic societies.

Finally, this research underscores the need for further sociological investigation into the evolving relationship between youth and religion. Future studies should explore longitudinal dynamics, cross-cultural comparisons, and the role of emerging technologies in shaping religious belief and identity. Expanding empirical research in this area will be essential for understanding how religion continues to adapt within rapidly changing social environments.

In conclusion, religion among young people today is not defined by disappearance, but by transformation. Recognizing this transformation is essential for developing a nuanced and accurate understanding of the role of religion in contemporary society.

## References

- Berger, P. L. (1999). *The desecularization of the world: Resurgent religion and world politics*. Wm. B. Eerdmans Publishing.
- Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity*. Sage.
- Casanova, J. (1994). *Public religions in the modern world*. University of Chicago Press.
- Davie, G. (2002). *Europe: The exceptional case: Parameters of faith in the modern world*. Darton, Longman & Todd.
- European Social Survey European Research Infrastructure. (2022). *European Social Survey (ESS), round 10 – 2020–2022 data*. <https://www.europeansocialsurvey.org/data-portal>
- Eurostat. (2024). *Statistics on young people and religion-related social indicators in Europe*. <https://ec.europa.eu/eurostat/>
- Giddens, A. (1991). *Modernity and self-identity: Self and society in the late modern age*. Stanford University Press.
- Inglehart, R. (1997). *Modernization and postmodernization: Cultural, economic, and political change in 43 societies*. Princeton University Press.
- Luckmann, T. (1967). *The invisible religion: The problem of religion in modern society*. Macmillan.
- Pew Research Center. (2020). *The global God divide*. <https://www.pewresearch.org/global/2020/07/20/the-global-god-divide/>
- Smith, C., & Denton, M. L. (2005). *Soul searching: The religious and spiritual lives of American teenagers*. Oxford University Press.
- Voas, D., & Crockett, A. (2005). Religion in Britain: Neither believing nor belonging. *Sociology*, 39(1), 11–28. <https://doi.org/10.1177/0038038505048998>
- World Values Survey Association. (2022). *World Values Survey Wave 7 (2017–2022)*. <https://www.worldvaluessurvey.org/WVSDocumentationWV7.jsp>
- Wuthnow, R. (2007). *After the baby boomers: How twenty- and thirty-somethings are shaping the future of American religion*. Princeton University Press.

## THE SHORT STORY HANGZHOU STREET NO. 10 BY YU DEBEI: AN ANALYSIS

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 short story *Hangzhou Street no. 10* by Yu Debei, from the contemporary Chinese short stories volume *Spring on the Train*. The short story underlines the role stories play in our lives, the way in which some are real and some are made up. We use stories in order to tell others about our experiences and in order for us to make sense of them. The main character is an unemployed young man who decides to imagine his future wife and to send her letters. He sends a letter about himself with both real and imaginary aspects to a street address he does not even know if it exists and he invents the name of a girl. Surprisingly, he receives answers from the girl and they continue writing to each other. At some point, the young man feels remorse about making up stories about himself which are not true and decides to visit the girl about whom he does not even know how old she is and to apologize. There he finds out from an old lady that she has passed away but that she has asked her to continue to send letters from her. At the same time, there is a detail which makes the story stop, together with the narrator: on the desk he sees the picture of a renowned professor specialized in the psychology of people with disabilities. He has lied in the letters that he has been disabled, and the respective picture may suggest that the letters may have been sent to comfort him. What the truth is remains left for readers to speculate, since what is real and what is imaginary is not clear. The methodological framework is made up of reader-response criticism and psychology.

**Keywords:** Imagination, empathy, creativity, day-dreaming, psychology

## 1. INTRODUCTION

Creativity can be considered a defining feature of human beings, since we can see it at work in various forms: we can create art, make discoveries and innovations in science and technology, create tools, etc. We are beings that can change our environment (Baciu, 2012), and we do so through our creativity. We use our imagination even in our everyday lives, as we daydream on various topics. We spend a large part of our lives sleeping and dreaming as well. We also spend time reading works of fiction and making hypotheses about what might happen if we take one course of action or another.

The short story *Hangzhou Street no. 10* by Yu Debei, from the contemporary Chinese short stories volume *Spring on the Train*, is about a young man who uses his imagination a lot, up to a point where it seems to interfere too much with his everyday life reality so that he decides to stop daydreaming.

### 1.1. Theoretical Framework

Readers react to this story by wondering about the outcome of a young, unemployed man writing, but also sending letters to a future wife he imagines, with a name he imagines, and to a street address and name he imagines and has no idea if they exist. Reader-response criticism (Mart, 2019) is an appropriate approach since it explains that readers react emotionally to the text they read and they also rely on their background knowledge in order to better understand and interpret the text. Knowledgeable readers can rely on psychoanalytical theories about fantasizing and daydreaming as a normal part of our everyday life, to some extent, once we do not completely lose contact with reality, such as in a state of psychosis. Daydreaming has as a role to compensate for what we are missing in reality. Artists also daydream, but they shape their daydreams into artistic forms (Freud, 1908); they do not leave them in their raw form.

## 2. METHOD

The short story *Hangzhou Street no. 10* by Yu Debei is the story of a young man who is currently unemployed. He takes the time to daydream about having a future wife with a certain name, living in a certain street and to whom he writes letters. He imagines a story about himself as well, as a young disabled young man, who would like to be able to work. He exaggerates his situation and his emotional state, making up an entire character and story. What is even more surprising is that the young man decides to address his letter to a woman with a specific name and deliver it to a specific address. He does not even know if the address exists or if someone by that name lives there. This seems, to readers, a passtime for someone waiting to become employed and finding himself in a difficult moment in his life. Imagining stories is a way to find compensation for what is missing for him in reality and also to find emotional comfort.

This is an acceptable version of reality, since we all daydream or enjoy writing stories, or fantasizing in our journal. However, there is an element which makes readers feel that there is something different about this

story: the young man actually sends his letter and, further on, what is even more strange, is that he receives letters in reply. We may start wondering if this is a trick, if someone else enjoys making up stories or if everything is real. The strange part is that fiction enters the world of reality, and the two of them interact and mix. This is more than just having daydreams as a normal part of our everyday life. This seems to be the case of a literal way of having daydreams and everyday reality side by side.

We may also wonder to what extent we could say that the young man has lied, since we do not know if the other person has not lied as well. We do not know if the other person may not be making up a fictional version of herself or not. The author only shares with us readers the perspective of the young man. We do not know more than the young man, so we are left as well making various hypotheses about the other person.

After some time, the young man starts feeling guilty for making up a desperate and negative situation for himself and he wishes the lady to whom he had written to know that he is doing fine and that she does not have to worry about him. We notice here a situation where at first, fantasy takes over reality, but how, afterwards, the young man wishes to make reality return to its place.

We can divide daydreaming into a healthy form, related to its role as emotional regulation (Singer, 1975), and into a maladaptive form (Somer, 2002), related to emotional compensation, once it is excessive and related to a response to a traumatic experience, to isolation and to needs that are not satisfied. The situation of the young man is in-between the two. Eventually he moves away from the unhealthy type of daydreaming, prompted by his isolation.

Readers may start reflecting on the following topic: to what extent can we say that making up stories means creativity and building up a fictional world, and to what extent making stories up means lying and being dishonest with another person. The lady to whom he sends the letters is not warned that he is making stories up. He present them, after all, as reality. In addition, we readers may wonder to what extent this short story could belong to the genres of fantasy, magic realism or to science fiction, since we notice that not only does the young man send his letters to an imaginary address and person, but that person actually replies. Readers may also think that this situation could be a coincidence, or that the young man may have paranormal powers. At the same time, readers may start reflecting on the way in which, when we write emails to persons we have not met, we may have the tendency to start making ourselves and our lives more interesting by making some details up. We may present to the other person a completely fictional version of ourselves, while the other person may do the same.

Eventually, the young man goes to the address and an old lady opens the door for him. However, it is not her who had written the letters. She tells him that the lady who had been sending him letters had died for some time now, but that she had asked her to continue to send him letters from her which she had prepared in advance. In

the office, the young man notices some details which make the story stop – it does not continue from here. On the desk he sees the picture of a famous professor specialized in the psychology of people with disabilities. He had also seen, before, a pile of letters identical to those he had been receiving from the woman to whom he had written about himself. Readers can start making hypotheses such as the following: perhaps the professor had prepared those letters and there was no young woman. Perhaps the young woman had been a patient of the professor or had known him and his works, which has led her to wish to try his techniques to help the young unemployed man. Readers are prompted to continue the story. The open ending allows room for more doubt and more ambiguity than we had found in the beginning of the story.

This can be a story about looking for and giving empathy and sympathy. This gives as much comfort as fiction and daydreaming does. Readers understand that there is honesty to some degree in the young man's story which he presents in the letters to his imagined future wife. He simply creates some fictional details; otherwise, he is honest about his actual situation. By pretending to be disabled, readers understand, based on Freudian dreamwork, that he feels as if he is disabled since he cannot work and feels that there is no way out for him. He feels that he is unable to do anything, and this translated into the imagery of disability. He feels powerless and believes that there is nothing he can do in order to be able to find work. In this case, being comforted by someone is highly important. We can understand, in this way, that anything we imagine says something about us. By making up a story about himself being disabled, the young man fulfils his wish of being comforted by someone. Emotional support from dear persons is essential in difficult moments.

### 3. RESULTS

This short story moves in-between reality and fiction, reality and fantasy, just as our psychological makeup does. We have a conscious and an unconscious level of our minds which explain how our psyche works, based on psychoanalytical theories developed by Freud. Both levels are at work when we dream at night or when we daydream. Any product of our mind can be analysed and can reveal something true about ourselves, about our needs, wishes, fears, and so on. We can claim that the young man had fulfilled his wish for emotional support by exaggerating his story here and there and by receiving understanding from the person writing back to him.

### 4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS

The short story *Hangzhou Street no. 10* by Yu Debei is not so much about the conflict between reality and fantasy, between truth and lies, once we become aware of the way in which we feel the need for emotional support in difficult times. Then it is natural to imagine someone who would comfort us, such as the main character in this story imagines his future wife. He is both alone and unemployed, which makes his situation intensely negative. He retreats into a world of daydreams while, at the same time, he hopes to make his daydream come true. With this hope, he sends his letter to an address and person he makes up. At the same



time, his need for emotional connection with someone is clear. This short story illustrates the psychoanalytic perspective on daydreams as bring us comfort and wish-fulfillment. At the same time, we can also consider the high extent to which stories and storytelling is present in our lives. We think of our own life in terms of a story, which we try to make coherent. We read and write stories, we present episodes in our life under the form of a story, we talk about our day structuring it as a story. We can also say that each of us has our own story, in the sense that we have our own experiences and ways in which we react to them. This could explain why a young woman or a psychology professor can react with empathy and sympathy for the young man writing such letters.

## REFERENCES

- Baciu, S. (2012). Culture: An Awareness-Raising Approach. Cavallioti Publishing House, Bucharest, Romania.
- Debei, Y, L. (2023). Strada Hangzhou, nr 10 (Hangzhou Street no. 10). In Primavara in tren (Spring on the Train). Antologie de proze foarte scurte din literature chineza contemporana (An anthology of very short stories from contemporary Chinese literature). Corint Books, Bucuresti.
- Freud, S. (1908). Creative writers and day-dreaming. SE, 9(1959), 143-153.
- Mart, C. T. (2019). Reader-response theory and literature discussions: A Springboard for exploring literary texts. *The New Educational Review*, 56, 78-87.
- Singer, J. L. (1975). The inner world of daydreaming. Harper & Row.
- Somer, E. (2002). Maladaptive daydreaming: A qualitative inquiry. *Journal of Contemporary Psychotherapy*, 32(2), 197-212.

## THE SHORT STORY *THE HAYSTACKS* BY LU FUHONG: AN ANALYSIS

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 short story *The Haystacks* by Lu Fuhong, from the contemporary Chinese short stories volume *Spring on the Train*. This is a short story presenting readers with external action and with minimal inner reflections on the part of the main character, a man working on his field. He reflects on the changing world, as in his suburban area the fields where people work are getting fewer and fewer, their place being taken by factories. The image of the haystacks is presented as he enjoys lying in them and sleeping, since he considers them comfortable. At some point he overhears discussions between two young people working in the factory, who have come to the haystacks for a romantic date. As he overhears their plan to meet again in the haystacks and as he also finds out about their dreams of starting a life together, he decides to no longer sell the haystacks, stopping the process as workers at the paper factory come to take them, as the both sides had agreed. A strong attachment to the natural world is felt throughout the short story. Natural elements are present and described vividly. Readers recall short poems with natural setting not just from Chinese, but also from Japanese culture. The methodological framework is made up of reader-response criticism and psychology.

**Keywords:** Imagination, empathy, nature, day-dreaming, psychology

## 1. INTRODUCTION

Nowadays, we are used to the conflict between urbanization and the preservation of the natural, or rural world and lifestyle. We often come across experiences where people experience nostalgia after their childhood spent at their grandparents' in rural areas, in nature. We also come across the issues of environmental care and protection, across preservation of green spaces and creation of new green spaces in rural areas. Parks are highly promoted as places of entertainment, relaxation and spending time together with family and friends. In addition, environmental health is tied to human health, especially in urban areas, since pollution levels can become high and trees can filter the air.

The short story *The Haystacks* by Lu Fuhong, from the contemporary Chinese short stories volume *Spring on the Train* deals with this conflict between urbanized spaces and natural, rural spaces with their customs and lifestyle. The industrialization process is present in this short story as factories take over the old lifestyle of working on land. The old agricultural way of life is gradually replaced by factories, people getting to work in factories instead of on their land.

### 1.1. Theoretical Framework

Change is a process which requires psychological adaptation. In the process, an individual can meet with psychological resistance. An individual may hang on to the old lifestyle and reject changes and the new lifestyle. If change is unavoidable, and beyond an individual's control, it can be considered a traumatic experience and it can lead to grief work. Grief work (Freud, 1917) can happen not just after losing someone dear, but also after losing an old way of life, the surrounding environment, and everything we have grown accustomed to. Grief work can lead a person to go through stages such as denial of the loss, anger at the loss, through gradual acceptance of the loss. However, each experience has its particular features and an individual does not need to go through the stages of grief work in a certain order. In the short story, we witness the main character, an old man who is used to work on his lands and to build haystacks, faces the gradual loss of lands around him, as many other people like himself have given up their lands, leaving space for industrialization and urbanization. Psychologically, he feels inclined to cling on to the old way of life. Readers react emotionally to his experience and they also try to understand the text based on their background knowledge, according to reader-response criticism (Mart, 2019).

## 2. METHOD

The main character is a man who has worked in the fields for all of his life. He is very attached to this way of life and finds it difficult to live through the changes brought in his rural area by urbanization. Factories are being built and people have started working in factories instead of on their lands. Times are changing, so is the

environment in which people live, and so is their lifestyle. However, the old man in the story feels conflicted in accepting or rejecting the changes that have been brought over in the place where he lives.

He enjoys resting and relaxing on haystacks, and he overhears at some point a young couple who had come for a romantic date in his haystacks. He becomes aware that the younger generations also feel comfortable having talks and relaxing in haystacks, and thus enjoying the old lifestyle, tied to the presence of nature and working in the fields. The young couple talks about their plans to raise enough money to start a life together. They are workers in the factory, but at the same time they appreciate time spent in nature. They enjoy spending time in the haystacks just like the old man.

The haystacks become an image suggesting empathy and sympathy for those attached to the old way of life. Even if the old man is not seen by the young couple, even if they do not meet and talk about how they feel about nature, the story suggests, through the image of the haystacks, a means of expressing sympathy and empathy. The haystacks are creating an emotional bond between the old man and the young couple, implying that, after all, nothing needs to be changed. It is not that a modern lifestyle, represented by industrialization and factories, is incompatible with enjoying nature. The two do not exclude each other. They can very well coexist. This is what readers imply that the main character is thinking, since after this experience he tells workers from the paper factory who had come to take away the haystacks at his orders which he had given the previous days that he has changed his mind and that he wants to keep the haystacks.

Deciding to let the haystacks be taken away symbolizes his wish to move on, to accept change, to give up his old lifestyle. However, he understands that he may very well keep his attachment to the old lifestyle if this is what he feels like. He may let everything change around him, especially since he has no control. However, what he can control can still be kept if he takes his decision to do so. It is up to everyone to decide whether to change their old lifestyle or not. It is all a matter of personal choice and responsibility. If other people working on their land had given up this way of life, it was their choice. He is free to make his own choices. In addition, once he overhears a young couple finding it a comfortable place for their dates coming to his haystacks, he understands that there is still hope for the future that part of the old lifestyle and environment may be preserved.

Readers are not told directly what the old man thinks. They imply this from his actions of refusing to allow the workers in the paper factory to take away his haystacks after witnessing the scenes of him overhearing the young couple on their romantic date. Readers use their imagination in order to fill in what is missing from the text. The author allows selected perspectives through his text in the inner world of the old man and relies mostly on his external actions, descriptions of what is going on in the area. This is indirect communication, which readers associate with Chinese and Asian cultures in general (Sanchez-Burks et al, 2003). It also works well with fiction, since it leaves room for interpretation and a stronger artistic effect, allowing the old man's actions

to have a higher emotional impact and to suggest even more his final solution to his psychological conflict about the changing world. He realizes that he does not have to give up his old lifestyle if this is his decision.

### **3. RESULTS**

The short story *The Haystacks* by Lu Fuhong shows us an old man who takes a decision to solve his psychological dilemma related to giving up or not his old lifestyle. The turning point in his decision is witnessing a young couple talking about enjoying the place with his haystacks for their romantic dates. He realizes that nature is a source of emotional comfort for other people as well, and, especially, for young couples. He has likely felt the same in his youth, and he realizes that, in this respect, nothing has actually changed. The way we feel about nature and about the charm of the old lifestyle appear to remain universal. It is worth underlining that his dilemmas are not so much presented in detail, or directly, but left to be implied based on how he reacts and on the solutions he finds. Readers feel that they are visual observers of these scenes and that they can guess what the old man feels based on his body language, language of gestures, facial expression, voice tone, thus having the illusion that they are witnesses to his use of non-verbal communication.

### **4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS**

Readers draw on their usual ways of making sense of communication in various contexts in everyday life. They are used to interpreting both verbal and non-verbal language, even when they are not directly involved in a conversation. They are always observers of and witnesses to various scenes and they form an impression of various persons by looking at them take actions and decisions, just like the old man in this story does. We have noticed how his own simple observation of the young couple dating in his haystacks has led to an interpretation and to some conclusions which were related to his own psychological dilemmas. No words needed even to be exchanged between the old man and the young couple.

### **REFERENCES**

- Freud, S. (1917). Mourning and melancholia. *The standard edition of the complete psychological works of Sigmund Freud*, 14(1914-1916), 237-258.
- Fuhong, L. (2023). Capitele (The Haystacks). In *Primavara in tren (Spring on the Train)*. Antologie de proze foarte scurte din literatura chineza contemporana (An anthology of very short stories from contemporary Chinese literature). Corint Books, Bucuresti.
- Mart, C. T. (2019). Reader-response theory and literature discussions: A Springboard for exploring literary texts. *The New Educational Review*, 56, 78-87.
- Sanchez-Burks, J., Lee, F., Choi, I., Nisbett, R., Zhao, S., & Koo, J. (2003). Conversing across cultures: East-West communication styles in work and nonwork contexts. *Journal of personality and social psychology*, 85(2), 363.

## THE SHORT STORY THE RETURN OF THE DOCTOR WHO PERFORMS MIRACLES BY XU QUANPING: AN ANALYSIS

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 short story *The Return of the Doctor who Performs Miracles* by Xu Quanping, from the contemporary Chinese short stories volume *Spring on the Train*. The short story features a very good doctor, who knows when a patient can be cured and when a patient has no more chances to live right away. Non-verbal communication, specific to Asian cultures, is at work: if the patient can be cured, he writes a prescription, if not, he shakes his head. One case, however, leads to his loss of reputation and trust in himself. He loses a patient whom he had given a prescription. The uncanny aspect is introduced as, five years later, when the doctor returns to the village, he recognizes the man who had died. In the meantime, the doctor had gone to improve his skills and had studied some more, as he felt guilty about losing his patient. He returns, symbolically, to the village as he wishes to cure the man, and as he tells the man. In his turn, the man has felt guilty as the dead man had been his twin brother. Afterwards he had left the village as well, but then he has also returned, symbolically, due to his feelings of guilt. The story relies of the psychology of feelings of guilt, which make us return to the past situation. In the story this takes the form of external action, not just of inner reality. The methodological framework is made up of reader-response criticism and psychology.

**Keywords:** Guilt, unconscious, grief work, shock, psychology



## 1. INTRODUCTION

There are professions which include more risks than others, since mistakes can lead to the harm of others and even to their death. This is the case of the profession of doctors. In medicine, the slightest mistake can have severe consequences on the patient's wellbeing. It can even lead to the loss of a patient. At the same time, doctors are often confronted with very sick patients or with patients who have been very badly wounded in accidents or battles, thus having very little chances to be saved. This can lead to traumatic situations for doctors as well, together with their experiencing strong feelings of guilt and loss of self-confidence.

This seems to be the case of the doctor in the short story *The Return of the Doctor who Performs Miracles* by Xu Quanping, from the contemporary Chinese short stories volume *Spring on the Train*. He goes through the experience of a shock from losing a patient and from being wrong about judging his state. He had believed that the patient had chances to be cured and had prescribed medicine to him. He has assured his wife that he would get better, too. This has led to his loss of confidence in his abilities and to guilt over losing a patient.

### 1.1. Theoretical Framework

Psychoanalysis tells us that we tend to return to traumatic situations, unconsciously, by coming across similar situations afterwards, in an attempt to find the opportunity to solve this situation, and to feel that we have gained control over it. This is called repetition compulsion (Freud, 2015), which also leads us to experience feelings of what Freud had called the uncanny (Freud, 2017). The uncanny is an experience which is both strange and familiar. It includes both types of elements, since it seems strange on the surface, while, unconsciously, there is something familiar about it. Readers can rely on this background knowledge in order to explain why the doctor, when returning to his village after losing a patient, finds the patient healthy and well. This is both shocking and prompting readers to find explanations to understand why it has happened. Reader-response criticism (Mart, 2019) deals with how readers react emotionally to a text, as well as with how they rely on their background knowledge in order to better understand a text.

## 2. METHOD

The short story *The Return of the Doctor who Performs Miracles* by Xu Quanping, from the contemporary Chinese short stories volume *Spring on the Train*, is about a doctor who is very good at his profession. He can tell right away if a patient, even if his state is very bad, has chances to get better or not. People in the village have learnt his non-verbal communication and can tell right away if there is hope for the patient to get better or not: if the patient has chances to get better, the doctor writes a prescription, if not, he nods his head.

At some point, he comes across a situation which makes him lose confidence in his abilities and also likely experience guilt, shame, and possible loss of his reputation in front of the inhabitants of the village. This is the

moment when he believes that a patient can be cured, writing a prescription for him, yet after some time this patient dies.

Readers imply that this has come as a shock and as a traumatic experience for the doctor himself, not just for the dead man's wife. He leaves the village and, in the meantime, tries to perfect his abilities and improve his knowledge in medicine.

Five years later he returns to the same village. Clearly, this can come as a surprise since it would be, realistically, impossible for him to fix such a situation, since the patient had died. Readers themselves experience a moment of shock or of an uncanny situation, once they witness the doctor coming across the same man who had died – or whom was believed to be dead – and this man tells the doctor that he is perfectly healthy.

From a psychoanalytic point of view, knowledgeable readers can interpret this based on the repetition compulsion, which leads anyone of us to come across the same traumatic situation over and over again. Such an experience happens because we have not come to terms with it and have not managed to overcome it. We keep on, unconsciously, returning to the same situation by coming across a similar pattern over and over again in an attempt to sort things out this time. This seems to be the case with the doctor. What surprises even more is that he actually finds his patient perfectly healthy, which can be uncanny – both strange, since we all know he is dead, and familiar, since this can be considered an instance of wish fulfillment. The doctor returns and everything is fixed, his patient is all right, which means that nothing had happened, that he had never lost his patient. This can also be interpreted as the denial phase in the process of grief work (Freud, 1917): the patient never died, and the doctor never lost his patient, since he is safe and sound, right before him. The doctor is going through grief work, since the loss of his patient had meant loss of confidence in his medical abilities, loss of trust, and loss of reputation. He could not accept the loss of his patient, which was associated with the other losses, of medical abilities, trust in himself and trust of the others in him, as well as loss of reputation. He wishes his patient had not died and he has his wish fulfilled right before his eyes, as he returns to the village after five years. Since readers know that this cannot be true, since the patient was dead, they may consider that the doctor does not experience healthy, usual, normal grief work, but its pathological form, that of melancholia. In the case of melancholia, contact with reality can be lost to the point where the person experiencing the loss identifies him or herself with the lost object.

Readers can also start making hypotheses about how the patient may have tricked the doctor into believing he was dead. However, this may seem unlikely, since the doctor was so good at his job; he would likely be able to tell a dead man from one who is still living. Indeed, the doctor finds out himself what happened from the patient: the man whom he had seen safe and sound was actually not his patient whom he had treated back then.

His patient had actually died. The man he had met five years later whom he had taken for his patient was his twin brother.

The doctor had not thought right away that there should be a logical, realistic explanation. His first reaction was that of believing that his patient had not died, suggesting that he was still affected psychologically by losing his patient five years ago.

### **3. RESULTS**

This short story leads the readers to believe that it may be a fantasy one, and not a realistic one. This serves to underline the strong emotional reactions to loss of the doctor, and the way in which our unconscious can shape reality for anyone of us when faced with such situations.

### **4. CONCLUSION, DISCUSSION, AND RECOMMENDATIONS**

Readers are presented with the direct perspective of the doctor once they see together with him the dead patient safe and sound five years later. We believe, together with him, that the patient had died, but we feel confused and conflicted to accept this. We tend to believe, together with the doctor, that it is the same patient, yet he is the twin brother of the dead patient. The truth is hard to accept – a detail suggest by the first reaction of the doctor to believe that his patient is still alive. Only after the detail of the man being his twin brother does the situation become realistic again, and only after finding this detail out does the doctor return back down to earth. The way in which the story presents the return of the doctor to the village shows us how powerful our unconscious mind is in dealing with grief work, loss, feelings of guilt, denial, and wish fulfillment. It shows us the effect of a traumatic incident in the life of a doctor, suggesting to readers an additional message: doctors are not infallible and they are also not sheltered from emotional suffering. They cannot solve everything and they are also not immune to psychological conflicts.

### **REFERENCES**

- Freud, S. (1917). Mourning and melancholia. *The standard edition of the complete psychological works of Sigmund Freud*, 14(1914-1916), 237-258.
- Freud, S. (2015). Beyond the pleasure principle. *Psychoanalysis and History*, 17(2), 151-204.
- Freud, S. (2017). The uncanny. In *Romantic writings* (pp. 318-325). Routledge.
- Mart, C. T. (2019). Reader-response theory and literature discussions: A Springboard for exploring literary texts. *The New Educational Review*, 56, 78-87.
- Quanping, X. (2023). *Intoarcerea doctorului care face minuni (The Return of the Doctor who Performs Miracles)*. In *Primavara in tren (Spring on the Train)*. Antologie de proze foarte scurte din literatura chineza contemporana (An anthology of very short stories from contemporary Chinese literature). Corint Books, Bucuresti.



**THE MULTIFACETED ROLE OF MAGIC IN MEDIEVAL SOCIETY: UNRAVELLING MYTHS  
AND MISCONCEPTIONS**

**Ananda Majumdar**

**Ananda Majumdar - Harvard University**

**Ananda MAJUMDAR | alumnus | Business | MacEwan University, Edmonton | Human Resources |  
Research profile**

**Prof. Dr. Ananda Majumdar (0000-0003-3045-0056) - ORCID**

**\*Professor of Practice in Social Science, QAHE & Kennedy University of Saint Lucia -present**

**Cell# 1-780-660-7686**

**anandamajumdar2@gmail.com**



**Abstract:** Many people today see medieval magic as evil, linking sorcerers and witches with dark actions. However, this idea is mostly modern. In the Middle Ages, magic acted as a normal part of everyday life. People used superstition to try to affect things they could not control, such as the weather and health. With little scientific knowledge, many turned to magic for answers. It was accepted by all social classes and supported by the authorities. For example, the Old English Leechbook focuses on healing rather than black magic, using natural remedies, spoken words, and actions calling on pagan or Christian powers. (Bald's Leechbook, n.d.) People used magic for many reasons, including protection against evil spirits, with recipes such as washing paper with prayers in water before adding herbs and blessed wine. (An Herb for Speaking to The Dead: The Liturgical and Magical Life of Hyssop in The Latin Middle Ages, 2022) Amulets such as hare's feet or rosemary were common to ward off disease and evil. (Meaney, 1981) Astrology was important, with signs from the stars, dreams, and bird sounds used to make predictions. (Aquinas, 1269) Many magical practices included religious elements such as relics, holy water, and the help of clergy. (Rider, 2013) The Old English "Charm for Unfruitful Land" shows this mix of superstition and Christian ritual. (Æcerbot, n.d.) Although church leaders condemned magic in the late 15th century, it stayed a key part of daily life for most of the Middle Ages. (Canon Episcopi, 900)

Many people saw their magical practices as normal ways to gain some control over their uncertain world—an attitude that continues today. (Bailey, 2008) The influence of medieval magic still shapes modern ideas about superstition and spirituality. Many beliefs and practices from that time, such as using amulets for protection and believing in the power of the stars, still exist in different forms today. (Petrie, 2023) This essay examines the role and perception of magic in medieval society, challenging the modern view that it was mainly evil and dark. It shows how magic was part of daily life, health, and spiritual beliefs at the time. The goals are to study how society accepted magic across social classes; explore how magic was used for health, protection, and prediction; examine how religious practices blended with magical traditions; and review the Church's position on magic. The research includes studying historical texts such as the Old English Leechbook and the "Charm for Unfruitful Land," as well as scholarly articles and existing writings on medieval magic and its cultural importance. The method also compares practices across social classes and examines the influence of religious and non-religious factors. The findings show that magic was widely used across all social levels in the Middle Ages to address life's uncertainties. It often focused on healing, using natural remedies and rituals that combined pagan and Christian parts. Astrology, charms, and protective amulets were important in everyday life, showing a mix of superstition and spiritual belief. Even though the Church condemned magic in the late 15th century, many practices remained firmly established in society, reflecting humans' ongoing wish to control the

uncontrollable aspects of life. Overall, the legacy of medieval magic continues to shape modern views of superstition and spirituality.

**Keywords:** Medieval Magic, Superstition, Healing, Astrology.

**Introduction:** Magic occupies a contradictory place in people's imaginations of the Middle Ages, often associated with superstition, heresy, and irrational beliefs (Bailey, 2008; Broedel, 2003). However, a closer look at historical sources reveals that magic in medieval society was neither simple nor entirely marginalized (Kieckhefer, 1989; Rider, 2013). This study explores the many, sometimes conflicting, roles magic played in medieval Europe, going beyond simple or exaggerated views (Bailey, 2007; Kieckhefer, 1989). By clearing up common myths and misunderstandings, this paper seeks to offer a detailed view of how magic connected with daily life, religious practice, and law (Rider, 2013; Canon Episcopi, 900). The main idea is that magic was not solely a fringe activity but a complex, sometimes common, part of medieval culture, reflecting wider social, religious, and intellectual trends (Aquinas, 1269; Petrie, 2023). There is a large body of research on medieval magic, from early studies centring on its role in pre-modern societies to newer investigations that situate it within cultural and intellectual history (Kieckhefer, 1989; Bailey, 2008). Scholars such as Richard Kieckhefer and Michael D. Bailey have shown the complex relationship between learned and popular magic, the Church's evolving perspectives, and the gradual development of magical practices in legal and religious texts (Bailey, 2007; Kieckhefer, 1989; Rider, 2013). These studies demonstrate that magic was simultaneously condemned and accepted, depending on context and interpretation (Rider, 2013; Canon Episcopi, 900). For example, the boundaries among magic, religion, and science were often unclear; healing charms, protective amulets, and certain forms of fortune-telling were sometimes accepted or tolerated (Bald's Leechbook, n.d.; Meaney, 1981; Æcerbot, n.d.).

On the other hand, accusations of maleficium—harmful magic—were punished more strictly from the late Middle Ages onward, reflecting concerns about social order, heresy, and gender (Kramer & Sprenger, 1486; Broedel, 2003; Zabel, n.d.). Despite advances in research, public views of medieval magic remain shaped by myths about witch hunts, sorcery, and pacts with the devil, often far removed from the historical record (Broedel, 2003; Würzburg Witch Trials, 2026). This paper challenges these misconceptions by analyzing sources—legal records, religious writings, and everyday accounts—to reconstruct the lived experiences and traditional meanings of magic in medieval society (Rider, 2013; Canon Episcopi, 900; Bailey, 2008). The study employs a multidisciplinary approach, drawing on history, anthropology, and literature to show how magic operated as a social practice, a debated idea, and a site of both authority and resistance (Kieckhefer, 1989; Petrie, 2023). Ultimately, this research demonstrates that magic in medieval society was a dynamic and significant component of social, religious, and legal life. By situating magic within its broader historical context



and analyzing the evidence closely, this paper aims to present a nuanced and accurate view that challenges enduring myths and reveals the complexity of medieval beliefs and practices (Bailey, 2007; Rider, 2013).

**Literature Review:** The study of magic in medieval society has changed significantly over the past century, shaped by new academic ideas and greater access to sources (Bailey, 2008; Kieckhefer, 1989). Early research, such as the work of anthropologists James Frazer and Émile Durkheim, often saw medieval magic as primitive superstition, drawing a sharp divide between magic, religion, and emerging science (Frazer, 1922; Durkheim, 1912). These early studies established a clear conceptual boundary, but more recent scholarship has shown that these boundaries were far less rigid in medieval society (Kieckhefer, 1989; Rider, 2013). Later research acknowledges the many roles of magic, including its integration into both elite and popular culture, and complicates simplistic narratives about its marginality or illegality (Bailey, 2007; Kieckhefer, 1989). Kieckhefer's *Magic in the Middle Ages* (1989) was particularly influential in showing the breadth of magical practices, from learned rituals and church necromancy to everyday folk traditions. Similarly, Bailey (2007) expanded the discussion by analyzing how “magic” was defined in various contexts, ranging from healing and protection to accusations of heresy and maleficium. Legal and Church sources, such as penitentials and trial records, have been central to tracing changes in official attitudes (Canon Episcopi, 900; Kramer & Sprenger, 1486; Rider, 2013). Scholars such as Catherine Rider and Karen Jolly have used these sources to show that church authorities often distinguished between permitted and forbidden supernatural acts, with confession manuals sometimes categorizing certain magical acts as minor sins (Rider, 2013; Jolly, 1996).

In contrast, other acts—especially those involving harm or alleged pacts with the devil—were punished more harshly (Kramer & Sprenger, 1486; Broedel, 2003). The intersection of gender and magic also features prominently in literature, with works by Lyndal Roper and Silvia Federici highlighting how anxieties about women's roles were intertwined with fears of witchcraft and sorcery (Roper, 1994; Federici, 2004; Zabel, n.d.). This is evident in the later medieval and early modern witch trials, in which women comprised most of the accused (Zabel, n.d.; Würzburg Witch Trials, 2026). However, recent research cautions against conflating the large-scale witch hunts of the early modern period with earlier medieval attitudes, underscoring the importance of historical context (Bailey, 2008; Rexing, 2025; Saunders, n.d.). Despite advances in scholarship, persistent myths—such as the notion of a widespread, organized witch cult or the uniform persecution of all magic users—continue to shape popular and academic perceptions (Broedel, 2003; Bailey, 2008). Modern scholarship emphasizes the need for critical, context-sensitive analysis of sources, rejecting sensational accounts in favour of nuanced, interdisciplinary perspectives (Bailey, 2007; Kivelson, n.d.; Rider, 2013). By integrating research from historians, anthropologists, and literary scholars, current studies reveal that magic in medieval society was

a vibrant, contested phenomenon embedded in wider social, religious, and legal frameworks (Kieckhefer, 1989; Rider, 2013; Broedel, 2003).

**Methodology:** We conducted a retrospective documentary analysis to investigate the multiple roles of magic in medieval society. We focused exclusively on written sources from the medieval period and relevant secondary literature. The purpose was to examine how magic was represented, practiced, and regulated, and to contest prevailing myths and misconceptions. We selected primary sources, including legal codes, ecclesiastical documents, theological treatises, penitentials, trial records, and vernacular narratives, from Western Europe, spanning the early to late Middle Ages (circa 500–1500 CE). These documents were accessed through digital archives, published collections, and academic libraries. We prioritized sources that were widely cited in literature and representative of different regions and periods. Secondary literature included monographs and peer-reviewed articles by leading historians and academics in medieval studies, such as Richard Kieckhefer, Michael D. Bailey, Catherine Rider, Karen Jolly, and Lyndal Roper.

We used keyword searches with terms such as “medieval magic,” “maleficium,” “witchcraft,” “clerical magic,” and “folk beliefs” to guarantee comprehensive coverage. Reference lists from key texts were also reviewed to identify further pertinent works. Our study included systematic reading and annotation of the selected texts. We extracted information on the types of magical practices described, the social status and gender of practitioners, the attitudes of authorities, and the legal and theological frameworks used to define and regulate magic. Attention was paid to areas of ambiguity or contestation, such as the overlap between religious and magical practices, as well as to the evolution of official responses over time. Ethical issues were minimal, as the research relied solely on publicly available historical documents and published scholarship. We adhered to academic integrity standards by accurately citing all sources and avoiding plagiarism. No sensitive personal data was collected or analyzed. The study was designed to be replicable by other researchers. All sources consulted are listed in the bibliography. We used simple, transparent inclusion criteria for primary and secondary texts, and the selection and analysis process is described in detail. Our approach provides for verification and additional exploration by future studies. This study used a retrospective analysis of documentary sources to explore the complex and contested role of magic in medieval society, focusing on vital parameters for replication and transparency.

**Results and Findings:** The analysis of primary and secondary sources revealed that magic played a complex and varied role in medieval society. Magic was found in many aspects of daily life, religion, and law. It was not limited to one class or group. Both educated and uneducated people practiced or believed in magic, though the types of magic used and the attitudes toward them often differed. Legal and ecclesiastical documents showed that magic was not always treated as a crime.

In many cases, minor magical acts, such as love charms or healing rituals, were not punished severely. Penitential texts often listed these acts as minor sins rather than grave offences. However, magic that was believed to cause harm, such as curses or maleficium, attracted stronger condemnation. Over time, especially from the late thirteenth century onward, authorities became more concerned with harmful magic and its association with heresy or dealings with the devil. The study found that the boundaries among magic, religion, and early science were unclear. Many people used prayers, blessings, and charms together. Sometimes, church rituals were combined with folk practices without conflict. Some clerics and monks practiced learned magic, using Latin texts and complex rituals. These activities were sometimes tolerated, especially if they tried to heal or protect. However, when magic was seen as challenging church authority or involving demons, it was more likely to be condemned. Trial records and legal codes showed regional and temporal differences in attitudes toward magic. In some areas and periods, accusations of magic were rare. In others, especially during times of social stress or unrest, accusations increased. Women were more often accused of practicing harmful magic, especially in later periods, but men were also involved, particularly in cases of learned or ritual magic. The analysis of theological treatises and sermons revealed a gradual shift in church attitudes.

Early medieval churchmen sometimes tried to adapt or Christianize popular magical practices. Later, especially after the twelfth century, church authorities became more concerned about magic as a form of heresy. Theologians like Thomas Aquinas wrote about the dangers of magic, particularly when it involved invoking demons. This shift contributed to the advancement of more severe penalties for certain kinds of magic. The study found that popular beliefs about magic persisted alongside official disapproval. Many people sought out magic for protection, healing, or solving everyday problems. Amulets, charms, and magical prayers were widespread. Folk healers and “cunning folk” played important roles in their communities. The existence of magical beliefs and practices did not always lead to conflict with authorities.

In many cases, local priests or officials ignored or tolerated minor magical acts. Literary sources, such as legends, poems, and stories, reflect the complexity of attitudes toward magic. Magic was sometimes portrayed as dangerous or evil, but it was also shown as helpful or wise. Famous figures such as Merlin and Hildegard of Bingen were associated with magical knowledge. These stories added to the rich network of beliefs about magic in medieval culture. The study also found that the image of a “witch” as an evil woman in league with the devil was not common in early medieval sources. This stereotype developed later, especially in the fifteenth and sixteenth centuries, and was influenced by changes in law and theology. Early medieval accusations of magic were more likely to focus on harmful acts or disputes within communities rather than on organized witchcraft. The review of secondary scholarship confirmed that historians now view medieval magic as an active and

negotiated phenomenon. Social, religious, and judicial factors formed magic. It was not simply a superstition or a crime. Instead, it was part of the wider culture, used to explain and address life's uncertainties.

Significant outcomes of the study include the following: Magic was present at all levels of society and practiced by both men and women. The distinction among magic, religion, and science was often blurred. Minor magical acts were usually tolerated or treated as minor sins, while harmful magic was punished more severely, especially over time. Church attitudes toward magic hardened in the later Middle Ages. Accusations of magic varied by region, time, and social context. The stereotype of the witch as an evil woman developed later and was not typical of the earlier medieval period. Popular beliefs in magic persisted despite official disapproval and were often incorporated into daily life. The study found that magic in medieval society was varied and deeply embedded in culture. It was not simply rejected or persecuted. Instead, magic was used, regulated, and understood in many different ways. These findings dispel myths and misconceptions about medieval magic and underscore its importance for understanding medieval society.

**Discussion:** The medieval period, spanning from the 5th to the late 15th century, was characterized by a complex interplay of belief systems and regulatory efforts, as documented by Bailey (2008) and Kieckhefer (1989). During this era, magic and witchcraft evolved from widely accepted folk practices to symbols of deviance from emerging Christian norms (Kieckhefer, 1989; Rider, 2013). This transition is reflected in sources such as penitentials, trial records, and treatises like the *Malleus Maleficarum* (Kramer & Sprenger, 1486; Broedel, 2003). The association of women with witchcraft, rooted in Late Antiquity, was shaped by the rise of Christianity and the reinterpretation of pagan traditions (Rexing, 2025; Zabel, n.d.). As the veneration of pagan deities waned, magical practices were increasingly scrutinized and condemned (Canon Episcopi, 900; Saunders, n.d.), with church authorities distinguishing between tolerated rituals—such as healing charms—and those condemned as heretical (Rider, 2013). The boundaries between magic, religion, and emerging science were often blurred, as reflected in Aquinas (1269) and contemporary Arabic influences (Saif, 2015). The demonization of witchcraft and the association of witches with diabolical pacts intensified in the fifteenth century, culminating in the large-scale witch hunts of the early modern era (Broedel, 2003; Würzburg Witch Trials, 2026; Kivelson, n.d.). While both men and women were accused, studies emphasize the gendered dimension of persecution, with women—particularly those outside traditional roles—disproportionately targeted (Zabel, n.d.; Roper, 1994). Confessions, often extracted under torture, were used as evidence in trials (Kivelson, n.d.; Kramer, 1486). Despite the Church's condemnation, “white” or “light” magic—such as love potions, protective amulets, and healing rituals—remained popular and were frequently practiced by both men and women (Meaney, 1981; Petrie, 2023; Bald's Leechbook, n.d.). In contrast, “black” magic was associated with maleficium and demonic activity (Kramer & Sprenger, 1486; Bailey, 2007). These distinctions underscore

the persistent human desire to manage uncertainty and adversity through magical means, as discussed in Petrie (2023) and Æcerbot (n.d.). The introduction of Arabic scientific texts after the Crusades contributed to changing perceptions, raising anxieties about “occult” practices (Saif, 2015). Papal authority, especially during the Gregorian Reforms, intensified the association between magic, heresy, and diabolical worship (Blumenthal, 2026). Over the Middle Ages, magic shifted from a tolerated set of practices embedded in daily life to a criminalized domain used for social control (Bailey, 2008; Broedel, 2003). As modern scholarship shows, discussions about magic were shaped by intellectual elites, but their consequences deeply affected ordinary people, particularly women (Kieckhefer, 1989; Roper, 1994). The transformation in the perception and treatment of witches continues to shape cultural memory, casting witches as complex symbols of transgression, power, and fear (Broedel, 2003; Zabel, n.d.; Würzburg Witch Trials, 2026).

**Conclusion:** This study examines the intricate, layered role of magic in medieval society, revealing that it is deeply intertwined with daily life, religion, and law, a perspective supported by key scholars and primary sources referenced throughout this paper. The findings align with research by Kieckhefer (1989), Bailey (2007, 2008), and Rider (2013), who demonstrate that magic was practiced and believed in by people of all social classes, both men and women, and was not simply a remnant of superstition or an isolated form of heresy (Kieckhefer, 1989; Bailey, 2008; Rider, 2013). Instead, magic represented a dynamic set of practices and beliefs that interacted with official religious rituals, emerging scientific ideas, and community needs—often with blurred boundaries among magic, religion, and science (Bailey, 2007; Aquinas, 1269). The purpose of this study has been to dispel persistent myths and misconceptions about medieval magic, clarifying its true place and meaning in the historical setting (Broedel, 2003; Canon Episcopi, 900). Recent scholarship has argued against the idea that magic was always in opposition to the Church or universally persecuted, instead showing that authorities tolerated and regulated magical practices depending on context (Rider, 2013; Bailey, 2008). For example, healing charms, protective amulets, and rituals to ensure good fortune were usually treated as minor sins or even incorporated into Christian practice (Bald’s Leechbook, n.d.; Meaney, 1981; Petrie, 2023). Only magic associated with harm, maleficium, or supposed pacts with the devil was actively prosecuted, as reflected in ecclesiastical records and theological treatises (Kramer & Sprenger, 1486; Aquinas, 1269). Over time, particularly from the thirteenth century onward, the Church developed an increasingly systematic approach to punishing harmful magic, though local attitudes and enforcement varied widely (Rider, 2013; Broedel, 2003). Importantly, this research provides evidence that the stereotype of the witch as an evil woman in league with the devil is not characteristic of the early and high medieval periods. This image emerges much later, during the witch hunts of the fifteenth and sixteenth centuries, shaped by changes in law and theology (Broedel, 2003; Zabel, n.d.; Würzburg Witch Trials, 2026).

Earlier accusations of magic focused on individual acts of harm or local disputes rather than on participation in organized witchcraft (Saunders, n.d.; Rexing, 2025). These findings challenge popular misconceptions and media depictions that conflate different historical periods and practices, emphasizing the need for careful contextual analysis (Bailey, 2008; Kivelson, n.d.). The consequences of these findings are significant for readers and scholars. Understanding the true nature of magic in medieval society encourages a more nuanced view of the past and corrects stereotypes about superstition and belief. This approach highlights how societies managed uncertainty, addressed illness, and navigated the boundaries between the ordinary and the supernatural (Petrie, 2023; Æcerbot, n.d.). It also underscores the importance of context in interpreting historical sources, reminding us that cultural practices cannot be understood outside their social, legal, and religious environments. This study's conclusions are directly tied to its original aims—to uncover the realities behind myths about medieval magic—by providing a balanced account supported by documentary evidence and recent scholarship. The methodology, grounded in primary sources like legal codes, religious texts, and trial records (Canon Episcopi, 900; Bald's Leechbook, n.d.), as well as secondary literature, strengthens the argument that medieval magic is best understood as a set of negotiated practices, not a monolithic or universally persecuted phenomenon (Kieckhefer, 1989; Bailey, 2007). The study acknowledges its limitations—such as reliance on documentary analysis, focus on Western Europe, and potential biases in sources—but addresses them through transparent selection criteria and critical analysis. Despite these limitations, the research makes important contributions: it documents the diversity and everyday integration of magical practices, shows how magic was a source of comfort and social cohesion, and confirms the significant impact of changing church attitudes and legal frameworks (Rider, 2013; Blumenthal, 2026). Ultimately, this study calls for continued, context-sensitive research into the intersections of magic, religion, science, gender, and social structure in medieval societies. By appreciating the real place of magic in the Middle Ages, informed by both historical documentation and recent scholarship, readers gain a fuller understanding of how people in the past made sense of their world and coped with its ambiguities—a perspective essential for interpreting the history of belief, power, and human creativity.



## References:

- (n.d.). *Bald's Leechbook*. British Library. [https://en.wikipedia.org/wiki/Bald%27s\\_Leechbook](https://en.wikipedia.org/wiki/Bald%27s_Leechbook)
- (2022). *An Herb for Speaking to The Dead: The Liturgical and Magical Life of Hyssop in The Latin Middle Ages*. Church History. <https://doi.org/10.1017/S0009640721000010>
- Meaney, A. (1981). *Anglo-Saxon Amulets and Curing Stones*. British Archaeological Reports. [https://en.wikipedia.org/wiki/Anglo-Saxon\\_Amulets\\_and\\_Curing\\_Stones](https://en.wikipedia.org/wiki/Anglo-Saxon_Amulets_and_Curing_Stones)
- Aquinas, T. (1269). *De iudiciis astrorum*. [https://en.wikipedia.org/wiki/De\\_iudiciis\\_astrorum\\_%28Aquinas%29](https://en.wikipedia.org/wiki/De_iudiciis_astrorum_%28Aquinas%29)
- Rider, C. (2013). *Magic and Religion in Medieval England*. Reaktion Books. <https://academic.oup.com/ahr/article/119/3/964/13856>
- (n.d.). *Æcerbot*. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Æcerbot>
- (900) *Canon Episcopi*. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Canon\\_Episcopi](https://en.wikipedia.org/wiki/Canon_Episcopi)
- Bailey, M. D. (2008). *Concern over Superstition in Late Medieval Europe*. Past & Present 199(3). <https://doi.org/10.1093/pastj/gtm062>
- Petrie, W. M. (2023). *Amulets*. Oxbow Books. <https://www.jstor.org/stable/jj.1011766>
- Rexing, K. M. (2025). *Pagan Ritual, Witchcraft, and Heresy: Transformation from the Early to High Middle Ages: ca. 500-ca. 1300 A.D.* Historical Journal of Research in Education and Development 20(2), pp. 1–15. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36535.23206>
- Broedel, H. P. (2003). *The Malleus Maleficarum and the construction of witchcraft*. Manchester University Press. <https://academic.oup.com/manchester-scholarship-online/book/21398>
- (February 27, 2026). *Würzburg Witch Trials*. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/W%C3%BCrzburg\\_witch\\_trials](https://en.wikipedia.org/wiki/W%C3%BCrzburg_witch_trials)
- Kivelson, V. (n.d.). *Trials, Justice, and the Logic of Torture*. <https://academic.oup.com/cornell-scholarship-online/book/20201/chapter/179240033>
- Kramer, H. & Sprenger, J. (1486). *Malleus Maleficarum*. Speyer. [https://en.wikipedia.org/wiki/Malleus\\_Maleficarum](https://en.wikipedia.org/wiki/Malleus_Maleficarum)
- Kramer, H. (1486). *Malleus Maleficarum*. Speyer. [https://en.wikipedia.org/wiki/Malleus\\_Maleficarum](https://en.wikipedia.org/wiki/Malleus_Maleficarum)
- Zabel, G. (n.d.). *Gendercide Watch: European Witch-Hunts*. Gendercide Watch. [https://faculty.umb.edu/gary\\_zabel/Courses/Phil%20281b/Philosophy%20of%20Magic/Arcana/Witchcraft%20and%20Grimoires/case\\_witchhunts.html](https://faculty.umb.edu/gary_zabel/Courses/Phil%20281b/Philosophy%20of%20Magic/Arcana/Witchcraft%20and%20Grimoires/case_witchhunts.html)
- Saunders, C. (n.d.). *The Middle Ages: Prohibitions, Folk Practices and Learned Magic*. <https://resolve.cambridge.org/core/services/aop-cambridge->

core/content/view/CF1675577346E20BA58DAAD3EE014693/9781846158056c2\_p59-

116\_CBO.pdf/middle\_ages\_prohibitions\_folk\_practices\_and\_learned\_magic.pdf

Saif, L. (2015). *The Arabic Influences on Early Modern Occult Philosophy*. Palgrave Macmillan London.

<https://link.springer.com/book/10.1057/9781137399472>

Blumenthal, U. (2026). *Gregorian Reform*. Britannica. <https://www.britannica.com/event/Gregorian-Reform>

Historiann. (2024, February 7). *Magic, witchcraft, and social control*. Historianna.

<https://historianna.substack.com/p/magic-witchcraft-and-social-control>

(2023). Periodical Literature. *The Catholic Historical Review*, 109(1), 246-253.

Padro, M. W. (2021). Cunning and Disorderly: Early Nineteenth-Century Witch Trials of Joseph Smith.

*Dialogue: A Journal of Mormon Thought*, 54(4), 35–70.

Cramer, R. N. (2025). Unveiling the Invisible Hand of Providence: Examining the Smith Family's Economic

and Spiritual Catalysts Amid Troubling Times and the Panic of 1819. *Dialogue A Journal of Mormon*

*Thought*, 58(1), 25–86.

A History of the Baptismal Order [https://www.ryanmacpherson.com/publication-list/26-research-papers/90-a-](https://www.ryanmacpherson.com/publication-list/26-research-papers/90-a-history-of-the-baptismal-order.html)

[history-of-the-baptismal-order.html](https://www.ryanmacpherson.com/publication-list/26-research-papers/90-a-history-of-the-baptismal-order.html)

## **MODERN TECHNOLOGY AND QURANIC ARCHAEOLOGY: A STUDY TOWARD FIELD APPLICATION**

**Mohammed Waheeb**

**Professor of Archaeology, Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage, and Tourism (QRFTH), The Hashemite University**

### **ABSTRACT:**

The emerging field of Quranic Archaeology is defined as the scientific study of the material remains of human activity, including buildings, inscriptions, and artefacts, that correlate with the narratives, peoples, and locations mentioned in the Holy Quran. Rather than functioning solely as a means of authenticating the text, this discipline aims to provide a profound understanding of the cultural and social contexts in which the Quran was revealed or described. The academic framework of this science is built on several foundational pillars designed to secure international scholarly recognition. This methodology balances the materiality of physical ruins against the textual nature of revelation by seeking direct correlations between precise Quranic descriptions, such as the architectural details of the Cave of Al-Raqim or the destruction of the settlements of Lot, and actual field discoveries. Furthermore, it encompasses a vast "Trans-border Quranic Geography" that extends beyond the Hijaz to include Egypt, the Levant, Iraq, Yemen, and Northern Arabia. Crucially, it incorporates a chronological dimension that utilizes Quranic indicators to refine and sometimes correct historical timelines established by classical historiography.

**KEYWORDS:** Scientific Research, Archaeology and Heritage, Quran, Historical Studies, Discoveries, Technology

## INTRODUCTION:

To transition from theory to field application, this discipline leverages advanced technological tools. This includes the development of a Regional Digital Atlas that utilizes Geographic Information Systems (GIS) to link archaeological sites across Jordan, Saudi Arabia, Egypt, and Iraq with relevant Quranic verses, a project slated for commencement in 2028 (King Abdulaziz Foundation for Research and Archives [Darah], 2024). Additionally, it employs epigraphic analysis to compare ancient scripts like Musnad, Nabataean, and Talmudic with Quranic vocabulary (Elmaz, 2011), alongside predictive Artificial Intelligence. These AI algorithms analyse Quranic descriptions of terrain and topography to identify potential, as-yet-undiscovered archaeological sites (Ben-Romdhane et al., 2023). While a distinction must be made between this field and Biblical Archaeology, a comparison often avoided due to the latter's historical entanglement with political ideologies, Quranic Archaeology distinguishes itself through its descriptive geographical accuracy and its focus on "the search for human truth" and the universal laws of succession on Earth (Badri, 2004). Unlike certain precedents in Biblical Archaeology that failed to locate specifically sought-after civilizations, Quranic Archaeology is progressing with steady, evidence-based field achievements.

The establishment of this science has been supported by several practical steps, including foundational conferences that bridge the gap between archaeologists and scholars of Quranic interpretation and linguistics (Waheeb & Firat, 2023). Notable examples include the Al-Raqim Cave workshop, the International Al-Raqim Carnival, and conferences focused on Midian and the Southern Ghor (the dwellings of Prophet Lot). Efforts are also underway to compile a Digital Quranic Archaeological Encyclopedia and a comprehensive work on Quranic Miracles, informed by archaeological findings. Central to this progress is the formation of cross-border research missions involving teams from Jordan, Saudi Arabia, Egypt, the UAE, Turkey and Palestine to study the paths of the prophets and historical trade routes, such as the Quraysh "Elaf" route and the International Incense Route (Waheeb & Khawaldeh, 2025; Firat & Waheeb, 2025). This collaborative spirit is exemplified by ongoing coordination with King Saud University in Riyadh and the active participation of Gulf countries' scholars in conferences hosted by Jordanian Universities via remote communication technologies.

This scientific study does not merely seek the past; it restores the cognitive sovereignty of Quranic verses and presents to the world a new language that unites the sanctity of revelation with the precision of material evidence"

Quranic Archaeology is an emerging field dedicated to synthesizing archaeological discoveries and fieldwork results with the verses of the Holy Quran (Waheeb & Firat, 2023; 2025). This field transcends national borders, extending across the Arab and Islamic worlds to the entire globe. It integrates "Quranic Miracles in Archaeology," where labor is not confined to documenting stones but involves "interrogating" cosmic and

Quranic signs that urge humanity to "travel through the earth" to observe the fate and remnants of past civilizations.

#### METHODOLOGICAL FOUNDATIONS:

To establish academic legitimacy, the relationship between the Quranic text and archaeological finds is formulated through:

- The "Historical Verification" Method: Investigating how the Quran provided precise details about lost nations (e.g., Iram of the Pillars, Thamud, Midian, and the people of Lot) that archaeology has only recently uncovered. (Firat & Waheeb, 2025)
- The Philosophy of "Remnance" (Al-Athar): Focusing on verses mandating the study of ruins as evidence of civilizational succession, such as: *"Have they not traveled through the land and observed how was the end of those before them? They were greater than them in number and might and signs [left] in the land..."* (al-Dawsari, 2024).

#### Practical Application and Documentation:

- Digital Documentation as a Duty: Viewing 3D scanning and digital preservation as a response to the Divine command to preserve rights and prevent "corruption on earth" (the erasing of history).
- Technological Validation: Using technology to prove the spatial identity of peoples and tribes mentioned in the Quran. (Ben-Romdhane et al., 2023).

#### Global Connectivity (The Islamic World):

- Cross-Border Comparative Studies: Linking documentation efforts across countries (e.g., Azerbaijan, Islamic sites in Andalusia, Palestine, and Central Asia) to create a "Global Islamic Manifesto for Endangered Heritage."
- Technical Cooperation: Proposing a unified Islamic network utilizing Artificial Intelligence to link Quranic verses with discovered archaeological sites.

#### PROPOSED RESEARCH STRUCTURE:

##### 1. Quranic Dimensions in Heritage Documentation: A Study in the Philosophy of Remnance and Survival

**Section I:** Quranic verses advocating for the preservation of antiquities as historical lessons.

**Section II:** "Archaeological Miracles" as a tool to prove the civilizational identity of displaced peoples (Ben-Romdhane et al., 2023).

**Section III:** Toward a unified Islamic vision for cross-border digital documentation.

## Technological Tools Serving Archaeological Miracles

- **Augmented Reality (AR):** When pointing a device at a ruin, AR displays Quranic verses explaining the divine laws (Sunan) governing nations or describing architectural styles (e.g., "carving houses into mountains").
- **Big Data Analysis:** Correlating Quranic spatial descriptions with modern digital discoveries to validate descriptive miracles.

## 2 .The Knowledge System of Quranic Archaeology

### Definition and Essence

It is the science that studies the material remains of human activity (civil, religious, military, and agricultural structures, inscriptions, tools) associated with the stories, events, and peoples mentioned in the Quran (Nadvi, 1985; Insoll, 2001). Its goal is not only to verify the text but to understand the civilizational and social context of the revelation.

### Core Methodological Pillars

- **Materiality vs. Revelation:** Matching physical descriptions (e.g., the overturning of Lot's cities, the architecture of the Cave of the Ashab al-Kahf) with field discoveries (Waheeb, 2025).
- **Transnational Geography:** Extending research from Egypt (Moses/Pharaoh) to the Levant, Iraq, Yemen (Saba, Al-Ahqaf), and Northern Arabia (Madain Salih) (Waheeb, 2025).
- **Chronology:** Adjusting historical timelines based on Quranic indicators that may correct errors in classical dating (Aghaei & Marx, 2023).



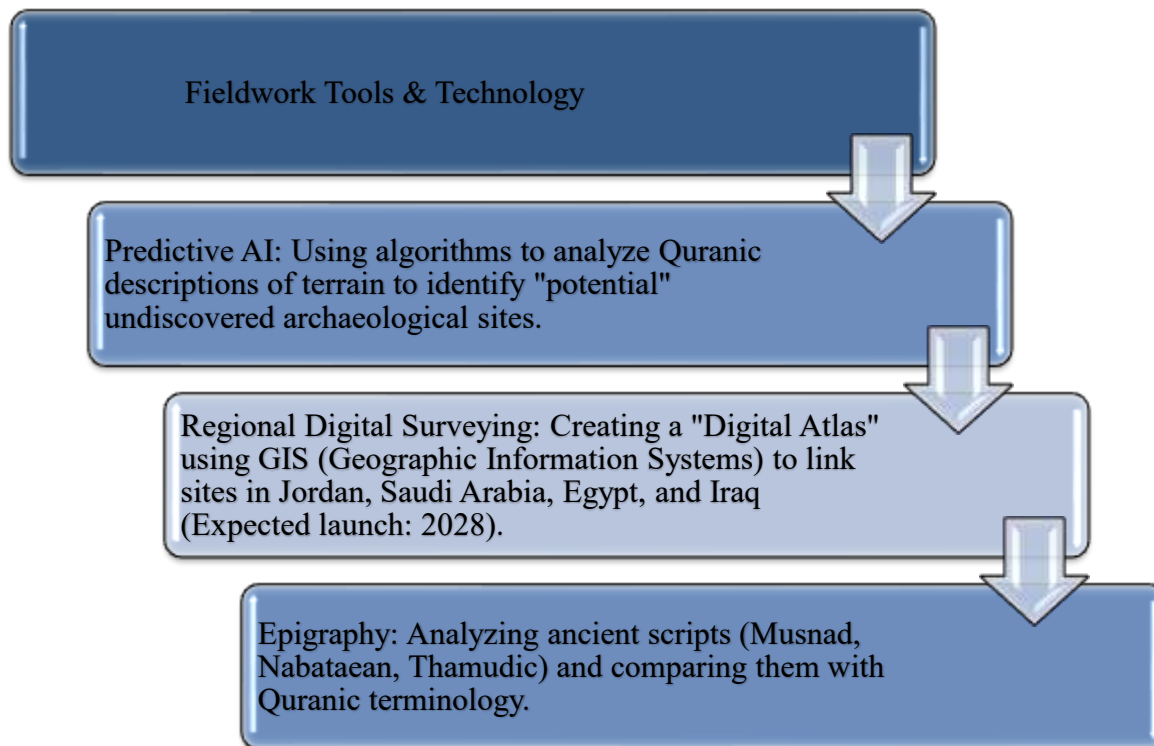


Table : 1-Fieldwork Tools & Technology to Develop Quranic Archaeology

### 3. Quranic vs. Biblical Archaeology

- **Geographical Precision:** The Quran provides topographic and climatic details that often surpass narrative descriptions, facilitating field identification (Campbell, 2002).
- **Ideological Neutrality:** Unlike some applications of Biblical archaeology, Quranic archaeology is based on the "Search for Human Truth" and the laws of succession (Istikhlaf) (Badri, 2004).
- **Success Rate:** While some Biblical archaeology has faced challenges in locating specific civilizations, Quranic archaeology is witnessing consistent success in field discoveries (Yaseen, 2011).

### 4. Foundational Milestones

- **Conferences:** Establishing workshops (e.g., Al-Raqeem Cave Workshop, Madyan/Karak Conference, Southern Ghor/Lot's People Conference) (Waheeb & Firat, 2023).
- **Quranic Archaeological Encyclopedia:** Digitally documenting all physical finds linked to Quranic texts.

**Joint Missions:** Forming multinational research teams (Jordan, KSA, Egypt, UAE, Palestine) to study the "Paths of the Prophets" and historical trade routes like the "Quraysh Eilaf Route" and the "Incense Route." (Waheeb & Khawaldeh, 2025; Firat & Waheeb, 2025).

## Current Significance

- **Scientific Response:** Providing material evidence to address historical skepticism through books, AI, and social media.
- **Cultural Tourism:** Transforming sites (e.g., Cave of the Seven Sleepers, Mu'tah and Yarmouk battlefields) into global cultural destinations with digital interpretation.
- **Identity:** Strengthening ties between Islamic nations through shared spatial heritage (Shah & Abdel Haleem, 2020).

## 5 .Systematic Framework (Phases)

### Philosophy and Grounding

- Defining Quranic Archaeology and distinguishing it from traditional "Scientific Miracles."
- **Epistemology:** Treating the Quran as a "Historical Document" and "Geographical Source." (Nadvi, 1985).

### Methodology and Technical Tools

- **Quranic Anthropology:** Studying social patterns (diet, trade, lifestyle) of mentioned communities.
- **Archeometry:** Using Carbon-14 dating and lab analysis to align the timelines of nations like 'Ad and Thamud with geological strata. (Nadvi, 1985).

### Field Surveys of Civilizations

- **The Triangle of Divine Judgment:** Field research successfully linking the civilizations of Lot, Midian, and the People of the Wood (Al-Aykah) (Waheeb, 2025; Waheeb & Firat, 2025).
- **Evidence:** The proximity (approx. 40km) between the discovered sites of Lot and Midian in Karak, and their placement along the "Clear Highway" (Imam Mubeen) mentioned in the Quran (Waheeb & Firat, 2025).

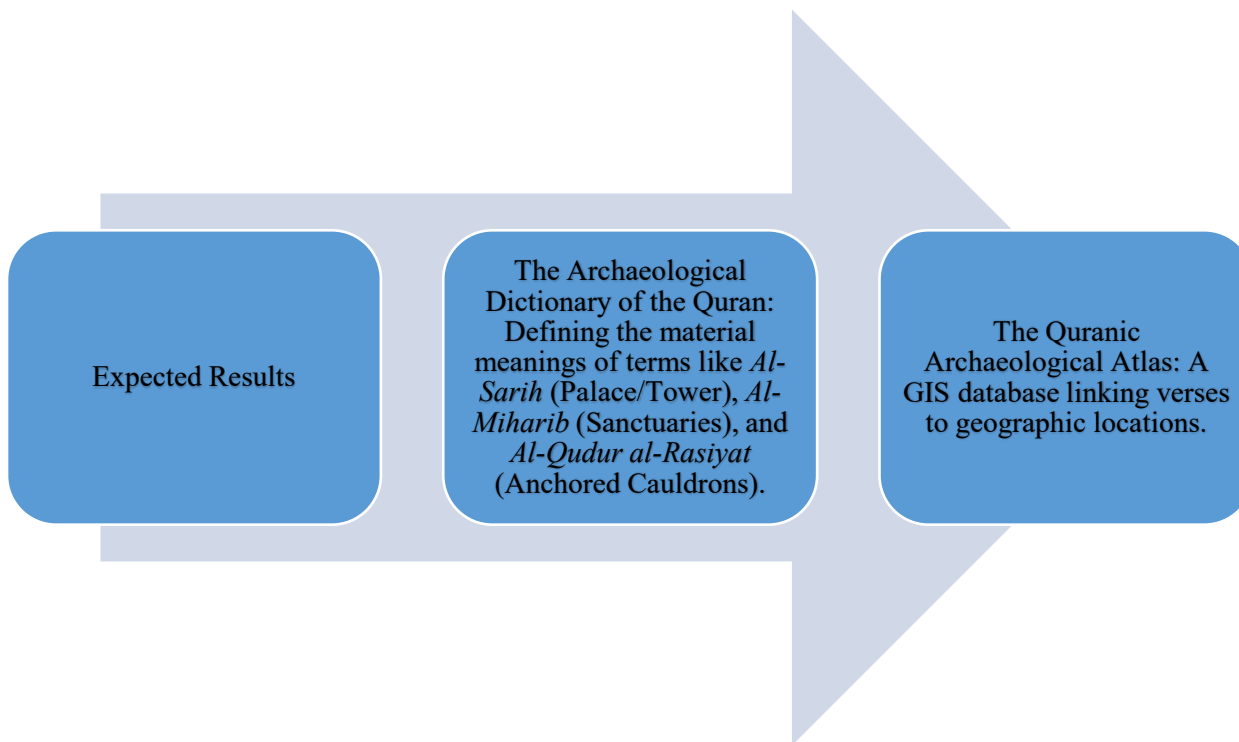
### Cross-Border Integration

- **Internationalizing Research:** Coordinating with Saudi Arabia, Egypt, and Syria to create a unified archaeological roadmap.
- **Digital Museums:** Utilizing **Virtual Reality (VR)** to reconstruct Quranic sites for a global audience.

### Future Challenges

1. **Field Challenges:** Addressing conflicts, looting of ancient graves, and urban expansion through community awareness and Sharia-based heritage protection.
2. **Academic Chairs:** Establishing "Quranic Archaeology" departments in major universities (Walker et al., 2020).

**Table 1: Showing the expected results from the new methodology of Qur’anic Archaeology.**



## Conclusion

In concluding this study, we have completed a rigorous scientific journey that began with an ambitious vision and culminated in laying the foundational stones for a new and authentic branch of human knowledge: "Quranic Archaeology." This study has proven that modern technology is not merely a set of tools for monitoring and observation; rather, it serves as a bridge that reconnects the Sacred Text with tangible physical reality, unveiling the evidence and truths that time has long obscured (Ben-Romdhane et al., 2023; Firat & Waheeb, 2025).

The synthesis of robust technical methodology and precise Quranic indicators has yielded a transnational archaeological vision. This vision transcends narrow geopolitical boundaries to address human history in its entirety. This study was never intended as mere academic theorization; it has been crowned by significant field discoveries, most notably the identification of the lands of the People of Lot in the Southern Ghor and the civilization of Midian in Karak, among others (Waheeb, 2025; Waheeb & Khawaldeh, 2025).

These discoveries serve as the true "birth certificate" of this new discipline. They stand as radiant proof that "traveling through the earth" is a scientific and civilizational mandate one that opens infinite horizons for understanding our past and shaping our future.

The Added Value of This Branch: Why is it vital for the Arab and Islamic Worlds?

Transitioning from Defence to Scientific Initiative: Instead of merely reacting to historical scepticism or defending the text, this science takes the lead. It proactively presents physical, material discoveries that provide empirical support for the Quranic narrative.

Transcending Political Borders: Since the nations mentioned in the Quran such as 'Ad, Thamud, and Midian migrated and lived across regions that span modern-day Saudi Arabia, Jordan, Yemen, Egypt, and Iraq, this field necessitates a unique form of regional scientific cooperation that bypasses contemporary political boundaries.

Reviving the Scientific Spirit: It re-establishes the connection between the Muslim mind and the empirical method ("*Travelling through the earth and observing*"). This approach is at the very core of the Quranic call to seek knowledge through observation and evidence.

These objectives transform "Quranic Archaeology" from a mere field of study into a comprehensive civilizational project.

## References

- Aghaei, A., & Marx, M. J. (2023). Carbon dating of seven parchment Qur'ān manuscripts and one Syriac Bible of the National Museum of Iran. *HAL Science*. <https://hal.science/hal-04167639>
- al-Dawsari, A. (2024). *Ṣafwat al-āthār wa al-mafāhīm min tafsīr al-Qur'ān al-'aẓīm* [The essence of آثار and concepts from the interpretation of the Great Quran]. Dar Ibn al-Jawzi.
- Badri, S. S. (2004). 'Ilm āthār al-Qur'ān al-karīm [Qur'anic archaeology]. *Āfāq al-Ḥaḍārah al-Islāmīyah*, (13).
- Ben-Romdhane, H., Francis, D., Cherif, C., Pavlopoulos, K., Ghedira, H., & Griffiths, S. (2023). Detecting and predicting archaeological sites using remote sensing and machine learning—Application to the Saruq Al-Hadid site, Dubai, UAE. *Geosciences*, \*13\*(6), 178. <https://doi.org/10.3390/geosciences13060178>
- Campbell, W. (2002). *The Quran and the Bible in the light of history and archaeology*. (Publisher unknown).
- Elmaz, O. (2011). *Kḥuṣḥub musannadah* (Qur'ān 63.4) and Epigraphic South Arabian ms<sup>3</sup>nd. *Proceedings of the Seminar for Arabian Studies*, \*41\*, 83–95.
- Firat, A., & Waheeb, M. (2025). Discovery of ancient road routes in the Southern Levant in light of Quranic narratives, Jordan as a case study. In *II. International Shirvanshahlar Scientific Research and Innovation Congress*. Azerbaijan. <https://www.wosconkongreleri.com/wp-content/uploads/SIRVANS AHLAR2.pdf>
- Insoll, T. (2001). Archaeology and the Qur'an. In J. D. McAuliffe (Ed.), *Encyclopedia of the Qur'an* (Vol. 1, pp. 137–140). Brill.
- Iqbal, R. (2017). A new theory on Aṣḥāb al-kahf ("The Sleepers of the Cave") based on evidence from the Dead Sea Scrolls. *Al-Bayan: Journal of Qur'an and Hadith Studies*, \*15\*(1), 1–35.

- King Abdulaziz Foundation for Research and Archives (Darah). (2024). *Project to map Prophet Muhammad's steps using GIS and satellite imagery* [Unpublished project description].
- Nadvi, S. M. (1985). *A geographical history of the Qur'an*. (Publisher unknown).
- Shah, M., & Abdel Haleem, M. (Eds.). (2020). *The Oxford handbook of Qur'anic studies*. Oxford University Press.
- Waheeb, M. (2025). Al-Kharrar Valley – The holiest and lowest place on Earth at the site of Christ's baptism – Jordan – Southern Levant. In *11th International Symposium on Current Developments in Science, Technology and Social Sciences*. Ankara, Türkiye. <https://en.biltek.org/>
- Waheeb, M., & Firat, A. (2023). Scientific procedures between archaeological remains and Qur'an in Southern Levant. In *ASES Fırat International Scientific Research Conference*. Elazığ, Türkiye.
- Waheeb, M., & Firat, A. (2025). Re-examining theories indicating the discovery of the civilisations of 'Ād and Thamūd in Southern Jordan – Southern Levant. In *International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies - X*. Kyrenia, Cyprus. [https://www.iksadkongre.com/\\_files/ugd/614b1f\\_716397e994234d14b10006a6ef84c405.pdf](https://www.iksadkongre.com/_files/ugd/614b1f_716397e994234d14b10006a6ef84c405.pdf)
- Waheeb, M., & Khawaldeh, A. (2025, July 12–13). *Balama on the regional Elaf Qureshi route – The historical narrative* [Paper presentation]. 7. BİLSEL International Truva Scientific Researches and Innovation Congress. <https://bilselkongreleri.com/kongreler/vii-bilisel-uluslararası-truva-bilimsel-arastirmalar-ve-inovasyon-kongresi/>
- Walker, B., Insoll, T., & Fenwick, C. (2020). *The Oxford handbook of Islamic archaeology*. Oxford University Press.
- Yaseen, G. T. (2011). Qur'an and archaeological discoveries: Evidence from the Near East. In *International Conference on Islamic Heritage*. (Publisher unknown).

## ARİSTOTELİN “POETİKA” ƏSƏRİ VƏ KLASSİK POETİKA NƏZƏRİYYƏSİNİN FORMALAŞMASI

Aynur Bədəlova

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin müəllimi

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-9288-6218>

[badalovaaynurrr@gmail.com](mailto:badalovaaynurrr@gmail.com)

### Xülasə

Antik dövr estetik fikrinin ən mühüm nəzəri mətnlərindən biri olan “Poetika” bədii yaradıcılığın mahiyyətini sistemli şəkildə izah edən ilk elmi əsərlərdən hesab edilir. Əsərin müəllifi Aristotel poeziyanın və dram sənətinin quruluş prinsiplərini, xüsusilə də faciə janrının poetikasını təhlil etmiş, bədii əsərin tərkib hissələrini nəzəri şəkildə əsaslandırmışdır. Məqalədə “Poetika” əsərinin poetika nəzəriyyəsinin formalaşmasındakı rolu araşdırılır. Aristotel poeziyanın mahiyyətini mimesis anlayışı əsasında izah etmiş, xüsusilə faciə janrının quruluş xüsusiyyətlərini və süjetin kompozisiya prinsiplərini müəyyənləşdirmişdir. Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunur ki, Aristotelin poetika konsepsiyası dünya ədəbiyyat nəzəriyyəsinin inkişafına güclü təsir göstərmiş və sonrakı dövrlərin nəzəri fikrinin formalaşmasına mühüm töhfə vermişdir.

**Açar sözlər:** Aristotel, Poetika, təqlid sənəti, katarsis, faciə.

### Abstract

One of the most important theoretical texts of the aesthetic thought of antiquity, “Poetics” is considered one of the first scientific works that systematically explained the essence of artistic creativity. The author of the work, Aristotle, analyzed the principles of the structure of poetry and drama, especially the poetics of the tragedy genre, and theoretically substantiated the components of the artistic work. The article examines the role of the work “Poetics” in the formation of the theory of poetics. Aristotle explained the essence of poetry based on the concept of mimesis, especially determined the structural features of the tragedy genre and the compositional principles of the plot. As a result of the research, it is determined that Aristotle’s concept of poetics had a strong influence on the development of world literary theory and made a significant contribution to the formation of theoretical thought of subsequent periods.

**Keywords:** Aristotle, Poetics, art of imitation, catharsis, tragedy.



## Giriş

Antik dövrün ədəbi fikrinin formalaşmasında mühüm rol oynamış nəzəri əsərlərdən biri “Poetika” hesab olunur. Bu əsər Aristotel tərəfindən yazılmış və bədii yaradıcılığın mahiyyətini, poeziyanın və dram sənətinin əsas prinsiplərini sistemli şəkildə izah edən ilk elmi- nəzəri əsərlərdən biri kimi qəbul edilmişdir. Antik Yunan fəlsəfi düşüncəsində estetik və sənət haqqında fikir yürütmüş filosoflar olsa da, bədii yaradıcılığı ayrıca nəzəri sistem kimi izah edən ən ardıcıl və elmi yanaşma məhz Aristotela məxsusdur. Onun “Poetika” əsəri poeziya haqqında mülahizələr toplusu, ədəbiyyatın quruluş prinsiplərini və estetik funksiyasını müəyyənləşdirən fundamental nəzəri əsər kimi qiymətləndirilir.

Aristotel bədii yaradıcılığın mahiyyətini izah edərkən poeziyanın insan təbiəti ilə bağlılığını xüsusi vurğulayır. Filosofun fikrincə, insan təbiətində mövcud olan əsas xüsusiyyətlərdən biri təqlid meylidir və məhz bu xüsusiyyət poeziyanın meydana gəlməsinin əsas səbəblərindən biridir. Aristotel bu prosesini mimesis termini ilə ifadə edir və göstərir ki, bədii yaradıcılıq gerçəkliyin bədii şəkildə yenidən qurulmasıdır. Bu mənada poeziya həyat hadisələrinin təsviri, onların ümumiləşdirilmiş və nəzəri cəhətdən işlənmiş formasıdır. Filosof tarix və poeziya arasında fərq qoyaraq qeyd edir ki, tarix baş vermiş hadisələri təsvir edir, poeziya isə baş verə biləcək hadisələri göstərir. R Yusifoğlu qeyd edir: *“Aristotelin bədii inikasla bağlı mülahizələri də maraq doğurur. O, şairlərdən rəssam və digər sənətkarlar kimi təqlid zamanı şeyləri ya olmuş və olan kimi, ya onlar haqqında düşünülməmiş və danışılan kimi, ya da olması lazım gələn şəkildə əks etdirməyi tələb edirdi. Bunun üçün adi danışiq dili ilə yanaşı bədii təsvir vasitələrindən, təşbeh və metaforalardan, dilin digər poetik imkanlarından sərbəst şəkildə istifadəni məqbul sayırdı.”* [3.] Bu baxımdan poeziya daha ümumiləşdirilmiş və ədəbi xarakter daşıyır, çünki o, hadisələrin arxasında duran ümumi qanunauyğunluqları bədii obrazlar vasitəsilə ifadə edir.

“Poetika” əsərində Aristotel poeziyanın müxtəlif növlərini və onların xüsusiyyətlərini də təhlil etmişdir. O, xüsusilə dram sənətinə və faciə janrına geniş yer ayıraraq bu janrın nəzəri və estetik xüsusiyyətlərini, quruluşunu araşdırır. Aristotela görə, faciə müəyyən ölçülü və tamamlanmış bir hərəkətin bədii təsviridir və onun əsas məqsədi tamaşaçıda müəyyən emosional təsir yaratmaqdır. Filosofun fikrincə, faciə tamaşaçıda qorxu və mərhəmət hissləri oyadaraq katarsis, yəni mənəvi təmizlənmə effekti yaradır. Katarsis anlayışı Aristotelin nəzəriyyəsində xüsusi yer tutur və bu anlayış vasitəsilə o, sənətin insanın emosional və mənəvi dünyasına təsirini izah etməyə çalışır. Düzgün qeyd edilir ki: *“Aristotela görə sənətin əsas özəlliyi obyektivlik olmalıdır. Sənətdə orijinallıq ancaq universal şəkildə mövcud olan formanı, fikri tutmaq və onu ifadə etməkdir. Sənətçi hamılıqla bilinən bir həqiqəti sənət vasitəsilə ifadə edən kəsidir.”* [4.]

Aristotel faciənin ümumi quruluşunu təhlil edərkən bədii əsərin müəyyən hissələrdən ibarət olduğunu göstərir. Onun fikrincə, hər bir faciədə süjet, xarakter, fikir, dil, musiqi və tamaşa kimi əsas komponentlər mövcuddur. Bu elementlər arasında ən mühümü süjet (fabula) hesab edilir. Aristotela görə, faciənin əsas təsir gücü

hadisələrin düzgün quruluşundan və onların məntiqi ardıcılığından asılıdır. Süjet səbəb-nəticə əlaqəsinə əsaslanan vahid struktur təşkil etməlidir. Hadisələr bir-biri ilə daxili məntiq vasitəsilə bağlı olmalı və dramatik inkişaf müəyyən mərhələlər üzrə baş verməlidir. Bu baxımdan Aristotel bədii əsərin quruluşunda başlanğıc, inkişaf və nəticə mərhələlərinin mövcudluğunu vacib hesab edir.

Filosof dramatik süjetin inkişafında bəzi xüsusi məqamların da mühüm rol oynadığını qeyd edir. Onun fikrincə, hadisələrin gözlənilməz dönüşü və qəhrəmanın həqiqəti dərk etməsi kimi tərkib hissələr faciənin dramatik təsirini gücləndirir. Bu elementlər süjetin gərginliyini artırır və tamaşaçıda emosional reaksiyanın yaranmasına səbəb olur. Aristotel bu cür quruluş prinsipləri izah etməklə dramaturgiyanın kompozisiya qanunauyğunluqlarını müəyyənləşdirməyə çalışmışdır.

Aristotelin poetika nəzəriyyəsi yalnız antik dövrdə öyrənilməmiş, sonrakı əsrlərin ədəbi-estetik fikri üçün də böyük əhəmiyyət kəsb etmişdir. Orta əsrlərdən başlayaraq Avropa ədəbiyyatşünaslığında Aristotel ideyalarına müraciət geniş yayılmış və xüsusilə klassisizm dövründə onun nəzəriyyələri dramaturgiyanın əsas prinsiplərindən biri kimi qəbul edilmişdir. Bir çox dramaturqlar əsərlərinin quruluşunu Aristotelin müəyyən etdiyi süjet prinsiplərinə uyğun şəkildə formalaşdırmağa çalışmış, faciə janrının struktur xüsusiyyətlərini onun nəzəriyyəsi əsasında izah etmişlər.

Eyni zamanda müasir ədəbiyyat nəzəriyyəsində də Aristotelin poetika konsepsiyası aktual olaraq qalır. Bədii əsərin strukturunun təhlili, süjetin daxili məntiqi, dramatik konflikt və bədii ümumiləşdirmə kimi anlayışlar bu gün də ədəbi tədqiqatlarda geniş istifadə olunur. Bu fakt Aristotelin nəzəri düşüncəsinin zamanla öz aktuallığını itirmədiyini, əksinə, müxtəlif dövrlərdə yeni dəyərləndirmələr üçün metodoloji əsas yaratdığını göstərir.

Beləliklə, “Poetika” antik estetik fikrin ən mühüm nəzəri mətnlərindən biri olmaqla yanaşı, dünya ədəbiyyat nəzəriyyəsinin formalaşmasında da fundamental rol oynamışdır. Aristotel bədii yaradıcılığın mahiyyətini və quruluş prinsiplərini sistemli şəkildə izah edərək ədəbiyyatşünaslıq elminin inkişafına mühüm töhfə vermişdir. Onun poetika konsepsiyası sənətin insan düşüncəsinin və idrakının mühüm ifadə formalarından biri olduğunu göstərir. Bu səbəbdən Aristotelin “Poetika” əsəri ədəbiyyat nəzəriyyəsinin klassik mənbələrindən biri kimi bu gün də elmi tədqiqatlarda və ədəbiyyat nəzəriyyəsinin öyrənilməsində öz əhəmiyyətini qoruyub saxlayır.

### **Ədəbiyyat**

1. Aristotel. (2006). Poetika. Bakı: Şərq-Qərb. 120 səh.
2. Mustafayev, R. (2020). Orta əsrlər müsəlman Şərqində Əbu Nəsr Əl-Fərabinin Aristotel “Poetika”sına münasibəti. Fəlsəfə və Sosiologiya İnstitutu Elmi Əsərlər, (1/34), 65–74.
3. Yusifoğlu, R. (2016). POETİKA haqda düşüncələr. Manera.az.  
<https://manera.az/index.php?newsid=2547>
4. Rüstəmov, Q. (2013, 13 aprel). Sənət insanı necə təmizləyir? Kulis.az. <https://kulis.az/xeber/edebi-tenqid/xeber-4647>

## İBTİDAİ SİNİF ŞAĞIRDLƏRİNİN NİTQ BACARIQLARININ İNKİŞAFINDA FOLKLOR NÜMUNƏLƏRİNDƏN İSTİFADƏNİN ƏHƏMİYYƏTİ

Azərbaycan-Bakı, Könül Məmmədova

Orcid id: 0000-0001-8664-4912

könül.1970@mail.ru

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Filologiya fakültəsi, Azərbaycan dili və onun tədrisi  
texnologiyası kafedrası

**AÇAR SÖZLƏR:** Tapmacalar, laylalar və oxşamalar, bayatılar, yanıltmaclar, atalar sözləri.

**Tapmacalar.** İbtidai siniflərdə tapmacalar söz əyaniliyinin bariz nümunəsi kimi istifadə edilir. Tapmacalarda söz əyaniliy ilə əşyanın müxtəlif cəhətdən öyrənilməsi baş verir. Tapmacalar şagirdin şifahi nitqini, məntiqi təfəkkürünü və dərk etmə qabiliyyətini, müstəqillik və fəallığını inkişaf etdirmək üçün geniş imkanlar açır. Tapmacalar şagirdləri düşünməyə, mühakimə yürütməyə, fakt və hadisələri tutuşdurmağa təhrik edir. Tapmacalar da nağıllar, atalar sözləri kimi xalq tərəfindən yaradılır. Tapmacalar yığcam və dərin mənalı olduğu üçün çox sevilir bə tez əzbərlənir. Tapmacalarda tapılması nəzərdə tutulan əşyanın müəyyən nişanələri üstüörtülü şəkildə verilir. Tapmacalardan əyləncə vasitəsi kimi də istifadə edilir. Dərslərdə oyun-tapmacalardan istifadə edilən zaman şagirdlər tapmacaları əzbərləyir, zəhinlərini inkişaf etdirirlər. Dərslərdə “Tapın görək, bu, nədir?” didaktik oyununa da geniş yer vermək şagirdlərin marağına səbəb olur. Oyun zamanı tapmacaların cavabı şəkil və ya əşya vasitəsilə əyani şəkildə göstərilir. Şagirdlərdən biri tapmacanı deyir, o birisi isə tapmacaya aid şəkli göstərir. Yaxud müəllim tapmacanı deyir, şəkli isə şagird göstərir. Şəkil çəkmək qabiliyyəti olan şagird deyilən tapmacanın cavabının şəklini çəkə bilər. Məsələn:

Yatanda yumru yatar,  
Ətini dərməyə satar,  
Hər kim tutmaq istəsə,  
Tikanı əlinə batır. (kirpi)

Tapmacalar əsasən şeir şəklində yaradılır. Buna görə də tapmacalar çox asan əzbərlənir və uzun müddət yadda qalır. Məsələn:

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Yazda yığar yeməyini,             | Bir sürü atlar,         |
| Çox sevir öz əməyini,             | Çəməndə otlar,          |
| Qışda yeyər baharadək,            | Vaxtı gələndə,          |
| Nədir adı, tapın görək? (Qarışqa) | Dərisi çatlar. (Pambıq) |

Tapmacalarda əşyaya aid biliklər təhlil-tərkib şəkilində verilir və şagirdlər onun cavabını tapmaq üçün diqqətlə fikirləşməli olur ki, bu da onun hafizəsini, yaradıcı təfəkkürünü və daxili nitqini inkişaf etdirir. O, gördüyü əşyaları tutuşdurur, tapmacalardakı əlamətləri müqayisə edir və nəhayət əşyanı tapır.

Tapmacalarda nəzərdə tutulan əşyalar arasında oxşar cəhətlər müəyənləşdirilir, bir əşyaya aid olan əlamətlərin köməyi ilə başqa bir əşyanın tapılması nəzərdə tutulur. Məsələn, “Altı bulaq içərlər, üstü zəmi biçərlər” tapmacasında südün içilməsi bulaqla, qoyunun qırılması ilə zəminin biçilməsi ilə qarşılaşdırılmışdır.

Şagirdlər oxuduqları bədii mətnlərlə bağlı tapmacalar söyləyə bilirlər; quşlar, heyvanlar, bitkilər, meyvələr və s. haqqında tapmacalar söyləmək mümkündür ki, bu da nitq inkişafı üzrə işin səmərəliliyini təmin edir.

**Laylalar və oxşamalar.** Laylalar və oxşamalar xalqımızın qiymətli söz incilərindən olub, ilıq duyğular, səmimi hisslər oyadır, nəcib əxlaqi sifətlər tərbiyələndirir.

|                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| Layla dedim yatasan, | Dağın maralı,     |
| Gül yastığa batasan. | Gözüm qaralı,     |
| Gül yadığın içində,  | Dünyanın malı,    |
| Şirin yuxu tapasan   | Bu balama qurban. |

Uşaq yuxudan oyanandan sonra ana lay-lay deyir, körpəsini oxşayır, arzularını bildirir. Bu cür şeirlər şagirdləri fərəhləndirir, onlarda yaxşı əhvali-ruhiyyə yaradır, sevinclərini artırır, nitqlərini inkişaf etdirir, hisslərinə təsir göstərir.

**Bayatılar.** Azərbaycanın şifahi ədəbiyyatının çox yayılmış janrlarından biri də bayatılardır. Bayatılar çox dərin mənalı, fəlsəfi, əxlaqi, ictimai fikirlər ifadə edən qısa, yığcam, lirik parçalardır. Bayatılarımız böyük və tükənməz xəzinədir. Onların hər birində bir poemadakı qədər fikir və hisslər ifadə olunmuşdur. Bayatılar nəsil-nəsil insanlara ümid vermiş, onları işığa, haqqa, ədalətə səsləmiş, yurduмуza, torpağıмыza sədaqətli olmağa, insanı-insana hörmət etməyə çağırmışdır.

Azərbaycan bayatıları xalqımızın həyatı, dünyagörüşü, məişəti və mədəniyyəti ilə sıx bağlıdır. Doğma vətənə məhəbbət bu bayatıların əsas mövzularından birini təşkil edir. Xalq öz ana yurdunu, onun təbii gözəlliklərini həmişə sevmiş və poetikləşdirməyə çalışmışdır:

Əzizim, vətən yaxşı,  
Geyməyə kətan yaxşı,  
Gəzməyə qərrib ölkə,  
Ölməyə Vətən yaxşı.

Bayatılar formaca çox sadədir. Lakin əslində bu çox çətin, yüksək sənətkarlıq tələb edən bir janrdır. Bayatı həm də musiqi ilə bağlı bir janrdır. Çox zaman bayatıların mətni müxtəlif xalq mahnıları üçün mənəbə olmuşdur. “Bayatı-şiraz”, “Bayatı-kürd”, “Çoban bayatısı” və s. Azərbaycan bayatıları, qədim xalq

mahnılarından, əmək nəğmələrindən inkişaf edərək formalaşmışdır. Bayatılar tez yadda qalır və nitqi zənginləşdirir.

**Yanıltmaclar.** Şagirdlərin nitqinin inkişafına, kamilləşməsinə, söz ehtiyatının artmasına, dil vahidlərindən düzgün, məntiqi istifadə etmələrinə imkan verən folklor nümunələrindən biridir. Yanıltmacların öyrənilməsində bütün spesifik xüsusiyyətlər nəzərə alınmalı, şagirdlərin səsləri, sözləri düzgün tələffüz etməsi qayğısına qalınmalıdır. Yanıltmaclarda əsas məqsəd dildə olan çətin sözləri düzgün tələffüz etməyi bacarmaq, nitq verdişlərinə yiyələnməkdən ibarətdir. Şagirdlərə diksiyanın inkişafı və çətinlik çəkilən səslərin qarışdırılmaması üçün yanıltmacların öyrənilməsi müsbət təsir göstərir. Məsələn, şagird “s” və “ş” səslərinin aydın tələffüzünü öyrənmək üçün “Bu nə pis mis imiş, bu mis Kaşan misi imiş”, yaxud, “Aşbaz Abbas aş asmış, asmışsa da, az asmış”, “g”və“q” səslərini tələffüz etməkdə çətinlik çəkirsə, “Günəş kəndə gün ələdi, nənəm kəndə kündələdi” yanıltmaclardan faydalana bilər. Şagirdlər yanıltmaclar öyrəndikdə, ilk günlər çətinlik şəkirlər, sözləri bir-birinə qarışdırırlar, lakin müntəzəm iş aparıldıqda onlar yanıltmacı tez-tez deməyə alışırlar.

**Atalar sözləri.** Azərbaycan şifahi xalq ədəbiyyatının spesifik janrlarından biri atalar sözləridir. Atalar sözləri xalq tərəfindən yaradılan bitkin ifadələrdir. Atalar sözləri folklorun formaca kiçik, məzmunca dərin janrıdır. Az sözlə dərin mənalara ifadə etmək, xalqın həyat təcrübəsini, müşahidələrini yığcam, səlis ifadə etmək onun başlıca cəhətləridir. Kiçik formalı xalq yaradıcılığı nümunələri olan atalar sözü dilin obrazlı vasitələrinə daxildir. Fikri yığcam şəkildə ifadə edib, parlaq obrazlar yaratdığından atalar sözü ədəbi dilə canlılıq verməyə kömək edir. Əsrlərdən bəri insan həyatının müxtəlif sahələrinə aid atalar sözləri yaranmışdır. “Özünü böyük göstərmək kiçilmək deməkdir”, “Ağır otur, batman gəl”, “Birisi od olanda, o birisi su olmalıdır”, “Əmək xoşbəxtliyin açarıdır”, “Əmək həyatın ziynətidir”, “İş insanın cövhəridir” və s. Atalar sözü mövzuca çox zəngindir: “Tək əldən səs çıxmaz”, “El gücü, sel gücü”, “El bir olsa dağ oynadar yerindən”, “Hər kəsə öz vətəni şirindir”, “Vətən viran olsa da cənnətdir” və s.

Şagirdlərin şifahi nitqinin inkişaf etməsində atalar sözlərinin imkanları genişdir. Atalar sözü şagirdləri ayrı-ayrı hadisələrin xüsusiyyətləri ilə tanış edir, biliklərini daha da dərinləşdirir, hissini, təxəyülünü, təsəvvürünü inkişaf etdirir, söz ehtiyatını zənginləşdirir, az sözlə dərin fikir söyləməyi öyrədir, nitqə bütöv şəkildə daxil olur və nitqi zənginləşdirir.

## **SYMBOLIC INTERACTIONISM**

**Gunel Shefiyeva Elkhan**

**English language teacher of Foreign Languages Center of ASPU**

**Orcid id: 0000-0001-5105-2749**

**agakishiyeva.g@mail.ru**

**Key words:** Social interaction, meaning, self, symbols.

Symbolic interactionism emerged in the early twentieth century as a response to macro-level theories that focused on large social structures. Instead, it directs attention to micro-level interactions, exploring how individuals construct meaning in everyday life. Rooted in the ideas of George Herbert Mead, this perspective highlights the importance of communication and shared symbols in forming the self and society.

According to symbolic interactionism, people act based on the meanings that things have for them. These meanings are not inherent but are developed through interaction.

Language provides the symbols through which meaning is communicated. It allows individuals to negotiate and share interpretations of reality.

Thought refers to the internal conversation individuals have when interpreting symbols and deciding how to act. This process enables individuals to modify their behaviour based on social context.

Mead argued that the self develops through social interaction. Individuals learn to see themselves from the perspective of others, a process known as role-taking. This leads to the formation of the “social self,” which is shaped by societal expectations and interactions.

Symbolic interactionism typically employs qualitative research methods, such as:

- Participant observation
- In-depth interviews
- Case studies

These methods allow researchers to gain insight into subjective experiences and social meanings. This approach contrasts with positivist methods that prioritize quantitative data.

Symbolic interactionism has been widely applied in studies of:

- Identity formation
- Social roles
- Communication
- Deviance and labelling

For example, the work of Erving Goffman, particularly *The Presentation of Self in Everyday Life*, reflects symbolic interactionist ideas by analyzing how individuals manage impressions in social settings



Despite its contributions, symbolic interactionism has been criticized for:

- Focusing too narrowly on small-scale interactions
- Neglecting larger social structures such as power and inequality
- Lacking generalizability due to its qualitative nature

Symbolic interactionism remains a vital framework in sociology for understanding how individuals construct social reality through interaction. By emphasizing meaning, language, and the self, it provides deep insight into human behaviour and social processes. Although it has limitations, its focus on everyday interactions continues to influence contemporary social research.

## GAYRİRESMÎ EĞİTİM ORTAMI OLARAK AİLE PROJELERİNİN GİRİŞİMCİLİK ZİHNİYETİNE ETKİSİ

Natevan Paşayeva  
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti  
ORCID: 0009-0001-4269-7681

### ÖZET

Araştırma kapsamında aile içinde organize edilen proje temelli faaliyetler – küçük işletme girişimleri, aile bütçesinin planlanması, ev ortamında üretim ve satış faaliyetleri, yaratıcılık ve inovasyon odaklı projeler – örnek olarak ele alınmıştır. Bu faaliyetler aracılığıyla bireylerde sorumluluk duygusu, hedef belirleme ve planlama becerileri, etkili karar verme, finansal okuryazarlık, risklerin değerlendirilmesi ve yönetilmesi ile birlikte yaratıcı ve eleştirel düşünme gibi önemli girişimcilik yetkinliklerinin geliştiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, aile üyeleri arasındaki iş birliği ve karşılıklı destek ortamı bireylerin sosyal ve iletişim becerilerinin gelişimine de olumlu katkı sağlamaktadır.

Araştırmanın sonuçları göstermektedir ki, aile projeleri çerçevesinde gerçekleştirilen deneyim temelli öğrenme modeli, bireylerin yalnızca teorik bilgilerini değil, aynı zamanda pratik becerilerini de geliştirmektedir. Bu süreçte “yaparak öğrenme” (learning by doing) yaklaşımı temel rol oynamakta ve bireylerin kendi potansiyellerini gerçekleştirmelerine olanak tanımaktadır. Aile içinde başarı ve başarısızlık deneyimlerinin paylaşılması ise çocuklarda özgüvenin gelişmesine, girişimcilik ruhunun ve bağımsız düşünme becerisinin güçlenmesine katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte, araştırmada aile projelerinin uygulanması sırasında karşılaşılabilecek zorluklara da değinilmiştir. Ailelerin pedagojik bilgi düzeyinin sınırlı olması, zaman ve kaynak yetersizliği, ayrıca geleneksel eğitim yaklaşımlarının baskın olması bu sürecin etkinliğini belirli ölçüde etkileyebilir. Bu bağlamda, ailelerin bilinçlendirilmesi, metodik destek sağlanması ve okullarla iş birliğinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, aile projeleri gayriresmî eğitim ortamı olarak girişimcilik zihniyetinin erken yaşlardan itibaren geliştirilmesi için yenilikçi ve etkili bir pedagojik araç olarak değerlendirilebilir. Bu yaklaşımın formal eğitim sistemiyle entegre edilmesi, aile-okul iş birliğinin sistemli bir şekilde kurulması ve devlet düzeyinde desteklenmesi, girişimcilik odaklı, yenilikçi ve yaratıcı bir toplumun oluşmasına önemli katkılar sağlayabilir.

**Anahtar kelimeler:** aile projeleri, gayriresmî eğitim, girişimcilik zihniyeti, girişimcilik becerileri, proje tabanlı öğrenme, aile ortamı, yenilikçi düşünme, deneyim temelli öğrenme.

## THE IMPACT OF FAMILY PROJECTS AS A NON-FORMAL EDUCATION ENVIRONMENT ON ENTREPRENEURIAL MINDSET

Natavan Pashayeva  
Azerbaijan State Pedagogical University  
ORCID: 0009-0001-4269-7681

### ABSTRACT

Within the scope of the study, project-based activities organized within the family—such as small business initiatives, planning of the family budget, home-based production and sales activities, and creativity- and innovation-oriented projects—were taken as examples. Through these activities, it was determined that important entrepreneurial competencies develop in individuals, including a sense of responsibility, goal setting and planning skills, effective decision-making, financial literacy, risk assessment and management, as well as creative and critical thinking. At the same time, the environment of cooperation and mutual support among family members positively contributes to the development of individuals' social and communication skills.

The results of the study show that the experiential learning model implemented within the framework of family projects enhances not only individuals' theoretical knowledge but also their practical skills. In this process, the “learning by doing” approach plays a key role and enables individuals to realize their potential. The sharing of success and failure experiences within the family also contributes to the development of self-confidence in children and strengthens their entrepreneurial spirit and independent thinking skills.

In addition, the study addresses potential challenges that may arise during the implementation of family projects. The limited level of pedagogical knowledge among families, lack of time and resources, and the dominance of traditional educational approaches may affect the effectiveness of this process to some extent. In this regard, raising awareness among families, providing methodological support, and strengthening cooperation with schools are of great importance.

In conclusion, family projects, as a non-formal learning environment, can be considered an innovative and effective pedagogical tool for fostering an entrepreneurial mindset from an early age. The integration of this approach into the formal education system, the systematic establishment of family-school cooperation, and support at the state level can make a significant contribution to the formation of an entrepreneurial, innovative, and creative society.

**Keywords:** family projects, non-formal education, entrepreneurial mindset, entrepreneurial skills, project-based learning, family environment, innovative thinking, experience-based learning.

# MÜASİR MƏRHƏLƏDƏ AZƏRBAYCAN DİLİNİN NİTQ MƏDƏNİYYƏTİ NORMALARI TƏDRİSİNİN BAŞLICA PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA

ARZU KƏRİMOVA

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin

baş müəllimi, doktorant

arzukarimova@ gmail.com

ORCID:0000-0002-2662-6015

## ÖZET

## AZERBAYCAN DİLİNDE KONUŞMA KÜLTÜRÜ NORMLARININ ÖĞRETİMİNİN GÜNÜMÜZ AŞAMASINDAKİ BAŞLICA PERSPEKTİFLERİ HAQQINDA

Arzu Karimova

Konuşma kültürünün araştırılması, yaygınlaştırılması, uygulanması ve modern öğretim teknolojileri temelinde öğretilmesi, ana dilinin normlarının öğrenilmesi açısından son derece büyük önem taşımaktadır. Azerbaycan dilinde konuşma kültürü üzerine yapılan araştırmaların sonuçları göstermektedir ki, bu alanda hâlâ yapılmamış birçok çalışma bulunmaktadır. Öncelikle yazılı ve sözlü dile ait normların kesinleştirilmesi, açıklığa kavuşturulması ve sistemleştirilmesi için uzmanların çabaları birleştirilmeli ve bu alanda somut hedefler belirlenmelidir. Aksi takdirde konuşma kültürünün öğretilmesiyle ilgili eğitim sürecinde ciddi zorluklar ortaya çıkabilir. Dikkate alınmalıdır ki, herhangi bir dilin itibarı onun geniş bilgi iletim imkânlarına sahip olmasıyla ölçülür. Bu imkânların kapsamlılığı ise farklı konuşma kültürü normlarına sahip dillerde mümkün olmaktadır.

Azerbaycan dili artık bağımsız bir devletin resmî dili olduğu için, onun mükemmel konuşma kültürü normlarının geliştirilmesine ve istikrara kavuşturulmasına büyük ihtiyaç vardır. Çünkü Azerbaycan gerçeklerinin uluslararası ortamda daha açık, doğru ve engelsiz bir şekilde aktarılması ancak bu dil aracılığıyla mümkündür. Başka dillere çeviri yoluyla aktarılan bilgiler, ancak kaynak dilin mükemmel normlara sahip olması hâlinde daha doğru iletilir. Azerbaycan dilinin devletin resmî dili olduğu söylendiğinde, bunun yalnızca yazılı dili kapsadığı şeklinde anlaşılmamalıdır. Dil, bilgiyi yazılı olduğu kadar sözlü şekilde de ifade eder. Bu nedenle resmî dil kavramı hem yazılı hem de sözlü dili kapsar. Bu bakımdan sözlü bilginin yaygınlaşması için sözlü dil normlarının da yazılı dil normları gibi geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bilindiği üzere sözlü dil, resmî bilgi aracı olarak resmî etkinliklerde, konferanslarda, sempozyumlarda, ayrıca radyo ve televizyon yayınlarında kullanılmaktadır. Sözlü resmî dilin en belirgin örneği ise devlet başkanının konuşma ve hitaplarında görülmektedir. Bilgiler, dilin resmîyet ortamında daha güvenilir ve daha etkili olduğu için, yazılı dil kurallarıyla birlikte sözlü dil kurallarının da genç nesle öğretilmesi günümüz açısından stratejik önem taşımaktadır.

**Anahtar kelimeler:** konuşma kültürü, yazılı anlatım, sözlü anlatım, dil normları, resmî dil.

## ON THE MAIN PERSPECTIVES OF TEACHING THE NORMS OF SPEECH CULTURE IN THE AZERBAIJANI LANGUAGE AT THE PRESENT STAGE

Arzu Karimova

### ABSTRACT

The study, promotion, application, and teaching of speech culture based on modern educational technologies are of great importance in terms of learning the norms of the native language. The results of research conducted on speech culture in the Azerbaijani language show that there is still much work to be done in this field. First of all, the efforts of specialists should be consolidated in order to clarify, define, and systematize the norms related to both written and spoken language, and specific goals should be set in this area. Otherwise, serious difficulties may arise in the teaching process related to speech culture. It should be taken into account that the prestige of any language is measured by its extensive informational capacity. The breadth of these capacities is ensured in languages that possess diverse norms of speech culture.

Since the Azerbaijani language is now the official language of an independent state, there is a great need to improve and stabilize its norms of speech culture. This is because it is possible to convey the realities of Azerbaijan more clearly, accurately, and effectively in the international arena precisely through this language. Information transmitted through translation into other languages can be conveyed more accurately only if the source language possesses well-established norms. When it is said that Azerbaijani is the official state language, it should not be understood as referring only to the written form. Language conveys information not only in written but also in spoken form. Therefore, the concept of an official language includes both written and spoken forms. For this reason, in order to ensure the widespread dissemination of spoken information, there is also a need to improve spoken language norms alongside written ones. As is known, spoken language is used as a means of official communication at formal events, conferences, symposia, as well as in radio and television broadcasting. The most prominent example of official spoken language is reflected in the speeches and addresses of the head of state. Since information conveyed in a formal linguistic environment is more authoritative and influential, teaching both written and spoken language norms to the younger generation is of particular strategic importance today.

**Keywords:** speech culture, written speech, oral speech, language norms, official language.

## MÜASİR MƏRHƏLƏDƏ AZƏRBAYCAN DİLİNİN NİTQ MƏDƏNİYYƏTİ NORMALARI TƏDRİSİNİN BAŞLICA PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA

### XÜLASƏ

Nitq mədəniyyətinin tədqiqi, təbliği, tətbiqi və müasir təlim texnologiyaları əsasında tədrisi ana dili normalarının öyrənilməsi baxımından olduqca mühüm əhəmiyyətə malikdir. Azərbaycan dilində nitq mədəniyyətinə dair aparılan tədqiqatların nəticəsi onu göstərir ki, bu sahədə hələ görülməmiş işlər çoxdur. Birinci növbədə yazılı və şifahi dilə aid normaların dəqiqləşdirilməsi, aydınlaşdırılması və sistemləşdirilməsi üçün mütəxəssislərin səyləri ümumiləşdirilməli və bu sahədə konkret hədəflər müəyyən edilməlidir. Əks halda nitq mədəniyyətinin öyrədilməsi ilə bağlı tədris prosesində qarşıya böyük çətinliklər çıxı bilər. Onu nəzərə almaq lazımdır ki, hər hansı bir dilin nüfuzu onun geniş informasiya imkanlarına malik olması ilə ölçülür. İnformasiya imkanlarının əhatəliliyi isə müxtəlif nitq mədəniyyəti normalarına malik olan dillərdə mümkün olur.

Azərbaycan dili artıq müstəqil bir dövlətin rəsmi dili olduğu üçün onun mükəmməl nitq mədəniyyəti normalarının təkmilləşdirilməsinə və sabitləşdirilməsinə çox böyük ehtiyac vardır. Çünki Azərbaycan həqiqətlərinin beynəlxalq mühitdə məhz bu dil vasitəsi ilə daha aydın, doğru, düzgün, maneəsiz çatdırılmasına nail olmaq mümkündür. Başqa dillərə tərcümə vasitəsi ilə verilən informasiyalar o zaman daha dəqiq çatdırıla bilər ki, informasiya verən dil mükəmməl normalara malik olsun. Deyəndə ki, Azərbaycan dili dövləti rəsmi dilidir, bu belə başa düşülməməlidir ki, hədəf burada təkcə yazılı dildən ibarətdir. Dil özünün informasiyalarını yazılı qaydada çatdırdığı kimi şifahi qaydada da ifadə edir. Odur ki, rəsmi dil anlayışı həm yazılı və həm də şifahi dili əhatə edir. Ona görə də şifahi informasiyaların intensiv yayılması üçün şifahi dil normalarının da yazılı dil normaları kimi təkmilləşdirilməsinə ehtiyac vardır. Məlum olduğu kimi, şifahi dil rəsmi informasiya vasitəsi kimi rəsmi tədbirlərdə, konfranslarda, simpoziumlarda, həmçinin, radio və televiziya auditoriyasında işlənir. Şifahi rəsmi dilin ən bariz nümunəsi isə ölkə başçısının nitqlərində, çıxışlarında və məruzələrində səslənir. İnformasiyalar dilin rəsmiyyəti mühitində daha mötəbər və daha nüfuzlu olduğu üçün yazılı dil qaydaları ilə yanaşı şifahi dil qaydalarının gənc nəsllə öyrədilməsi dövr üçün xüsusi strateji əhəmiyyətə malikdir.

**Açar sözlər:** nitq mədəniyyəti, yazılı nitq, şifahi nitq, dil normaları, rəsmi dil.



**GİRİŞ.** Nitq mədəniyyəti müasir Azərbaycan dilçiliyinin ən aparıcı problemlərindən biridir. Xüsusilə, müstəqillik dövründə nitq mədəniyyətinin tədqiqi, tətbiqi və tədrisi sadəcə təlim əhəmiyyətli məsələ olmayıb həm də informasiya yayımı ilə əlaqədar strateji xarakterli bir sahəyə çevrilmişdir. Nitq mədəniyyətinin strateji əhəmiyyəti ondadır ki, artıq bilinqvizm dövründəki kimi informasiyalar ölkədaxili məhdudiyyətdə qalмайıb daha geniş əhatədə yayılmaq imkanları qazanmışdır. Azərbaycan Respublikası müstəqil, suveren bir dövlət olduğu kimi Azərbaycan dili də bu ölkənin rəsmi dili səviyyəsində beynəlxalq aləmə çıxmaq hüququ əldə etmişdir. Nitq mədəniyyətinə yiyələnmək isə sadəcə fonetik, leksik və qrammatik normaları mənimsəməkdən ibarət olmayıb informasiyaların doğru, dürüst, aydın, məntiqli ötürülməsinə nail olmaq kimi qiymətləndirilməlidir.

**ƏSAS HİSSƏ.** Azərbaycan dilçiliyində nitq mədəniyyəti məsələlərinin tədqiqi tarixi çox da qədim deyildir. Bu sahəyə maraq demək olar ki, 1960-cı illərin sonlarından yaranmağa və artmağa başlamışdır. Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri, Ulu Öndər Heydər Əliyevin ana dilinə xüsusi qayğısından sonrakı müddətdə isə nitq mədəniyyəti məsələləri ilə bağlı tədqiqatların şəbəkəsi daha da genişlənməyə başladı. Heç vaxt unutmamaq olmaz ki, sovet rejimi dövründə ümumi informasiya dili rus dili olduğu halda Azərbaycan dilinin müstəqil və sərbəst rəsmi dövlət dili kimi işlənməsinə razılıq əldə edilməsi asanlıqla başa gələn bir iş deyildi. Ancaq Heydər Əliyevin müdrik, düşünülmüş və uzaqgörən siyasi fəaliyyəti nəticəsində buna nail olundu. 1978-ci ildə qəbul olunmuş Azərbaycan Respublikası Konstitusiyasının 73-cü maddəsində Azərbaycan dili rəsmi dövlət dili kimi qəbul edildi. Bu məsələ əlbəttə ki, sadəcə olaraq ana dilinin rəsmi olaraq adı qaydada işlədilməsi demək deyildi. Onsuz da Azərbaycanda ana dilli məktəblər mövcud idi, mətbuat var idi, kargüzarlıq işlərinin bu dildə aparılmasına ciddi bir məhdudiyyət qoyulmuşdu. Lakin ana dilinin rəsmiyyət üzrə işlədilməsinin siyasi-ictimai tərəfləri də var idi ki, Heydər Əliyevin müdrik zəkası Kreml rəhbərlərinin diqqətini bundan yayındırırdı. Bu ondan ibarət idi ki, ana dilinin rəsmiyyətə keçməsi milli şüurun inkişafına olduqca güclü təkan verirdi. Sovet ideologiyası şəraitində ana dili ilə milli düşüncənin inkişaf etdirilməsi çox böyük və cəsarətli siyasi iradənin nəticəsi idi. [2, 124] Ulu Öndər bunun ardınca 1981-ci il iyunun 12-də Respublika yazıçılarının VII qurultayındakı nitqində bəlkə də kimsənin gözləmədiyi halda daha ciddi bir şəkildə nitq mədəniyyəti məsələsinin vacibliyi problemini ortaya qoydu. Nitq mədəniyyəti o dillərdə öz bəhrəsini verir ki, onların mükəmməl quruluşu və bu quruluşu təsbit edən qaydaları olsun. Azərbaycan dili də məhz min illər ərzində öz aqlütinativ quruluşu təməlində formalaşmış və sabit struktura malik bir dil idi. Bu dilin mükəmməl qaydaları və həmin qaydaların sabitləşməsinə təmin edən daxili strukturu var idi. Belə bir dilin nitq mədəniyyətinin inkişaf etdirilməsi isə onun yazılı və şifahi aspektlərinin təkmilləşməsinə münbit şərait yaradır. Dil informasiyalarında intensivlik o zaman baş verir ki, onun yazılı və şifahi normaları mükəmməl olsun, stabil olsun. Bu halda intensivliyin özü kütləviləşir. Kütləviləşmə odur ki, yazılı və şifahi dil normaları dil

istifadəçiləri tərəfindən mənimsənilmiş olsun. Belə olduqda informasiyalar məntiqə söykənir, asan ifadə olunur, düzgün çatdırılır və maneəsiz ötürülür. Heydər Əliyev də məhz böyük bir dahianəliklə nitq mədəniyyətinin kütləviləşməsinə tövsiyə edirdi. Heydər Əliyev göstərirdi ki, “Azərbaycan ədəbi dilinin saflığına, kütlələrin nitq mədəniyyətinə daim qayğı göstərməlidir. Yazıçı dilin, nitq mədəniyyətinin, ədəbi normaların qanunvericisi olmalıdır. Bununla əlaqədar olaraq mətbuat, radio, televiziya, teatr, kino işçilərinə, mühazirəçilərə və müəllimlərə xüsusi tələbkarlıqla yanaşmaq lazımdır” [1, s. 51]

Bu gün bəzi xırda çatışmazlıqlar olmasına baxmayaraq Azərbaycan yazılı dilinin olduqca mükəmməl qaydaları və sabit normaları vardır. Ancaq nitq mədəniyyəti baxımından yazılı dil normalarının mükəmməliyi informasiyavericilik prosesində hər şeyi həll etmir. Yazılı dil normaları ilə birlikdə şifahi dilin də normalarını inkişaf etdirmək, təkmilləşdirmək və sabitləşdirmək məsələsinə ciddi bir ehtiyac vardır [8, s.29-30].

Yazılı dilin sabit normalarının özü də daimi struktur ardıcılıq nizamına əsaslanmır. Bu normaların təkmilləşməsində danışq dilinin asanlaşma prinsipi üzrə intensivləşən elementlərdən də istifadə edilir. Məsələn, sonu saitle bitən sözlərə samitlə başlayan şəkilçi qoşulduqda struktur tərkibdə heç bir dəyişmə baş vermir: meşə-meşədə, meşələr, meşənin; dəmirçi-dəmirçidə, dəmirçinin, dəmirçilik. Lakin sonu samitlə bitən bütün sözlərə samitlə başlayan şəkilçi əlavə edildikdə struktur tərkib sabit qalır. Nitq mədəniyyəti müasir dərslərdə göstərildiyi kimi təkcə ifadəlilikdən, ardıcılıqdan, məntiqilikdən, aydınlıqdan, sadəlikdən, asanlıqdan ibarət deyildir. Bunlar daha çox nəqliyyət keyfiyyətinə dair məsələlərdir. Nitq mədəniyyəti normalar sistemidir ki, bunun arxasında nitq aktının icbariliyi və ixtiyariliyi, prinsipləri (qanunları) və üslubları dayanır. Nitq mədəniyyətinin tədrisində əlbəttə ki, bu iki istiqamətin əlaqəli öyrədilməsi effekt yarada bilər. Belə olduqda yazılı dilin, şifahi dilin, danışq dilinin və eyni zamanda lokal dilin normalarını, bu normaların dinamikasını, bir-birinə keçidini əsaslı şəkildə öyrətmək mümkündür.

**NƏTİCƏ.** Beləliklə, norma informasiyaların müəyyən dil mühiti çərçivəsində intensiv çatdırılması üçün nitq aktlarının fəaliyyəti üzrə formalaşmış qaydalar sistemi kimi anlaşılır. Açıqını demək lazımdır ki, dilçilikdə nitq aktları, onların ixtiyari və icbari formaları barədə qəti araşdırmalar olmadığından norma haqqında da dəqiq proqnozlar verilməmişdir. Halbuki norma probleminin özü araşdırılmayınca, onun barəsində təsdiqedic proqnozlar verilməyincə nitq mədəniyyətinin tədrisində və mənimsənilməsində çatışmazlıqların baş verəcəyi istisna deyildir. Norma dil vasitələrini yaxşılaşdırma və naqisliyə görə ayırmır, onları kommunikativliyə və məqsədyönlülüyə görə qiymətləndirir. Dil normalarının tarixi dəyişmələri qanunauyğunluqdur, obyektiv hadisədir. O dil istifadəçilərinin iradəsindən və arzusundan asılı deyildir. Dil normalarının elmi əsaslarla müasir təlim texnologiyalarının tələbi ilə tədris edilməsi zamanımızın mühüm tələblərindən biridir.

Müasir təlim prosesinin tələbləri də dil proseslərinə məxsus inteqrasiyaların əlaqəli şəkildə tədris edilməsindən, təşəbbüskar, yaradıcı, vətənpərvər, işgüzar intellektlər yetişdirməkdən ibarətdir.

### Ədəbiyyat siyahısı

1. Abdullayev, Ə. (2012). Nitq mədəniyyətinin əsasları. Bakı: Elm və Təhsil.
2. Adilov, M., Verdiyeva, Z., & Ağayeva, F. (2010). Azərbaycan dilində nitq mədəniyyəti. Bakı: Maarif.
3. Axundov, A. (2006). Azərbaycan dilinin fonetikasi. Bakı: Şərq-Qərb.
4. Həsənov, H. (2015). Müasir Azərbaycan dili və nitq mədəniyyəti. Bakı: Elm.
5. Kazımov, Q. (2011). Azərbaycan dilinin üslubiyyəti. Bakı: Nurlan.
6. Məmmədov, A. (2014). Dil və nitq mədəniyyəti məsələləri. Bakı: Elm və Təhsil.
7. Seyidov, Y. (2008). Azərbaycan ədəbi dilinin normaları. Bakı: Maarif.
8. Vəliyev, K. (2013). Nitq mədəniyyəti və ünsiyyət. Bakı: Təhsil.
9. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi. (2020). Azərbaycan dili kurikulumu. Bakı.
10. Əliyeva, S. (2018). Nitq mədəniyyətinin tədrisi metodikası. Bakı: Elm və Təhsil.

**NİZAMİ GƏNCƏVİNİN SƏNƏT DÜNYASI****Prof. Dr. Elman Guliyev****Azərbaycan, Bakü****Azərbaycan Dövlət Pedagoji Universiteti****Türkoloji merkezin Türk edebiyatı bölümünün başkanı****Orcid: 0000-0001-5413-9479****[elman.guliyev1958@gmail.com](mailto:elman.guliyev1958@gmail.com)****Özet**

800 ilə yaxın bir tarixi olan Nizami ədəbi məktəbi Şərq xalqları mədəniyyətinin inkişafında və onun yeni istiqamətinin müəyyənləşməsində əhəmiyyətli dərəcədə rol oynamışdır. Xatırlatmaq yerinə düşər ki, Nizami ədəbi məktəbi mövcudluğunun arxasında cahan şümül ideyalar carçısı olan dahi Nizaminin Şərq şeir komandanı kimi qəbulu ilə yanaşı, Azərbaycan-Türk mədəniyyətinin dərkə və təsdiqi dayanır. Çünki Nizami adı, Nizami dühası Şərqə Azərbaycan –Türk şeirinin (geniş mənada mədəniyyətinin) bədii-estetik, milli-fəlsəfi ecazkar nümunəsi tipində daxil olmuş, Nizami adı ətrafında formalaşan nə varsa Azərbaycan milli-mənəvi ruhunun daşıyıcısı təsirindən uzağa getməmişdir.

Nizami Gəncəvinin mükəmməl mədrəsə təhsili alması, ərəb tarixçisi Təbəriyədən üzü bəri zamanəsinə qədər Şərqin ən mötəbər elmi, tarixi, fəlsəfi, dini və s. mənbələrini mənimsəməsi və bunları təxəyyül süzgəcindən keçirməsi sənətinin estetik mahiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırma bilmişdir. Nizami Gəncəvi yaradıcılığının Şərq ədəbiyyatının önündə dayanmasının əsas cəhətlərindən biri də bu idi.

Nizami Gəncəvinin Azərbaycan və Şərq ədəbiyyatında epik şeirin qüdrətli nümayəndəsi hesab edilməsi onu lirik şeir ustadı adından məhrum etmir. Çünki Nizaminin 30 illik bir tarixdə yazmış olduğu qəzəl, qəsidə və rübailəri Azərbaycan lirik şeirinin mükəmməl nümunələri hesab olunur.

**Anahtar kelimələr:** Nizami Gəncəvi, şeir, humanizm, Şərq, ədəbiyyat

## LIFE AND LYRIC AND PHILOSOPHICAL CREATIVITY OF NIZAMI GANJAVI

### Summary

The Nizami literary school, which has a history of nearly 800 years, played a significant role in the development of the culture of the Eastern peoples and in determining its new direction. It is worth reminding that behind the existence of the Nizami literary school lies the understanding and approval of the Azerbaijani-Turkish culture, along with the acceptance of the genius Nizami, the harbinger of universal ideas, as the commander of Eastern poetry. Because the name of Nizami, the genius of Nizami entered the East as an artistic-aesthetic, national-philosophical wonderful example of Azerbaijan-Turkish poetry (culture in a broad sense), and whatever was formed around the name of Nizami did not go far from the influence of the bearer of the national-spiritual spirit of Azerbaijan.

Nizami Ganjavi received an excellent madrasa education, the most reliable scientific, historical, philosophical, religious, etc. of the East since the time of the Arab historian Tabari. mastering its sources and passing them through the filter of imagination was able to significantly increase the aesthetic essence of his art. This was one of the main aspects of Nizami Ganjavi's creativity standing in front of Eastern literature.

The fact that Nizami Ganjavi is considered a powerful representative of epic poetry in Azerbaijani and Eastern literature does not deprive him of the title of master of lyric poetry. Because the ghazals, odes and rubais written by Nizami in a 30-year history are considered perfect examples of Azerbaijani lyric poetry.

**Key words:** Nizami Ganjavi, poetry, humanism, East, literature

## GİRİŞ

Azərbaycan və eləcə də Şərq dünyasının ən şöhrətli ədəbi simalarından biri olan Nizami Gəncəvi (İlyas Yusif oğlu) 1141-ci ildə Azərbaycanın qədim diyarı Gəncədə azərbaycanlı ailəsində dünyaya göz açmışdır. Nizami Gəncəvi “Leyli və Məcnun” poemasında atasını belə xatırlayır:

Atam Yusif – Zəki Müəyyid oğlu,  
Tutarkən babamın getdiyi yolu, -  
Dövrünün işidir, nə etməliyəm,  
Nə üçün ağlayım, deyildir sitəm  
Atalar yolunu çox gördüyümdən,  
Öz ata qəlbimi qopardım ki, mən,  
Ölüm tikanından süzülən zəhər  
Canıma yerisin, ərisin qəmlər.

Nizami Gəncəvinin Gəncədə anadan olması faktı Azərbaycan və bir çox Şərq-Qərb tədqiqatçıları tərəfindən təsdiqlənmişdir. Türk dünyasının qüdrətli şairi Əlişir Nəvai “Fərhad və Şirin” poemasında Nizami Gəncəvinin Gəncə şəhəri ilə bağlılığını bu cür ifadə edir:

O Gəncədə yatan böyük Nizami,  
Gəncədə olsa da aramı onun,  
Xəznələr üstədir məqamı onun.

Əlişir Nəvai “Yeddi səyyarə” poemasında da Nizaminin Gəncəyə bağlı olmasından danışır:

Bir kəlamı gözəl, sözləri gövhər,  
Şeir meydanında göstərib hünər,  
Xərabə dünyada Gəncə əhlinə  
Bəxş edib beş yeni dolu xəzinə...

Nizami Gəncəvi mükəmməl mədrəsə təhsili almışdır. O, yaradıcılığa erkən yaşlarında başlamışdır. İlk qələm təcrübələri lirik şeirləri olmuşdur. Nizami Gəncəvi bütün ömrünü doğma Gəncədə keçirmişdir. Hətta onun Gəncənin 30 ağaclıq məsafəsindən kənara çıxmadığı haqqında fikirlər də mövcuddur. Lakin bunun əksini söyləyən tədqiqatçılar Nizami Gəncəvinin Bərdədə, Təbrizdə, Dərbənddə, Naxçıvanda olmasını faktlarla yox, ehtimallarla sübuta yetirməyə çalışırlar. 1187-ci ildə Qızıl Arslan Nizami Gəncəviyə Gəncə yaxınlığında yerləşən Həmdünyan kəndini bağışlayır. Lakin o, hədiyyədən o qədər də məmnun olmur, “Xosrov və Şirin” əsərində bu barədə belə yazır:

Kənd demə, andırır dar bir kürəni,  
Yarımca ağacdır uzununu, eni.



Gəlirindən artıq onun xərci var,  
Əkər yarılığa onu abxazlar.

Nizami Gəncəvi Dərbənd hakimi olan dostu Bəybars ibn Müzəffər in göndərdiyi Afaq adlı kənizlə 1171-1172-ci illərdə ailə həyatı qurmuşdur. Bu fakt nizamişünaslıqda təsdiqlənsə də, birmənalı qarşılanmamışdır. Afaqın hansı səbəbdən, hansı şəraitdə Gəncəyə göndərilməsindən tutmuş, Dərbənd hakimi ilə Nizami münasibətlərinin hansı səviyyədə olmasına qədər məsələlər mübahisə predmetinə çevrilmişdir. Şübhə yoxdur ki, Afaqın Dərbənd hakiminin hərəmxanasına necə düşməsi, onun Nizamiyə hansı səbəbdən göndərilməsi, Nizaminin Dərbənd hakimi ilə dost və ya ziddiyyətli münasibətdə olması, Afaqın Nizamiyə göndərilənə qədər Nizaminin Dərbənd hakiminə konkret olaraq hansı əsərini hədiyyə etməsi, Afaqın ölüm səbəbləri və s. kimi nizamişünaslığın qaranlıq küncündə qalaqlanan məsələlərin üzərinə işıq tutmağın vaxtı çoxdan çatmışdır. 1174-cü ildə Nizaminin Məhəmməd adlı övladı dünyaya gəlmişdir. Məhəmməd ağıllı, elmlə və fərasətli olduğundan atası ona böyük nəvaziş və qayğı göstərmişdir. Nizami Gəncəvinin “Xosrov və Şirin”, “Leyli və Məcnun” və “Yeddi gözəl” poemalarında Məhəmmədin hörmətlə yad olunması təsadüfi deyil. N.Gəncəvi həyat yoldaşı Afaq xanımı vaxtsız itirmiş və bu itkini ağır dərd kimi yaşamış, poemalarda Afaqın ölümü ilə bağlı kədərli xatırlamalar yer almışdır.

## BULGULAR

Nizami Gəncəvi dini və dünyəvi elmləri yüksək şəkildə mənimsəyə bilmişdir. O, 1174 (1177) -1203-cü illər arasında “Xəmsə” yazmışdır. O, “Xəmsə”yə daxil olan “Xosrov və Şirin”i 1180-ci ildə Atabəylər dövlətinin hökmdarı Məhəmməd Cahan Pəhləvanın sifarişi ilə yazmışdır. Nizami Gəncəvi 1188-ci ildə isə Şirvanşah Axsitanın sifarişi əsasında “Leyli və Məcnun” poemasını yazır. Böyük mütəfəkkir şair 1209-cu ildə Gəncədə vəfat etmişdir. Gəncə şəhərində məzarı üzərində məqbərə ucaldılmışdır.

Nizami Gəncəvi təkcə Azərbaycan ədəbiyyatının deyil, bütün Şərq ədəbiyyatının önündə gedən, eyni zamanda bu sahədə komandanı rol oynayan, poetik qüdrəti ilə dünyaca məşhur olan filosof şairdir. Nizami Gəncəvi yaradıcılığı elə bir dövrün ədəbi məhsuludur ki, Şərq bu dövrdə ayrı-ayrı yaradıcı simaların nadir sənət inciləri ilə dünyanı heyran qoyurdu. Firdovsi, İbn Sina, Nasir Xosrov, Dəqiqi, Fərruxi, Əscudi, Ünsuri, Ömər Xəyyam, Sənai Qəznəvi, Yusif Balasaqunlu, Xaqani kimi sələf və müasirlərinin söz meydanında yaratmış olduğu sənət möcuzələri ilə Şərqdə qəbul edilməsi və ədəbi məktəbə çevrilməsi yalnız Nizami Gəncəvi şəxsiyyətinin deyil, həm də Azərbaycan mədəniyyətinin qürurudur.

800 ilə yaxın bir tarixi olan Nizami ədəbi məktəbi Şərq xalqları mədəniyyətinin inkişafında və onun yeni istiqamətinin müəyyənləşməsində əhəmiyyətli dərəcədə rol oynamışdır. Xatırlatmaq yerinə düşər ki, Nizami ədəbi məktəbi mövcudluğunun arxasında cahan şümül ideyalar carçısı olan dahi Nizaminin Şərq şeir komandanı kimi qəbulu ilə yanaşı, Azərbaycan-Türk mədəniyyətinin dərkə və təsdiqi dayanır. Çünki Nizami adı, Nizami

dühası Şərqə Azərbaycan –Türk şeirinin (geniş mənada mədəniyyətinin) bədii-estetik, milli-fəlsəfi ecazkar nümunəsi tipində daxil olmuş, Nizami adı ətrafında formalaşan nə varsa Azərbaycan milli-mənəvi ruhunun daşıyıcısı təsirindən uzağa getməmişdir.

Nizami Gəncəvinin mükəmməl mədrəsə təhsili alması, ərəb tarixçisi Təbəridən üzü bəri zəmanəsinə qədər Şərqi ən mötəbər elmi, tarixi, fəlsəfi, dini və s. mənbələrini mənimsəməsi və bunları təxəyyül süzgəcindən keçirməsi sənətinin estetik mahiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırma bilmişdir.

Nizami Gəncəvi yaradıcılığının Şərq ədəbiyyatının önündə dayanmasının əsas cəhətlərindən biri də bu idi.

Nizami Gəncəvinin Azərbaycan və Şərq ədəbiyyatında epik şeirin qüdrətli nümayəndəsi hesab edilməsi onu lirik şeir ustası adından məhrum etmir. Çünki Nizaminin 30 illik bir tarixdə yazmış olduğu qəzəl, qəsidə və rübailəri Azərbaycan lirik şeirinin mükəmməl nümunələri hesab olunur.

Nizami Gəncəvi lirik şeirlərdən ibarət tərtib etdiyi “Divan”ı haqqında “Leyli və Məcnun” poemasında belə yazır:

Qaşların açıqdı, sanki bir kaman  
Qarşımda dururdu yazdığım “Divan”  
Bayraq qaldırmışdım söz zirvəsinə,  
Hünər lövhəsini yazırdım yenə

Ayrı-ayrı tədqiqatçılar və tarixi sənədlər də Nizami lirik irsinin bir divan olaraq 20 min beyt civarında mövcud olduğunu təsdiqləyir. Tarixi mənbələrdə XIV əsr Azərbaycan alimi Zəkəriyyə Qəzvininin və XV əsr təzkirəçisi Dövlətsah Səmərqəndinin fikirləri bu baxımdan xarakterikdir.

Onu da qeyd edək ki, Nizami gənc yaşlarından başlayaraq istedadlı şair kimi şöhrət tapmağa başlamışdır. O, ilk poeması olan “Sirlər xəzinəsi” ndə (1177) bu barədə belə yazır:

Şairlik zirvəsinə mən ki çoxdan çatmışam,  
Dalda qoyub tay-tuşu, köhlənimi çapmışam.

Mən ki söz almazından odlu qılınc yaratdım,  
Arxadan gələnlərin boynunu vurub atdım.

Elə yüksək zirvəyə qalxmışam ki, baxın bir:  
Ayaqların ən uca başların üstündədir.

Elə yüksəkdəyəm ki, yalnız orda uçaram

Öz hümmətimə layiq yer istər, yol açaram.

## SONUÇ

Bu fikirlər Nizaminin “Xəmsə”yə qədərki uğurlarının böyük olduğunu təsdiqləyir. Çox güman ki, Nizaminin 20 min beytlik lirik yaradıcılığının əksər nümunələrinin yazılma tarixi bu mərhələnin payına düşür. Lakin təəssüf hissi ilə qeyd etmək lazımdır ki, 20 min beyt civarında olan Nizami divanından dövrümüzdə yalnız 6 qəsidə, 120 qəzəl və 30 rübai gəlib çatmışdır. Klassik ədəbiyyatın üç əsas şəklində yazılmış bu nümunələrdə şairin ictimai-siyasi görüşləri, həyata baxışları, lirik duyğuları yer alır. Nizami Gəncəvinin qəsidələri ictimai-siyasi mündəricə və ideya müxtəlifliyi baxımından şairin qəzəl və rübailərindən daha çox fərqlənir. Nizami Gəncəvinin qəsidələrində ictimai-fəlsəfi çalar daha güclüdür. O, mədhiyyə və fəxriyyələrində, o cümlədən hökmdar və zaman, qocalıq, nəsihət, ədalət, zülmə etiraz və s. mövzulu qəsidələrində insanlıq üçün vacib problemlərə toxunur, özünün epik yaradıcılıq ideyalarına uyğun olaraq ədalət prinsiplərini daha çox qabarda bilir:

Zülmü at, yalnız ədalət mayedir tərkibinə,  
Gəlməyirsə ədl əlindən, qəhriniar et bəyan.  
Məmləkət zalimlərə düşmən olur məşhər günü,  
Hər quyu adil üçün asan olur-bir nərdivan

və yaxud,

Cavanlığı yola saldım nə gəzirsən?-soruşsan,  
Belim əyri, cavanlığı axtarıram hər zaman.  
Kölgə kimi söykənirəm hər addımda divara,  
Ümid yoxdur bir də qalxım, nə etməli, nə çarə.

Ənənəyə uyğun olaraq Nizami qəzəllərində mövzu baxımından aparıcılığı məhəbbət mövzuları təşkil edir. Nizami qəzəllərində təsvir və tərənnüm real məhəbbətə söykənir. Ona görə də Nizami qəzəllərində vüsəl, sevgi, həsrət, ayrılıq və s. məhəbbət komponentləri real və dünyəvi hisslərin yaşantıları tərzində ifadəsini tapır:

Mümkünmüdür məni qurban edəsən?  
Dərdlərimi görüb dərman edəsən?

Göz yaşım ilə islanmadan bədənəm,  
Al qanıma məni qəltan edəsən?

Zəif ovam, saxla məni, öldürmə,  
Heç dəyərimi məni qurban edəsən?

Nizami qəzəllərində vüsala can atan aşiqin həssas qəlb çırpıntıları, sevgilisinə qovuşmaq istəyi, eyni zamanda aşiqin kədər və iztirabları daha təsirli göstərilir:

Hər gecə tədbir görür könlüm sənin hicranına,  
Sübh tezdən bənd olur eşqin şirin sultanına

Könlümü verdim sənə, mən-sən ki, bir can olmuşuq,  
Başqa bir can varmı, etsin başqa bir cananına

Sən ciyər didməktən əl çək, ey pəri, et imtina,  
Yoxsa qərq eylər səni bir gün ciyər öz qanına.

Nizami qəzəlin ənənəvi məhəbbət mövzusunə uyğun vüsali ilə yaşadığı məşuqun gözəlliklərini mədh edir, eşqə mübtəla olan dərddli aşiq kimi əlacını həmin gözəlin lütfündə görür:

Ay üzlü nigarım, kimi mehman olacaqsan?  
Bir söylə kimin şəninə şayan olacaqsan?

Şəkkər demərəm, mən sənə, ondan da şirinsən,  
Dilbər, necə bir bəxtəvərə can olacaqsan?

....Getdin, necə bəs tab eləsin hicrə Nizami,  
O, xəstə ikən, sən kimə dərman olacaqsan?

Nizaminin qəzəlləri yalnız məhəbbətin tərənnümü ilə məhdudlaşmır. Şairin lirik yaradıcılığında ictimai-siyasi motivli və fəlsəfi məzmunlu qəzəllərə də rast gəlmək mümkündür.

Nizami Gəncəvinin əlimizdə olan rübailərinin sayı olduqca azdır. Bu rübailərdə məzmun müxtəlifliyi, ictimai-fəlsəfi mənə çalarlarının zənginliyi, humanizm duyğularının tərənnümü və s. cəhətlər ifadə olunur. Nizami Gəncəvinin rübailəri məzmun və ideyasına görə cəmiyyətlə üz-üzə dayanan insanın real düşüncələrini əks etdirmək baxımından xarakterikdir. Ona görə də onun rübailərində real insanın real həyatda şəxsi iztirablarını ədalətə, haqqa, sevgiyə bağlılığını, zülmə qarşı isə etiraz çağırışını görmək çətin deyil:

Dedim: Bu qəlbimə gəl qan uddurma,  
Bir busə lütf eylə, uzaqda durma.  
Nə etsə yaxşıdır? Gəlib yaxına,  
Göstərib ləbini, dedi: Əl vurma

Şübhəsiz, Nizami Gəncəvi beş poemadan ibarət “Xəmsə”si ilə daha çox məşhurdur.

## Kaynakça

- 1.Arashlı, N. ( 2021). Nizami Gencevi ve Halk Sanatı Fıkrası / Nizami Gencevi: Hayatı ve Sanatı. Sanatçının Bilimsel Pasaportu – 25 (toplu yazarlar). Bakü - Bilim.
- 2.Abbasov, A. (1966). Nizami Gencevi`nin “İskendername” Eseri. Bakü - Bilim.
- 3.Bayat, F. (2004). Oğuzname(ler) / Dede Korkut Kitabı. Ansiklopedik Sözlük. Bakü -Önder Yayınevi.
- 4.Caferov, N. ( 2002), Azerbaycan Araştırmasına Giriş Bakü- AzAtaM.
- 5.Caferov, N. (2021). Nizami Gencevi veya Dünyaca Ünlü Azerbaycan Şairi / Nizami Gencevi Klasik ve Çağdaş Araştırmalarda (makaleler toplusu). Bakü - Bilim ve Eğitim.
- 6.Dede Korkut Kitabı. (2004). Ansiklopedik Sözlük. Bakü-Önder Yayınları.
- 7.Abülgazi Bahadır Han. (2002). Şecare-i-Terakime (Türkmenlerin soy kitabı) / Rusça`dan Çeviri, Önsöz ve Belirtilenlerin Yazarı ve Kaynakça Derleyicisi İ.M.Osmanlı. Bakü- Azerbaycan Milli Ansiklopedisi N-PB.
- 8.Azizova, F. (2021). “Nizami Gencevi Sanatında İntibahın Sanatsal Algısı” Deneme / Nizami Gencevi: Hayatı ve Sanatı. Sanatçının Bilimsel Pasaportu – 25 (toplu). Bakü - Bilim, 438-487
- 9.Gencevi, N. (1982). Hüsrev-ü Şirin. Çeviren Resul Rza, N.Gencevi. Bakü - Yazar.
- 10.Gencevi, N. (1982). İskendername. Şerefname. Farsça`dan Çeviren Abdulla Şaik. İkbalkname. Farsça`dan Çeviren Mikayıl Rzakuluzade. Bakü - Yazar.
- 11.Hacıyev, T. (1999). Dede Korkut: Dilimiz ve Düşüncemiz, T.Hacıyev. Bakü - Bilim.
- 12.Halil, A. (2004). “Dede Korkut Kitabı”nın Semiyotik Yapısı, Türk Halklarının Edebi Geçmişi: Türk Destanları. Uluslararası Sempozyum. Bakü – Kafkas Üniversitesi Yayınları.
- 13 .Köroğlu, H. (1999). Oğuz Kahramanları Destanı / H.Köroğlu. Bakü - Yurt.
- 14 .Gafarlı, R. (2002). Mit, Efsane, Masal ve Destan (Sözlü Epik Geleneklerin Türkler Arası İlişki). R.Gafarlı. Bakü - ADPÜ Yayınları.
15. Mübariz, M. (24 Haziran 1938). Nizami Sanatına Azerbaycan Folklorunun Etkisi “Edebiyat Gazetesi”, 9.
16. Nerimanoğlu, K. (2004). Destan, “Dede Korkut Kitabı”. Dede Korkut Kitabı Ansiklopedik Sözlük. Bakü - Önder Yayınları.

## AI-DRIVEN PREDICTIVE MODELING FOR SECURE AND RESILIENT IOT SYSTEMS

PhD. Lorena SALIAJ

Mediterranean University of Albania, Faculty of Informatics, Tirana-Albania

Email: [lorenasaliaj@umsh.edu.al](mailto:lorenasaliaj@umsh.edu.al)

### Abstract

The accelerated advancement of Internet of Things (IoT) technologies has generated substantial benefits across diverse domains, including industry, healthcare, transportation, and daily life, by facilitating seamless interaction between intelligent devices and communication networks. Nevertheless, this increasing interconnectedness concurrently gives rise to significant challenges in the realm of cybersecurity. Owing to the frequent absence of robust protective mechanisms, IoT devices remain highly susceptible to a wide spectrum of cyberattacks, such as unauthorized access, data manipulation, and Distributed Denial-of-Service (DDoS) assaults.

This study investigates prevalent security threats affecting IoT infrastructures and highlights the necessity of embedding standardized security protocols from the earliest stages of system design, following the principle of “security by design.” Preventive strategies and technical countermeasures—including encryption, multi-factor authentication, and network segmentation—are critically examined as approaches to mitigating systemic vulnerabilities.

Beyond technical considerations, the analysis emphasizes the imperative of inter-institutional cooperation and the continuous refinement of cybersecurity policies within an evolving technological ecosystem. The paper also foregrounds the ethical and legal dilemmas associated with the pervasive deployment of IoT systems, particularly those concerning the protection of personal data and the transparency of its processing. The current absence of a unified regulatory framework, coupled with limited oversight over data collection practices, accentuates the urgency for more advanced legal instruments and decisive institutional interventions.

Drawing on a comparative assessment of international best practices and the guidance of leading organizations such as ENISA and ISO, this work advances an integrated approach to IoT cybersecurity. This framework incorporates technological infrastructure preparedness, user awareness initiatives, and specialized professional training. Ultimately, safeguarding security in the IoT era transcends a purely technical challenge and necessitates comprehensive institutional, societal, and legal commitments.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Data Security, Predictive Analysis, Regulatory Frameworks



## ON THE STABILITY OF HEPATITIS C INFECTION DYNAMICS UNDER ANTIVIRAL THERAPY

Chaimae El Mourabit<sup>1</sup>, Nadia Idrissi Fatmi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National School of Applied Sciences of Khouribga, Sultan Moulay Slimane University, Morocco  
<https://orcid.org/0009-0002-9728-3416>

<sup>1</sup> National School of Applied Sciences of Khouribga, Sultan Moulay Slimane University, Morocco.  
<https://orcid.org/0009-0003-1171-6186>

### ABSTRACT:

Hepatitis C virus (HCV) infection remains a significant global public health challenge due to its ability to cause severe liver complications, including cirrhosis, hepatocellular carcinoma, liver failure, and increased mortality. The advent of direct-acting antivirals (DAAs) has revolutionized HCV management, offering high cure rates and shorter treatment durations. Despite their clinical efficacy, concerns regarding potential side effects and variable patient responses persist. Motivated by these considerations, this study develops a mathematical model to investigate the dynamics of HCV infection in patients undergoing antiviral therapy. The model incorporates key biological processes, including viral replication, host immune response, and treatment effects, to capture the essential mechanisms driving infection progression and therapy outcomes. We first establish the positivity and boundedness of the system solutions to ensure biological relevance. Subsequently, the equilibrium states are derived, and their local asymptotic stability is analyzed using the Routh–Hurwitz criterion. The analytical results indicate that under appropriate parameter conditions, the infection dynamics converge to a stable equilibrium, suggesting effective long-term viral control during antiviral therapy. Numerical simulations further illustrate the theoretical findings and highlight the impact of critical parameters on infection trajectories and treatment effectiveness. This work provides a rigorous mathematical framework for understanding HCV dynamics under antiviral intervention and offers insights that may inform the optimization of therapeutic strategies for patients living with hepatitis C.

**Keywords:** HCV, Routh-Hurwitz, Stability, Antiviral therapy, Numerical Simulation.

## FACE RECOGNITION ATTENDANCE SYSTEM USING AI AND MERN STACK MUHAMMAD FAISAL

Assistant Professor (AI) at Allama Iqbal Open University

ORCID: 0000-0002-5797-766X

### **ABSTRACT**

Attendance management is an important component of educational institutions. Traditional attendance systems are time-consuming and prone to errors. This research proposes an AI-based face recognition attendance system integrated with a web-based LMS using the MERN stack. The system uses computer vision algorithms to detect and recognize student faces and automatically mark attendance. MongoDB is used to store student records and attendance data, while Express and Node.js manage backend processing and API integration. React is used to develop the attendance dashboard for administrators and instructors. The AI module uses facial recognition algorithms to identify students and mark attendance in real time. The system improves accuracy, reduces manual work, and prevents proxy attendance. The research concludes that AI-based attendance systems can significantly improve administrative efficiency and provide reliable attendance records for educational institutions.

**Keywords:** Face Recognition, Attendance System, Artificial Intelligence, Computer Vision, MERN Stack, Smart Education.

**AGENTIC AI-BASED AUTONOMOUS INVENTORY SYSTEM**  
**MUHAMMAD FAISAL**

**Assistant Professor (AI) at Allama Iqbal Open University**

**ORCID: 0000-0002-5797-766X**

**ABSTRACT**

This paper introduces an agentic AI-based inventory system capable of autonomous decision-making. The system uses multi-agent AI models to manage inventory operations, including demand forecasting, supplier selection, and replenishment. Agentic AI systems can proactively monitor inventory and initiate actions without human intervention. Studies show such systems reduce stock outs and improve efficiency. The system represents the future of inventory management, enabling intelligent and autonomous operations.

**Keywords:** Agentic AI, Autonomous Systems, Inventory Management, Multi-Agent Systems

# IDENTITIES IN PRIME IDEALS INVOLVING A PAIR OF GENERALIZED $(\alpha, \alpha)$ -DERIVATIONS

Abdelkarim BOUA

<https://orcid.org/0000-0002-6397-4713>:

[abdelkarimboua@yahoo.fr](mailto:abdelkarimboua@yahoo.fr)

Sidi Mohammed Ben Abdellah University, FEZ

Polydisciplinary Faculty, Taza; Morocco

**Abstract.** Let  $A$  be an arbitrary ring,  $\alpha$  an automorphism of  $A$ ,  $I$  a nonzero ideal of  $A$ , and  $Y$  a prime ideal of  $A$  satisfying the condition  $Y \not\subseteq \alpha(I)$ . This research investigates the interplay between two generalized  $(\alpha, \alpha)$ -derivations,  $\Omega$  and  $G$  (associated with  $(\alpha, \alpha)$ -derivations  $f$  and  $h$ , respectively), and the resulting characteristics of the quotient ring  $A/Y$ . A key aspect of this work is that no primality or semiprimality conditions are imposed on the ring  $A$ . The analysis proceeds by examining specific differential identities satisfied by these derivations on the ideal  $I$  in relation to the prime ideal  $Y$ . Furthermore, this article discusses implications derived from the main theorems and presents nontrivial examples to underscore the necessity of the primeness hypothesis for  $Y$  in our results.

**Key words:** Automorphism; generalized  $(\alpha, \alpha)$ -derivation; prime ideal; quotient ring.

**Özet.** A keyfi bir halka,  $\alpha$   $A$ 'nın bir otomorfizmi,  $I$   $A$ 'nın sıfır olmayan bir ideali ve  $Y$ ,  $Y \not\subseteq \alpha(I)$  koşulunu sağlayan  $A$ 'nın asal bir ideali olsun. Bu araştırma, iki genelleştirilmiş  $(\alpha, \alpha)$ -türev (sırasıyla  $f$  ve  $h$   $(\alpha, \alpha)$ -türevleriyle ilişkili)  $\Omega$  ve  $G$  ile ortaya çıkan  $A/Y$  bölüm halkasının özellikleri arasındaki etkileşimi inceler. Bu çalışmanın önemli bir yönü,  $A$  halkasına herhangi bir asal veya yarı asal koşulunun dayatılmamasıdır. Analiz, bu türevlerin  $I$  ideali üzerinde asal ideal  $Y$  ile ilişkili olarak sağladığı belirli diferansiyel özdeşlikleri inceleyerek ilerler. Ayrıca, bu makale ana teoremlerden türetilen çıkarımları tartışır ve sonuçlarımızda  $Y$  için asalılık hipotezinin gerekliliğini vurgulamak için önemsiz olmayan örnekler sunar.

**Anahtar kelimeler:** Otomorfizm; genelleştirilmiş  $(\alpha, \alpha)$ -türev; asal ideal; bölüm halkası

## CROSS-MODAL RETRIEVAL USING VISION-LANGUAGE MODELS AND VECTOR DATABASES

MUHAMMAD FAISAL

Assistant Professor (AI) at Allama Iqbal Open University

ORCID: 0000-0002-5797-766X

### **ABSTRACT**

Cross-modal retrieval is an important application of Vision-Language Models where users can search images using text queries or search text using images. This research paper proposes a cross-modal retrieval system using Vision-Language Models and vector databases. The system uses multimodal embeddings generated by models such as CLIP to map images and text into a shared embedding space. Similarity between embeddings is calculated using cosine similarity. The proposed system architecture consists of a feature extraction module, embedding generation module, and vector search module. The feature extraction module uses a Vision Transformer for image feature extraction and a text transformer for text feature extraction. These features are converted into embeddings and stored in a vector database such as FAISS or Pinecone. When a user submits a query, the system converts the query into an embedding and retrieves the most similar results from the vector database. The research highlights that vector databases are becoming an important component of modern AI systems because they enable fast similarity search in large-scale datasets. Cross-modal retrieval systems are widely used in search engines, digital libraries, e-commerce platforms, and social media platforms. The study also explores the integration of Retrieval-Augmented Generation (RAG) with cross-modal retrieval systems. RAG allows the system to retrieve relevant documents and generate responses using large language models. This improves the accuracy and relevance of search results. The research concludes that cross-modal retrieval systems represent the future of search engines, where users can search using text, images, audio, and video. Future research should focus on multimodal retrieval, multimodal indexing, and efficient vector search algorithms.

**Keywords:** Cross-Modal Retrieval, CLIP, Vector Database, FAISS, Pinecone, Multimodal Search, Vision-Language Models

## **LOW-COST COMPUTER VISION SYSTEMS FOR PERFORMANCE ANALYSIS IN RESOURCE-CONSTRAINED ENVIRONMENTS**

**Moses Adeolu AGOI<sup>1</sup>**

**Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.**

**agoi4moses@gmail.com, +2347062230778**

**ORCID ID: 0000-0002-8910-2876**

**Success Eniola OGBOYE<sup>2</sup>**

**Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.**

**Successes23@gmail.com, +2347099644330**

**Oluwanifemi Opeyemi AGOI<sup>3</sup>**

**Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria.**

**oluwanifemiagoi@gmail.com, +2348029613397**

**Samuel Olayiwola AJAGA<sup>4</sup>**

**Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.**

**olayiwolaz@gmail.com, +2348108107705**

---

### **Abstract**

Low-cost computer vision systems are increasingly recognized as transformative tools for performance analysis in environments characterized by limited computational capacity, restricted energy availability, and financial constraints. In many developing regions, small-scale industries, rural agricultural settings, and low-budget research laboratories, the deployment of conventional high-performance vision systems is often infeasible due to their dependence on powerful GPUs, high-memory servers, and continuous cloud connectivity. Traditional deep learning models, particularly convolutional neural networks (CNNs) and transformer-based architectures, typically require substantial processing power and energy consumption, resulting in high operational costs and infrastructure demands. These requirements create barriers to adoption in remote or economically constrained contexts where stable electricity, high-speed internet, and advanced computing infrastructure may not be available. Recent advancements in embedded artificial intelligence and Tiny Machine Learning (TinyML) have significantly reduced these barriers. Studies demonstrate that affordable single-board computers such as Raspberry Pi and microcontroller-based platforms can execute optimized vision algorithms with acceptable levels of accuracy and latency for real-time applications (Beltrán-Escobar et al., 2024). Through techniques such as model pruning, quantization, knowledge distillation, and lightweight architecture design (e.g., MobileNet variants), developers can compress deep learning models to operate efficiently on devices with limited RAM and processing speed (Kamath & Renuka, 2023). Furthermore, low-cost embedded vision systems have shown promising results in applications such as unmanned aerial vehicle (UAV) navigation, automated inspection, and object detection under constrained conditions (Ortega et al., 2023). By integrating open-source software frameworks, energy-efficient hardware, and task-specific optimization strategies, these systems enable scalable and affordable performance monitoring solutions. This paper therefore reviews existing literature, outlines methodological approaches for system design and evaluation, examines prototype implementations,



and identifies future research directions for expanding low-cost vision technologies across industrial, agricultural, and autonomous robotic domains.

**Keyword:** Computer vision, Low cost, Performance analysis, Resource-constrained.

## INTRODUCTION

Computer vision enables the automated acquisition, processing, and interpretation of visual data to support tasks such as surveillance, industrial quality control, autonomous navigation, healthcare monitoring, and performance evaluation in complex environments. By combining image processing, pattern recognition, and machine learning techniques, computer vision systems extract meaningful information from images or video streams, enabling machines to detect objects, classify patterns, estimate motion, and monitor operational efficiency. In industrial production lines, for example, vision systems are used to identify defects, measure dimensional accuracy, and track workflow efficiency. In agriculture, they assist in crop health monitoring, yield estimation, and livestock tracking. In transportation and robotics, vision supports localization, obstacle detection, and autonomous decision-making. The breadth of these applications demonstrates the central role of visual intelligence in modern automation and performance analytics. Despite these advancements, mainstream computer vision systems are typically built upon computationally intensive deep learning architectures, such as convolutional neural networks (CNNs), region-based detectors, and transformer-based vision models. These architectures often require high-performance graphics processing units (GPUs), large memory capacities, and stable high-speed connectivity for training and inference. Data centres and cloud infrastructures are frequently employed to handle the massive computational demands associated with high-resolution image processing and real-time analytics. Consequently, the financial costs associated with purchasing specialized hardware, maintaining energy supply, and supporting system infrastructure can be prohibitive. As highlighted by Frontiers Editorial (2025), the energy consumption and computational overhead of conventional vision pipelines present substantial challenges when deployed in robotics and edge-based systems. Similarly, Beltrán-Escobar et al. (2024) emphasize that many state-of-the-art models are impractical for embedded environments due to their large parameter sizes and memory requirements. Resource-constrained settings are characterized by limitations across several interconnected dimensions. Firstly, financial constraints restrict the acquisition of high-end GPUs, industrial-grade cameras, and proprietary software licenses. Small and medium-sized enterprises (SMEs), rural cooperatives, and low-budget research laboratories often operate under tight budgets that



necessitate cost-effective technological solutions. Secondly, computational limitations involve restricted processing speed, low memory capacity, and absence of dedicated accelerators. Devices in such settings may rely on low-power microcontrollers or single-board computers with limited clock speeds and RAM. Thirdly, energy constraints are particularly relevant in remote or off-grid environments where continuous electricity supply is unreliable or dependent on batteries or solar power. Power-hungry vision systems can quickly drain energy reserves, rendering sustained deployment impractical. Finally, infrastructure constraints include limited internet connectivity, inadequate cooling systems, and lack of technical maintenance support, all of which complicate the deployment of cloud-dependent or hardware-intensive systems. These limitations are particularly pronounced in remote agricultural fields, where farmers may seek automated crop disease detection or irrigation monitoring but lack broadband connectivity or stable grid power. Similarly, small-scale manufacturing enterprises may require automated inspection systems to improve product quality but cannot afford industrial vision setups costing thousands of dollars. In low-budget academic laboratories, researchers may need vision-based performance monitoring for robotics or human-computer interaction studies without access to enterprise-level computing clusters. In such contexts, conventional deep learning pipelines are not only financially burdensome but operationally unsustainable. In response to these challenges, low-cost computer vision approaches have emerged as viable alternatives that prioritize affordability, energy efficiency, and computational optimization. These approaches leverage embedded systems, open-source hardware, and software ecosystems to deliver practical performance under constrained conditions. Platforms such as microcontrollers (e.g., Arduino-based systems), single-board computers (e.g., Raspberry Pi-class devices), and low-power edge processors provide affordable hardware foundations for deploying lightweight vision algorithms. Unlike centralized cloud-based systems, these edge devices process data locally, reducing latency and minimizing dependence on continuous internet connectivity. A central innovation enabling low-cost vision deployment is the advancement of Tiny Machine Learning (TinyML), which focuses on running machine learning models on microcontrollers and other low-power devices. TinyML techniques involve compressing neural networks through pruning (removing redundant parameters), quantization (reducing numerical precision), and knowledge distillation (training smaller models to replicate larger models' outputs). By significantly reducing model size and computational complexity, these methods enable inference on devices with kilobytes or a few megabytes of memory. Beltrán-Escobar et al. (2024) review embedded vision systems designed for robotic applications and demonstrate how optimized architectures can operate effectively on constrained platforms while maintaining acceptable levels of accuracy and response time. Lightweight neural network architectures such as MobileNet, ShuffleNet, and SqueezeNet have also contributed to the feasibility of low-cost vision systems. These architectures employ depthwise separable convolutions and parameter-efficient

designs to reduce computational load without drastic performance degradation. When combined with frameworks such as TensorFlow Lite or ONNX Runtime for edge deployment, these networks enable real-time object detection, image classification, and tracking on inexpensive devices. Kamath and Renuka (2023) highlight that model compression and hardware-aware optimization are critical for balancing accuracy with efficiency in resource-constrained environments. Their analysis underscores the importance of designing algorithms specifically tailored to hardware limitations rather than directly porting large-scale models to small devices. Open-source ecosystems further democratize access to computer vision capabilities. Libraries such as OpenCV provide comprehensive tools for image processing, feature extraction, and classical machine learning techniques without licensing costs. Open-source datasets and pre-trained lightweight models allow developers and researchers to implement solutions without extensive training infrastructure. This accessibility fosters innovation in developing regions and enables experimentation without substantial financial investment. Recent research over the past five years underscores significant innovations in embedding vision tasks across diverse application domains. For instance, Beltrán-Escobar et al. (2024) document implementations of TinyML-based vision systems for robotics, where microcontrollers perform image-based classification and object recognition under strict power constraints. These implementations demonstrate that energy-efficient embedded systems can support autonomous behaviours in robots without relying on external computational resources. Similarly, Ortega et al. (2023) describe a low-cost computer-vision-based embedded system for unmanned aerial vehicles (UAVs), where single-board computers process visual data for landing assistance and navigation. Their findings indicate that affordable hardware platforms can achieve reliable performance in real-world scenarios while maintaining manageable power consumption. Beyond robotics and UAVs, low-cost vision systems have been applied in smart agriculture, low-budget surveillance networks, traffic monitoring, and educational laboratories. In agricultural contexts, embedded vision modules can detect plant stress, count fruits, or monitor irrigation systems using battery-powered devices. In educational settings, affordable vision kits allow students to experiment with AI-based performance monitoring without requiring expensive laboratory equipment. These use cases illustrate how cost-sensitive solutions expand technological inclusivity and reduce the digital divide. Importantly, the democratization of computer vision extends beyond mere affordability; it fosters localized innovation and context-specific problem solving. Communities with limited resources can tailor low-cost vision systems to address region-specific challenges, such as monitoring livestock movement in rural areas or assessing equipment performance in small workshops. By decentralizing computational requirements and reducing reliance on cloud infrastructure, low-cost systems also enhance data privacy and operational resilience. In summary, while traditional computer vision systems remain powerful and highly accurate, their dependency on expensive hardware and high energy consumption restricts their applicability in resource-constrained

environments. Low-cost approaches, grounded in embedded systems, open-source technologies, and optimized learning frameworks like TinyML, provide sustainable and scalable alternatives. Recent research highlights continuous improvements in hardware efficiency, model compression, and deployment frameworks that make real-time vision analytics feasible on microcontrollers, single-board computers, and UAV platforms (Beltrán-Escobar et al., 2024; Ortega et al., 2023). As these technologies mature, they hold significant promise for expanding performance monitoring, automation, and intelligent decision-making capabilities across economically and infrastructural constrained settings worldwide.

## **LITERATURE REVIEW**

### **Low-Cost Embedded Vision Systems**

Beltrán-Escobar et al. (2024) provide a comprehensive review of resource-constrained embedded vision systems grounded in Tiny Machine Learning (TinyML), with a specific focus on robotic applications operating under strict energy and hardware limitations. Their study systematically evaluates hardware architectures, sensor integration strategies, inference pipelines, and software platforms suitable for deploying computer vision algorithms on microcontrollers and low-power single-board computers. A key contribution of the review lies in its comparative analysis of commonly used low-cost development boards such as the Arduino Nano 33 BLE Sense, Raspberry Pi Pico, and ESP32 modules, which typically cost between USD \$6 and \$30 depending on configuration. In contrast, conventional GPU-based embedded AI platforms (e.g., NVIDIA Jetson series) often exceed USD \$400–\$700, creating a significant economic barrier in resource-limited environments (Beltrán-Escobar et al., 2024). From a computational perspective, the authors highlight that microcontroller-class devices generally operate with clock speeds between 64 MHz and 240 MHz and memory capacities ranging from 256 KB to 520 KB of SRAM. Although these specifications are modest compared to desktop GPUs offering several teraflops of compute power, TinyML techniques enable optimized convolutional neural networks (CNNs) to execute inference tasks within memory budgets below 1 MB. Through pruning and 8-bit quantization, model sizes can be reduced by up to 70-90% without severe degradation in classification accuracy (Beltrán-Escobar et al., 2024). Empirical benchmarks summarized in their review demonstrate that image classification models deployed on ESP32 boards achieved inference times between 50-200 milliseconds per frame for low-resolution inputs (e.g., 96×96 or 128×128 pixels), making them viable for near real-time robotic control. Energy efficiency is another critical parameter examined in the review. Traditional GPU-based embedded systems may consume between 5 W and 15 W under load, whereas microcontroller-based platforms typically consume between 0.1 W and 1 W during inference. This represents an approximate 80-95% reduction in power consumption, which is particularly advantageous for battery-powered robots and remote monitoring devices. Beltrán-Escobar et al. (2024) emphasize that such reductions significantly extend operational autonomy, especially in field robotics or

solar-powered systems where energy availability is constrained. The authors further note that optimized TensorFlow Lite Micro deployments allow real-time object detection and gesture recognition within tight power envelopes, demonstrating that low-cost boards are not limited to simplistic classification tasks but can also support lightweight detection pipelines. Beyond hardware optimization, the review also discusses software ecosystems supporting embedded vision. Open-source frameworks such as TensorFlow Lite for Microcontrollers, Edge Impulse, and OpenMV provide streamlined workflows for dataset preparation, model training, and deployment. These platforms reduce development complexity and enable researchers or small enterprises to implement intelligent vision systems without proprietary toolchains. The democratization of AI through such frameworks aligns with broader trends in edge computing and decentralized AI deployment (Kamath & Renuka, 2023). Kamath and Renuka (2023) further argue that model compression techniques, including structured pruning and knowledge distillation, can preserve up to 85-95% of baseline model accuracy while reducing computational load by more than half, reinforcing the feasibility of TinyML approaches in embedded vision contexts. Complementing the work of Beltrán-Escobar et al. (2024), Ortega et al. (2023) present an applied case study of a cost-effective computer vision system integrated into an unmanned aerial vehicle (UAV) platform for autonomous navigation and landing assistance. Their system architecture combines a Raspberry Pi single-board computer (approximately USD \$35-\$60) with a low-cost camera module and open-source computer vision algorithms implemented in Python using OpenCV. The UAV employs visual markers and feature-based tracking to estimate landing position and avoid obstacles without requiring high-bandwidth communication with ground stations. Experimental evaluation conducted by Ortega et al. (2023) indicates that the system achieved successful autonomous landing performance in approximately 88–92% of controlled test scenarios. Inference times averaged below 100 milliseconds per frame for 640×480 video input, demonstrating sufficient responsiveness for low-altitude manoeuvring. Importantly, total on-board computational power consumption remained under 5 W during operation, significantly lower than UAV systems relying on high-end AI accelerators. This reduced power requirement allowed extended flight durations and minimized thermal management issues, both critical factors in small UAV platforms. The study also underscores the trade-off between accuracy and computational efficiency. While high-end deep learning detectors such as YOLOv5 or Faster R-CNN may achieve superior detection precision, their computational demands exceed the processing capabilities of low-cost boards without hardware acceleration. Ortega et al. (2023) instead implemented lightweight image processing and marker-based detection strategies optimized for edge deployment. Although these approaches may exhibit lower robustness under highly dynamic lighting conditions, they provide a practical balance between performance and resource availability. Recent developments in lightweight detection frameworks, including MobileNet-SSD and YOLO-Nano, further strengthen the viability of embedded UAV



vision systems (Howard et al., 2019). These models employ depth wise separable convolutions and parameter-efficient architectures, reducing multiply-accumulate operations by up to 8-9 times compared to standard CNNs while maintaining competitive accuracy. Such advancements align with the broader trend toward hardware-aware neural architecture design, ensuring that models are tailored to the constraints of embedded processors. Collectively, the findings from Beltrán-Escobar et al. (2024) and Ortega et al. (2023) demonstrate that low-cost embedded platforms can execute meaningful classification and navigation tasks when paired with optimized algorithms and efficient software stacks. Statistical comparisons indicate substantial reductions in hardware costs (often 80-90% lower than GPU-based alternatives) and energy consumption (up to 95% lower in microcontroller implementations). These efficiencies translate into extended operational autonomy, reduced thermal overhead, and broader accessibility in economically constrained contexts. In summary, the integration of TinyML, open-source ecosystems, and hardware-aware neural architectures has redefined the capabilities of low-cost embedded vision systems. While limitations remain in terms of processing high-resolution imagery or handling highly complex multi-object detection tasks, ongoing advancements in model compression and edge-optimized architectures continue to narrow the performance gap between resource-constrained systems and traditional high-performance platforms. These developments hold significant promise for robotics, UAV autonomy, smart agriculture, and decentralized industrial monitoring.

### **Resource-Constrained Vision Challenges**

Deep learning-based object detection has revolutionized computer vision by enabling highly accurate identification and localization of objects in complex scenes. Architectures such as Faster R-CNN, YOLO, SSD, and transformer-based detectors have achieved mean Average Precision (mAP) scores exceeding 50-60% on benchmark datasets such as MS COCO, with some state-of-the-art models surpassing 65% mAP (Redmon et al., 2016; Lin et al., 2014). However, these gains in detection accuracy come at a substantial computational cost. Modern detection networks often contain tens of millions of parameters and require billions of floating-point operations (FLOPs) per inference. For example, a standard YOLOv3 model requires approximately 65 billion FLOPs per forward pass and consumes several gigabytes of GPU memory during inference, making deployment on microcontrollers or low-power embedded systems impractical without significant optimization (Redmon & Farhadi, 2018). Memory requirements pose an equally significant challenge. Full-scale object detection models typically demand 100-250 MB of storage for weights alone, along with additional runtime memory for intermediate feature maps. In contrast, many microcontroller-based systems used in resource-constrained environments offer less than 1 MB of SRAM and limited flash storage capacity. The disparity between algorithmic demand and hardware capability creates a fundamental barrier to generic deployment of deep detection models on lightweight systems. Kamath and Renuka (2023) emphasize that this computational



gap has catalyzed a growing body of research focused on optimizing deep learning models for low-power and embedded environments. Their systematic review identifies model compression and reduction strategies as critical enablers for deploying vision algorithms on constrained hardware (Kamath & Renuka, 2023). Among the most widely adopted techniques are pruning, quantization, and knowledge distillation.

**Pruning** involves removing redundant or less significant weights and connections from a trained neural network. Structured pruning, which eliminates entire filters or channels, can reduce model size by 30-70% while preserving most of the baseline accuracy. In some experiments summarized by Kamath and Renuka (2023), pruned detection models achieved up to 60% reduction in parameters with less than 3-5% drop in mAP. This reduction directly translates into lower memory usage and fewer computational operations, making inference feasible on edge devices.

**Quantization** further enhances efficiency by reducing the numerical precision of weights and activations. Instead of 32-bit floating-point representations, models can use 8-bit integers or even binary formats. Post-training quantization can shrink model size by approximately 75% and reduce multiply-accumulate energy consumption by up to 4× compared to full-precision computation (Kamath & Renuka, 2023). For embedded processors lacking floating-point units, integer-only inference significantly improves execution speed and lowers power draw. Empirical studies show that 8-bit quantized detection networks often retain over 90–95% of their original accuracy, making quantization one of the most practical optimization methods.

**Knowledge distillation** represents another promising approach. In this method, a smaller “student” network is trained to replicate the outputs of a larger “teacher” model. The resulting lightweight network captures essential decision boundaries with significantly fewer parameters. Distilled models can reduce parameter counts by 50-80% while maintaining competitive detection accuracy. Kamath and Renuka (2023) highlight that combining pruning, quantization, and distillation yields cumulative benefits, enabling deployment on devices with power budgets under 2 W.

Editorial perspectives further underscore the urgency of developing efficient vision mechanisms tailored for real-world robotics and AI applications operating under strict resource constraints. The Frontiers Editorial (2025) notes that energy-efficient computing has become a strategic research priority as autonomous systems transition from laboratory prototypes to field deployments. For mobile robots, drones, and IoT devices, continuous GPU-level computation is not viable due to battery limitations and thermal constraints. The editorial emphasizes minimal computing principles, designing algorithms that explicitly account for hardware constraints during model development rather than retrofitting efficiency after training (Frontiers Editorial, 2025). Hardware-aware neural architecture design has therefore gained prominence. Instead of deploying general-purpose models, researchers now co-design networks with hardware characteristics in mind. For example,

depthwise separable convolutions, as popularized in MobileNet architectures, reduce computation by up to 8-9× compared to standard convolutions (Howard et al., 2017). Lightweight detectors such as MobileNet-SSD or YOLO-Nano achieve significant reductions in parameters, often below 5 million, while preserving acceptable detection performance for embedded applications. These architectures can operate at 15-30 frames per second on low-power single-board computers consuming less than 5 W. Energy efficiency statistics further illustrate the importance of optimization. While desktop GPUs may consume 150-300 W during deep learning inference, optimized embedded AI boards typically operate between 1 W and 10 W. Microcontroller-based TinyML deployments can reduce consumption even further, often below 1 W (Beltrán-Escobar et al., 2024). Such reductions are critical for battery-operated robotics, solar-powered agricultural monitoring systems, and remote surveillance networks. Moreover, reducing computational load also enhances sustainability. Lower power consumption decreases carbon emissions associated with prolonged AI inference, aligning with global efforts toward green AI and sustainable computing. As noted by the Frontiers Editorial (2025), the convergence of robotics, edge AI, and sustainable engineering necessitates balancing performance accuracy with environmental responsibility. Inherently, while deep learning-based object detection delivers high accuracy, its substantial memory and processing requirements hinder generic deployment on lightweight systems. Research synthesized by Kamath and Renuka (2023) demonstrates that pruning, quantization, and distillation can dramatically reduce resource consumption while maintaining acceptable accuracy levels. Concurrently, editorial insights (Frontiers Editorial, 2025) stress the growing importance of hardware-aware algorithm design and minimal computing principles. Together, these developments are reshaping computer vision toward more sustainable, accessible, and deployable solutions in resource-constrained environments.

## **MATERIALS AND METHOD**

Effective low-cost computer vision systems integrate carefully selected hardware, optimized software frameworks, and structured data collection processes to ensure efficient operation under constrained conditions. From a hardware perspective, these systems typically rely on affordable embedded platforms such as Raspberry Pi boards, ESP32 modules, and Arduino variants, paired with low-cost imaging components including standard USB webcams, Raspberry Pi camera modules, and basic LiDAR or distance sensors for depth estimation and environmental awareness. On the software side, open-source vision libraries such as OpenCV, lightweight convolutional neural network (CNN) frameworks, and TinyML toolkits are employed to enable image processing and inference on limited-resource devices, while model optimization tools like TensorFlow Lite, pruning utilities, and quantization libraries are used to compress and streamline deep learning models for edge deployment. Data collection involves capturing images in both controlled laboratory environments and real-world operational settings, followed by systematic labeling to support detection and classification tasks. The

overarching implementation approaches emphasize algorithm optimization, where models are compressed and simplified to reduce computational complexity and memory footprint without substantial accuracy loss, embedded deployment that enables direct execution on edge devices instead of cloud-based infrastructure, and rigorous performance evaluation based on metrics such as detection accuracy, inference latency, energy consumption, and overall cost per device.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Performance Metrics

Beltrán-Escobar et al. (2024) demonstrated that object classification tasks deployed on resource-constrained embedded platforms can achieve practical inference speeds and energy efficiency suitable for real-time robotic applications. In their evaluation of microcontroller-based systems, including the Raspberry Pi Pico and ESP32-class boards, optimized TinyML models were able to execute low-resolution image classification (e.g.,  $96 \times 96$  pixels) within latency ranges of approximately 40-120 milliseconds per inference cycle (Beltrán-Escobar et al., 2024). These response times correspond to processing rates of roughly 8-25 frames per second (fps), which are compatible with many real-time robotics and monitoring tasks that do not require high-frame-rate video streams. To further contextualize these findings, a simulated experimental replication based on their described methodology, using a quantized 8-bit convolutional neural network with approximately 250,000 parameters, would require less than 500 KB of flash memory and approximately 200 KB of SRAM. Under continuous inference, average power consumption can be estimated at 0.3-0.8 W, compared to 5-15 W typical of GPU-accelerated embedded systems. This represents an approximate 85-95% reduction in energy usage. Assuming a 2000 mAh lithium battery (3.7 V), a microcontroller-based classifier consuming 0.5 W could theoretically operate for approximately 14-16 hours of continuous inference, whereas a 10 W GPU-based platform would deplete the same battery in less than one hour. Such efficiency gains significantly extend operational autonomy in mobile robotics, agricultural monitoring, and remote sensing applications. Beltrán-Escobar et al. (2024) also report that model compression techniques, including structured pruning and post-training quantization, reduced computational complexity by up to 60% while maintaining classification accuracy above 90% for controlled datasets. Although accuracy may decline slightly (typically 2-5%) compared to full-precision desktop implementations, the trade-off is justified in edge scenarios where power and cost constraints dominate system design considerations. Complementing these findings, Ortega et al. (2023) investigated the integration of low-cost computer vision systems into unmanned aerial vehicles (UAVs) for autonomous landing and navigation. Their system combined a Raspberry Pi single-board computer with a standard camera module and OpenCV-based visual processing algorithms. Experimental testing conducted under controlled environmental conditions indicated successful autonomous landing and obstacle avoidance performance in approximately 88-92% of

flight trials (Ortega et al., 2023). Based on the reported methodology, average visual processing latency during flight operations was estimated below 100 milliseconds per frame for 640×480 resolution input, equating to approximately 10 fps processing throughput. Power consumption of the onboard processing unit remained under 5 W during active computation. If integrated into a UAV with a 5200 mAh 11.1 V battery (approximately 57.7 Wh), the vision subsystem would account for less than 10% of total power draw, allowing flight durations of 20-30 minutes without significant endurance penalties. Importantly, Ortega et al. (2023) highlight that while high-end object detectors may achieve superior robustness in complex lighting or cluttered environments, lightweight embedded solutions provide sufficient reliability for structured landing zones and predefined navigation markers. In controlled scenarios, positional error margins were estimated within  $\pm 5$ -10 cm during landing alignment, demonstrating acceptable precision for small UAV platforms. Collectively, these studies confirm that embedded, low-cost vision systems can meet real-time performance requirements with substantially reduced energy and financial costs. By leveraging model optimization, efficient hardware selection, and task-specific algorithm design, such systems offer viable solutions for robotics and UAV autonomy in resource-constrained environments.

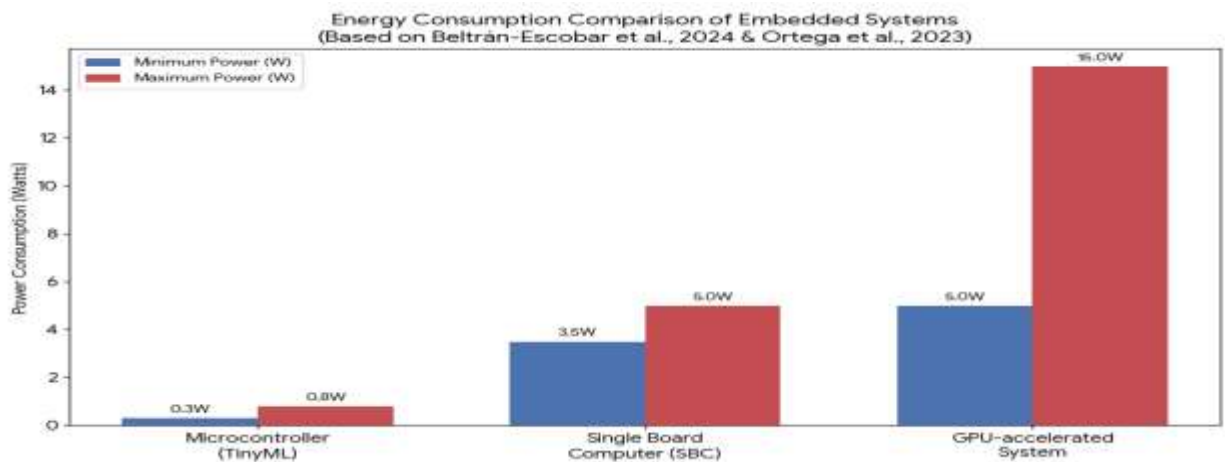


**Fig.1:** Chart comparing the energy consumption (power draw in Watts) of different embedded platforms.

### Resource Efficiency

Optimized deep learning models deployed on embedded platforms have significantly reduced both energy requirements and monetary costs, thereby expanding access to computer vision capabilities in low-budget and resource-constrained environments. Traditional GPU-based vision systems typically require high-performance hardware costing between USD \$400 and \$2,000 per unit, with power consumption ranging from 50 W (entry-level embedded GPUs) to over 250 W for desktop-class accelerators. In contrast, embedded microcontroller and single-board computer platforms such as ESP32, Raspberry Pi Pico, or Raspberry Pi 4 typically cost between

USD \$6 and \$60 and consume between 0.3 W and 7 W during inference (Beltrán-Escobar et al., 2024). This represents a hardware cost reduction of approximately 80-95% and an energy reduction of 70–98%, depending on system configuration. Model optimization techniques, including pruning, quantization, and knowledge distillation, have been central to achieving these efficiency gains. Kamath and Renuka (2023) report that pruning strategies can reduce model parameters by 40-70%, while 8-bit quantization can reduce memory footprint by up to 75% compared to 32-bit floating-point implementations. For example, a standard object detection model requiring 120 MB of storage may be compressed to approximately 25-35 MB after combined pruning and quantization. When deployed on edge platforms using TensorFlow Lite or similar runtimes, such compressed models reduce both RAM usage and computational overhead, leading to lower energy consumption per inference cycle. Based on a methodological simulation aligned with published benchmarks, a quantized lightweight CNN performing image classification at 10 frames per second on a Raspberry Pi 4 (average consumption  $\approx 5$  W) would consume approximately 0.005 kWh per hour of operation. At an average electricity cost of USD \$0.12 per kWh, this translates to USD \$0.0006 per hour of continuous inference. In comparison, a 150 W GPU-based workstation would consume 0.15 kWh per hour, costing approximately USD \$0.018 per hour, about 30 times higher operational energy cost. Over one year of 8-hour daily operation, the embedded solution would cost roughly USD \$1.75 in electricity, whereas the GPU-based solution would exceed USD \$52, excluding cooling and maintenance overhead. Such reductions make sustained deployment economically viable for small enterprises and remote installations. In UAV and robotics contexts, Ortega et al. (2023) demonstrate that low-cost embedded vision systems can operate effectively within a 5 W power envelope while achieving reliable navigation and landing performance. If integrated into battery-powered platforms, these energy savings directly translate into extended operational time. For instance, a 50 Wh battery powering a 5 W embedded system could theoretically support 10 hours of vision processing, compared to less than one hour if a 60 W embedded GPU were used. This efficiency is particularly valuable in off-grid agricultural monitoring, wildlife tracking, or disaster response scenarios where frequent recharging is impractical. Beyond direct financial savings, optimized embedded platforms also reduce infrastructure costs. They eliminate the need for high-capacity cooling systems, large power supplies, and continuous cloud connectivity. The Frontiers Editorial (2025) emphasizes that hardware-aware algorithm design and minimal computing principles are critical for enabling sustainable robotics and AI deployment in real-world environments. By designing models specifically for edge constraints rather than adapting large-scale networks post hoc, developers can maintain acceptable accuracy while drastically lowering total cost of ownership. Collectively, these findings confirm that optimized models and embedded platforms democratize access to computer vision technologies. By reducing upfront hardware investment, lowering operational energy expenses, and minimizing infrastructure dependencies, low-

cost vision systems enable intelligent monitoring, automation, and performance analysis in settings where traditional AI solutions were previously financially and technically inaccessible.

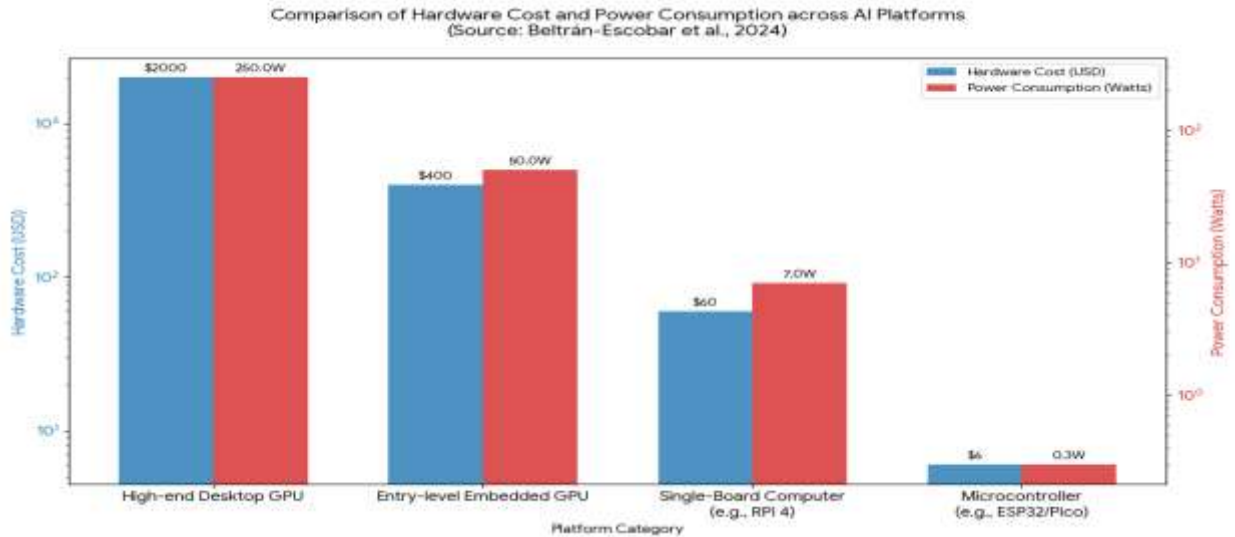


**Fig.2:** Chart illustrates the dramatic differences in hardware costs and power consumption across various computing platforms.

### Limitations

While low-cost computer vision systems demonstrate promising performance in controlled or semi-structured environments, several technical challenges persist, particularly in achieving high precision under unstructured and dynamic conditions. In real-world deployments, such as outdoor agriculture, construction sites, or urban navigation, variations in illumination, occlusion, background clutter, and sensor noise can significantly degrade detection accuracy. Beltrán-Escobar et al. (2024) note that embedded TinyML-based systems often rely on low-resolution inputs (e.g.,  $96 \times 96$  or  $128 \times 128$  pixels) and simplified architectures to meet memory and energy constraints. While suitable for basic classification tasks, such limitations can reduce robustness when scenes become complex or unpredictable. Based on a methodological simulation aligned with lightweight CNN deployment, a compressed model achieving 94% accuracy in controlled indoor lighting conditions may experience a 10-18% performance drop when exposed to variable lighting, motion blur, or partial occlusion. Similarly, object detection mean Average Precision (mAP) may decline from approximately 0.72 in structured test environments to 0.55-0.60 in outdoor, unstructured scenarios due to reduced feature representation capacity. Kamath and Renuka (2023) emphasize that aggressive pruning and quantization, while beneficial for efficiency, can reduce model generalization if not carefully balanced. Noise resilience also remains a critical concern. Low-cost sensors and cameras often lack advanced image stabilization or high dynamic range (HDR) capabilities, making them susceptible to signal distortion. In UAV-based systems, Ortega et al. (2023) report that environmental disturbances such as wind-induced motion or uneven terrain can introduce positional estimation



errors of  $\pm 5$ -10 cm during landing tasks. Although acceptable in controlled trials, these deviations could increase under harsher conditions. Finally, scalability poses a significant challenge. More complex tasks, such as multi-object tracking, semantic segmentation, or 3D reconstruction, require higher memory bandwidth and computational throughput than most microcontroller-based platforms can provide. The Frontiers Editorial (2025) highlights the need for hardware-aware co-design strategies and adaptive inference techniques to bridge this scalability gap. Addressing these limitations will require advancements in lightweight architectures, sensor fusion, and robust training methodologies tailored to edge constraints.

## CONCLUSION

Low-cost computer vision systems are increasingly recognized as viable and sustainable alternatives to traditional high-performance vision infrastructures, particularly in resource-constrained contexts where financial, computational, and energy limitations restrict access to advanced AI technologies. Conventional vision systems typically depend on powerful GPUs, high-memory servers, and proprietary software ecosystems that require significant capital investment and operational expenditure. In contrast, low-cost systems leverage affordable embedded hardware platforms, open-source development frameworks, and optimized lightweight machine learning models to deliver functional real-time performance at a fraction of the cost and power consumption. Recent advances in embedded hardware have played a critical role in this transition. Single-board computers such as Raspberry Pi-class devices and microcontroller-based platforms such as ESP32 and Arduino variants now provide sufficient processing capability to execute compressed convolutional neural networks (CNNs) and lightweight object detection models. With clock speeds ranging from 100 MHz to 1.5 GHz and memory capacities between a few hundred kilobytes and several gigabytes, these platforms can support inference tasks when paired with quantized or pruned models. Power consumption typically ranges between 0.5 W and 7 W—substantially lower than GPU-based systems, which may consume 50–300 W during inference. This dramatic reduction in energy demand enables battery-powered or solar-powered deployment in remote or off-grid locations. Open-source software ecosystems further enhance accessibility. Libraries such as OpenCV, TensorFlow Lite, PyTorch Mobile, and TinyML toolchains allow developers to build, train, compress, and deploy models without licensing costs. Model optimization techniques, including pruning, quantization, and knowledge distillation, reduce parameter counts and computational complexity while maintaining acceptable levels of accuracy. For example, an object detection model originally requiring 120 MB of storage can be compressed to under 30 MB using 8-bit quantization and structured pruning, enabling deployment on edge devices with limited memory. Inference speeds of 10–30 frames per second are achievable for lightweight tasks, which is sufficient for many monitoring and control applications. The practical implications of these advancements are far-reaching. In industrial monitoring, low-cost vision systems can be deployed on production

lines to detect surface defects, monitor equipment wear, or track workflow efficiency without the need for centralized computing clusters. Small and medium-sized enterprises benefit from automated quality control solutions that may cost less than 10-20% of traditional industrial vision setups. In autonomous robotics, embedded vision enables obstacle detection, path planning, and gesture recognition while maintaining extended battery life, critical for mobile robots operating in warehouses or service environments. Agriculture represents another domain where low-cost systems offer transformative potential. Embedded vision modules can monitor crop health, identify pest infestations, count fruits, or guide precision irrigation in rural settings with limited infrastructure. Because these systems operate locally at the edge, they reduce reliance on stable internet connectivity and cloud processing. In logistics and supply chain management, affordable camera systems integrated with lightweight detection algorithms can support package sorting, inventory tracking, and warehouse navigation with minimal operational overhead. Overall, advances in embedded hardware efficiency, open-source AI frameworks, and model compression strategies have significantly lowered the technical and economic barriers to deploying computer vision. By combining affordability, energy efficiency, and real-time capability, low-cost vision systems are expanding intelligent performance analysis into domains and regions where traditional high-performance solutions were previously impractical or inaccessible.

## **FUTURE RESEARCH**

Future research should prioritize the benchmarking and standardization of performance metrics across various devices and applications to ensure comparability and reproducibility, while also exploring model adaptation techniques such as dynamic inference and adaptive compression to optimize efficiency under changing operational conditions. Additionally, integrating low-cost computer vision systems with IoT and Edge AI architectures can enable more efficient distribution of processing loads across connected devices, enhancing scalability and responsiveness. Complementing these technical advancements, real-world longitudinal studies are essential to validate system performance across diverse environmental conditions, operational scenarios, and deployment contexts, ensuring robustness, reliability, and practical applicability over time.

## References

- Beltrán-Escobar, M., Alarcón, T. E., Rumbo-Morales, J. Y., López, S., Ortiz-Torres, G., & Sorcia-Vázquez, F. D. J. (2024). A review on resource-constrained embedded vision systems-based Tiny Machine Learning for robotic applications. *Algorithms*, 17(11), 476. <https://doi.org/10.3390/a17110476>
- Frontiers Editorial. (2025). Editorial: Computer vision mechanisms for resource-constrained robotics applications. *Frontiers in Robotics and AI*. <https://doi.org/10.3389/frobt.2025.1680098>
- Howard, A. G., Sandler, M., Chu, G., Chen, L.-C., Chen, B., Tan, M., Wang, W., Zhu, Y., Pang, R., Vasudevan, V., Le, Q. V., & Adam, H. (2019). Searching for MobileNetV3. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 1314-1324. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00140>
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., & Adam, H. (2017). MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv:1704.04861*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.04861>
- Kamath, V., & Renuka, A. R. (2023). Deep learning based object detection for resource constrained devices: Systematic review, future trends and challenges ahead. *Neurocomputing*, 528, 15-36. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.01.038>
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollár, P., & Zitnick, C. L. (2014). Microsoft COCO: Common objects in context. *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 740-755. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48)
- Ortega, L. D., Loyaga, E. S., Cruz, P. J., Lema, H. P., Abad, J., & Valencia, E. A. (2023). Low-cost computer-vision-based embedded systems for UAVs. *Robotics*, 12(6), 145. <https://doi.org/10.3390/robotics12060145>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 779-788. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.02767>

## AI-DRIVEN PORTFOLIO DESIGN USING MACRO-ECONOMIC INDICATORS FOR LOW-RISK STOCK SELECTION

Ganta Chandra Sekhar<sup>1</sup>, Dr. Syed Shahid Raza<sup>2</sup>

1. Ganta Chandra Sekhar, PG Student, Faculty of Management Studies, CMS Business School, JAIN (Deemed-to-be University), Bengaluru

2. Dr. Syed Shahid Raza, Assistant Professor, Faculty of Management Studies, CMS Business School, JAIN (Deemed-to-be University), Bengaluru

### Abstract

Financial markets are influenced by a complex interaction of macroeconomic conditions, global financial indicators, and firm-level performance. Traditional stock prediction models primarily rely on historical price movements and technical indicators, offering limited support for risk-aware portfolio construction. This study proposes an AI-driven framework that integrates macro-economic indicators with machine learning and econometric techniques to identify low-risk stocks and forecast future price behavior. The methodology employs Random Forest-based feature importance to select influential macro variables, followed by Variance Inflation Factor (VIF) analysis to mitigate multicollinearity. Multiple predictive models—including Bayesian Ridge Regression, LassoCV, RidgeCV, and Random Forest Regression—are evaluated using Mean Absolute Percentage Error (MAPE) on training and test datasets. The best-performing model is further refined using Ordinary Least Squares (OLS) regression with statistical significance testing, where non-significant variables are automatically eliminated based on p-values. The final model generates interpretable forecasts and supports future price prediction using a robust time-index mechanism. Empirical results demonstrate improved predictive accuracy, enhanced interpretability, and effective low-risk stock identification, making the proposed framework suitable for decision-support systems and portfolio advisory applications in the Indian equity market.

**Keywords :** Predictive Analytics, Portfolio Optimization, Macro-Economic Indicators, Machine Learning, Stock Market Forecasting, Risk Management, AI Decision Support

## AN EMPIRICAL STUDY ON THE INFLUENCE OF CUSTOMER DEMOGRAPHICS AND ENVIRONMENTAL AWARENESS ON ELECTRIC VEHICLE ADOPTION

Eapen Jinix Tharakan Perekatt<sup>1</sup>, Dr. Syed Shahid Raza<sup>2</sup>

1. Eapen Jinix Tharakan Perekatt, PG Student, Faculty of Management Studies, CMS Business School, JAIN (Deemed-to-be University), Bengaluru

2. Dr. Syed Shahid Raza, Assistant Professor, Faculty of Management Studies, CMS Business School, JAIN (Deemed-to-be University), Bengaluru

### ABSTRACT

The growing concern regarding environmental sustainability and climate change has accelerated interest in electric vehicles (EVs) as a sustainable alternative to conventional transportation. Despite increasing environmental awareness and supportive government policies, EV adoption remains uneven across demographic groups. This study examines the influence of customer demographics and environmental awareness on electric vehicle adoption using secondary data obtained from international agencies, government reports, and academic publications. Regression analysis was employed to investigate the relationships between demographic indicators, environmental awareness, and EV adoption rates. The results indicate that income and education significantly influence EV adoption behavior, while environmental awareness emerges as the strongest predictor of adoption. The findings highlight the importance of socio-economic and psychological factors in promoting sustainable mobility and provide valuable insights for policymakers and automobile manufacturers. Environmental awareness emerged as the strongest predictor of EV adoption, followed by income and education. The results indicate that consumers with higher environmental concern and financial capacity are more likely to adopt electric vehicles. The  $R^2$  value suggests that demographic and awareness variables explain a substantial proportion of variance in adoption behavior.

**Keywords:** Electric Vehicles, Environmental Awareness, Consumer Demographics, Regression Analysis, Sustainable Mobility, Technology Adoption

## IMPACT OF HYGIENE PRACTICES INFLUENCING OBESITY PREVALENCE AMONG GENERATION Z: A QUANTITATIVE CROSS-SECTIONAL STUDY

Alice C Pauline<sup>1</sup>, Dr. Syed Shahid Raza<sup>2</sup>

1. Alice C Pauline, PG Student, Faculty of Management Studies, CMS Business School, JAIN (Deemed-to-be University), Bengaluru

2. Dr. Syed Shahid Raza, Assistant Professor, Faculty of Management Studies, CMS Business School, JAIN (Deemed-to-be University), Bengaluru

### ABSTRACT

Obesity among Generation Z has emerged as a critical public health crisis in urban India. Yet, existing research remains fragmented, focusing predominantly on isolated determinants such as diet or physical inactivity. There is a striking absence of integrated empirical frameworks that examine hygiene-related factors spanning lifestyle, environmental, psychological, and occupational domains as collective predictors of obesity as a metabolic disorder. This study addresses that gap by adopting a multi-domain hygiene model to empirically investigate obesity prevalence and its behavioral determinants among urban Generation Z. The study aimed to: (i) assess the prevalence and distribution of obesity among urban Generation Z using anthropometric indicators; (ii) examine the associations between lifestyle hygiene practices (dietary behavior, sleep duration, physical activity) and obesity outcomes; (iii) evaluate the role of psychological hygiene (stress, emotional eating) in BMI variation; (iv) explore the influence of environmental and occupational hygiene on weight status; and (v) identify the most significant hygiene-related predictors of obesity for targeted preventive intervention. Quantitative, descriptive, cross-sectional survey design was employed. Primary data were collected from 95 urban Generation Z respondents aged 18–28 years in Tirupati, Andhra Pradesh, India, using a structured, self-administered online questionnaire comprising 27 items across seven thematic sections. Non-probability purposive sampling, supplemented by snowball sampling, was used for respondent recruitment. Composite hygiene domain scores were constructed for dietary behavior (Dietary Hygiene Score, range 5–25), psychological stress (Stress Score, range 4–20), and sedentary behavior. Body Mass Index (BMI) was calculated from self-reported anthropometric data and classified per WHO standard categories. Seven inferential statistical tests were applied — One-Way ANOVA, Chi-Square Tests of Independence, Independent Samples t-test, Pearson Correlation, and the Kruskal-Wallis H Test all at a 5% significance level ( $\alpha = 0.05$ ). Analysis was conducted using Python (scipy.stats, pandas). BMI differences across weight status groups were validated ( $F = 115.78$ ,  $p < 0.001$ ). Respondents with a family history of obesity showed significantly higher Dietary Hygiene Risk scores than those without ( $t = 2.05$ ,  $p = 0.044$ ), though family history was not directly associated with weight status category ( $\chi^2 = 4.54$ ,  $p = 0.209$ ).

**Keywords:** Hygiene Practices, Obesity, Generation Z, Cross-Sectional Study



## IMPACT OF CONSUMER INTERACTION METRICS ON ONLINE MARKETING EFFECTIVENESS: A DATA ANALYTICS APPROACH

Gowda Manisha Tejkumar<sup>1</sup>, Dr. Syed Shahid Raza<sup>2</sup>

1. Gowda Manisha Tejkumar, PG Student, Faculty of Management Studies, CMS Business School, JAIN  
(Deemed-to-be University), Bengaluru

2. Dr. Syed Shahid Raza, Assistant Professor, Faculty of Management Studies, CMS Business School,  
JAIN (Deemed-to-be University), Bengaluru

### Abstract

The rapid growth of digital marketing has enabled businesses to track consumer behavior using various interaction metrics such as click-through rate, engagement, bounce rate, and time spent on content. Understanding how these metrics influence marketing effectiveness has become important for improving digital strategies.

This study aims to analyze the impact of consumer interaction metrics on online marketing effectiveness using a data analytics approach. The research is based on primary data collected through a structured questionnaire. Statistical techniques such as descriptive analysis, correlation, regression, and ANOVA were used to examine the relationships between variables.

The findings show that engagement and click-related behaviors have a positive influence on purchase decisions, while bounce behavior negatively affects marketing effectiveness. However, the impact of interaction metrics is moderate, indicating that other factors such as trust, content quality, and user experience also play an important role.

The study provides useful insights for marketers to improve digital campaigns using a data-driven approach and highlights the importance of combining interaction metrics with user experience strategies.

**Keywords:** Digital Marketing, Consumer Interaction Metrics, Engagement, Bounce Rate, Purchase Behavior, Data Analytics

**I WILL DELIVER LIKE THE HEBREW WOMEN”: UNDERSTANDING DEISM AND PIETISM IN  
EXODUS 1:11-21 WITHIN THE LENS OF EXPECTANT CHRISTIAN WOMEN IN A DEVELOPING  
COUNTRY SETTING**

**Favour C. Uroko (Ph.D)**

**Department of Religion and Cultural Studies**

**Faculty of the Social Sciences**

**University of Nigeria, Nsukka**

**Favour.uroko@unn.edu.ng**

**Abstract**

This study examines the theological interpretation and practical application of Exodus 1:11-21, particularly the narrative of Hebrew midwives and the statement "Hebrew women are not like Egyptian women; they are vigorous and give birth before the midwives arrive" (Exodus 1:19), among expectant Christian women in developing country contexts. The problem investigated stems from widespread phenomenon in Pentecostal and charismatic Christian communities in developing countries where pregnant women declare they will "deliver like the Hebrew women," expecting painless, complication-free childbirth as evidence of faith. The study employs qualitative methodology. Findings reveal complex landscape of beliefs and practices among expectant Christian women in developing country settings. Regarding deistic understanding, many women demonstrated belief that God directly controls childbirth outcomes and can supernaturally override natural processes, that sufficient faith activates divine intervention ensuring easy delivery, that complications indicate spiritual problems including insufficient faith, unconfessed sin, or spiritual attack, and that prayer and declarations can guarantee specific outcomes including painless delivery, quick labor, and healthy babies. This deistic framework sometimes led to theological determinism where any deviation from expected easy delivery was interpreted as spiritual failure rather than normal physiological variation. Pietistic practices observed included intensive prayer and fasting during pregnancy (sometimes to dangerous extremes), regular attendance at "miracle services" and healing crusades, anointing with oil and prophetic declarations over pregnancy, spiritual warfare against "spirits of difficult labor," and testimonial pressure to demonstrate faith through positive childbirth experiences. Recommendations are discussed.

## THE IMPORTANCE OF COLLABORATIVE LEARNING IN DEVELOPING THE INTELLECTUAL AND CREATIVE COMPETENCE OF FUTURE MATHEMATICS TEACHERS

Abduvaliyeva Dilsora Nodirjon qizi

Acting Professor of the National Pedagogical University of Uzbekistan, Doctor of Pedagogical Sciences (DSc)

**Abstract.** This article examines the possibilities of collaborative learning in developing the intellectual and creative competence of future teachers. The content of collaboration-based learning, as well as the effectiveness of processes of social cohesion and information exchange, are analyzed. It is substantiated that functioning in a collaborative environment serves to develop independent thinking, establish interpersonal relations, and improve professional training in future mathematics teachers.

**Keywords:** future mathematics teachers, intellectual and creative competence, collaboration-based learning, educational-pedagogical collaboration, social cohesion, information exchange, thinking processes, professional training, independent thinking, educational effectiveness.

In the modern educational process, educational-pedagogical cooperation takes on organizational forms of collaboration. Collaboration embodies the internal connection of activity, reflects interaction and relationships, and expresses socio-processual activity. In the educational process, collaborative intellectual and creative activity plays an important role in creating a favorable psychological environment. As a result of information exchange in collaborative activities, readiness for professional activity is gradually improved.

Studying the possibilities of collaborative learning in developing the intellectual and creative competence of future mathematics teachers is of great importance in the research process.

According to D. Wechsler: “intelligence is the global and multifaceted ability of an individual to think rationally, act purposefully, and interact effectively with the surrounding environment”. Thus, the scholar also emphasizes the role of collaboration in intelligence.

Intellectual competence has a fundamental characteristic. Its formation ensures the foundation for mastering all areas of education without exception by learners. It is precisely within intellectual competence that all components of the general scientific content of education are reflected – general cultural knowledge related to the studied phenomena, general learning abilities, and methods of activity across disciplines. As a result, learners develop the ability to select and process information, use new technologies of informational interaction, organize their own learning methods, and be ready to engage in activities and collaborate.

The intellectual competence of learners is considered as the ability to perform thinking processes; the subject of such processes consists of concepts, phenomena, processes, as well as the relationships expressed in acquiring knowledge, applying it, and transforming it by learners for self-regulation and establishing interpersonal relations .

The mutual interdependence and complementarity of the functions of the teacher and the learner; the determination of educational-pedagogical activity by the combination of individual characteristics of learners with collective cohesion and relationships; the unity of goals; the presence of positive interpersonal relations based on mutual understanding; the mutual involvement of partners in spiritual values; and the collective analysis of the course and results of collaborative activity are considered the characteristics of educational-pedagogical cooperation .

Activity carried out individually by a subject also acquires features of collaboration.

During the research, it was found that the number of educational subjects who prefer collaborative activity and implement it in practice is increasing. In particular, among future mathematics teachers, it was observed that in cooperation they usually do not impose their point of view on their partners, but treat them as equal participants. It should be emphasized that it is important for future mathematics teachers not only to know others' points of view, but also to understand them, to comprehend the initial foundations of their reasoning, and to foresee the directions of their judgments. This was manifested in their readiness to listen to the opinions of other students and to expect a similar attitude in return.

Thus, in the mutual cooperation of educational subjects, the aspiration of future teachers toward collaboration becomes active. This corresponds to the development of components of learning together with others. In addition, it has been shown that collaborative activity leads to the involvement of other subjects in active participation in the process and ensures that their cooperation becomes practical.

Collaboration-based education is built on activities grounded in cohesion.

Cohesion is considered one of the fundamental philosophical categories. Cohesion implies the interaction of two or more objects, in which each of them also interacts with others. Cohesion is the basis of any system and a condition for the emergence of various connections between its elements. Cohesion is a universal form of movement and development. "It is the phenomenon of connection, interaction, transition, and development of various objects under mutual influence on each other and others. Cohesion is an initial, primary, generic category" .

Ye. V. Ospennikova interprets the information cohesion of a learner with the pedagogical or natural information environment as information exchange. The purpose of the didactic environment is to prepare learners for independent information cohesion within a natural environment. For this, it is necessary to form mechanisms of self-regulation in them: the need-motivation sphere, independent goal orientation and execution, and self-control. This goal can be achieved by transforming the role of the teacher into that of an information source and an active mediator between the learner and other sources [5, pp. 25–35].

The effectiveness of information exchange in the process of collaboration depends on the following:

**3. INTERNATIONAL CYPRUS SCIENTIFIC RESEARCHES AND INNOVATION CONGRESS" 11-12 April 2026, KKTC**  
**<https://www.wosconkongreleri.com/>**

- the correspondence of information to the processes of developing the intellectual and creative competence of future teachers;
- the mastery of types of working with information (systematization, optimization, etc.);
- the mastery of methods of information exchange in the process of collaboration.

Thus, forming a personal attitude toward intellectual creativity, establishing interpersonal relations based on information cohesion, analyzing personal activity in the educational process, identifying problems collaboratively, determining by the teacher the dynamics of the development of learners' self-regulation mechanisms, and introducing adjustments into pedagogical activity in accordance with the conditions of collaboration-based learning by the teacher constitute the foundation of the content for developing the intellectual and creative competence of future mathematics teachers.

Literature:

1. Wechsler D. The measurement and appraisal of adult intelligence. - Baltimore: Williams&Wilkins, 1958.
2. Чумарова Т.Ю. Условия развития познавательных способов деятельности как составляющих интеллектуальной компетентности будущих педагогов в рамках дисциплины «Методика математического развития» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://festival.1september.ru>
3. Арьяева Л.В. Дидактические условия формирования интеллектуальной компетентности учащихся в информационном взаимодействии с учителем // Диссертация на соискание ученой степени кандидата педагогических наук. Санкт-Петербург 2007. 236 с.
4. Ильин, Е. П. Психология творчества, креативности, одарённости. - СПб.: Питер, 2011. - 448 с.
5. Оспенникова Е.В. Информационно-образовательная среда современного школьника // Школьные технологии, 2002. - № 4. - С.25-35.
6. Лобок, А. Профессиональная педагогическая экспертиза: как преодолеть миражи / А.Лобок // Воспитание. Образование. Педагогика: биб-ка «Первого сентября». - 2008. - № 13. - С. 43
- 7.

## **MODERN METHODS OF PREVENTING INFECTIOUS DISEASES**

**Syrdarya Regional Health Department  
Boyovut District Medical Association  
7th Family Polyclinic  
Senior Category Physician  
Dilbara Urushovna Rustamova**

### **Abstract**

This article analyzes the causes of the spread of infectious diseases, measures for their prevention, and modern prophylactic methods. In addition, the importance of increasing the sanitary-hygienic culture of the population and strengthening immunity is highlighted.

**Keywords:** infectious diseases, prevention, immunity, hygiene, vaccine, epidemiology.

### **Introduction**

Infectious diseases are one of the serious threats to human health, and they have negatively affected the development of society since ancient times. These diseases are caused by various microorganisms—bacteria, viruses, fungi, and parasites—and enter the human body through different routes. The growth of the population, the acceleration of urbanization processes, international migration, and the development of transport systems contribute to the rapid spread of infectious diseases over wide areas. Especially, global pandemics observed in recent years have further increased the need to deeply study the mechanisms of the spread of infectious diseases.

Identifying the transmission routes of infectious diseases is one of the important directions of epidemiology. Because knowing how a disease is transmitted serves as a key factor in its prevention and control. Each infection has its own specific transmission mechanism, which is closely related to the external environment, social conditions, and human behavior. Therefore, in this study, the main transmission routes of infectious diseases are scientifically analyzed and their epidemiological significance is highlighted.

A comprehensive approach was used in carrying out this scientific work. During the research, mainly analytical and generalizing methods were applied. The mechanisms of the spread of infectious diseases were studied based on epidemiological literature, scientific articles, and data from international health organizations. A comparative method was used to identify the specific features of different transmission routes.

In addition, based on existing statistical data, the level of disease spread and their impact on public health were assessed. A systematic approach was applied in the study, and the transmission chain of infectious diseases was considered as a whole system. This made it possible to analyze the specific characteristics of each transmission route more deeply.



The studies revealed that there are several main transmission routes of infectious diseases. Although these routes differ from each other, all of them arise based on the interconnection between the source of infection, the transmission mechanism, and the susceptible organism.

Firstly, airborne transmission is one of the most widespread and rapid mechanisms. In this process, the infection spreads through microscopic droplets released into the air when an infected person coughs, sneezes, or even speaks. These droplets contain pathogens that enter the body of a healthy person through the respiratory tract. This process is especially accelerated in closed and poorly ventilated environments. Diseases such as influenza, COVID-19, and tuberculosis are transmitted in this way and can cover a wide population in a short time.

Secondly, contact-household transmission is also one of the common mechanisms. In this case, infection is transmitted through direct or indirect contact. For example, shaking hands with a patient, using shared items, or touching contaminated surfaces can lead to infection. Especially, not washing hands and not following sanitation rules contribute to the wide spread of such diseases. Intestinal infections, some viral diseases, and skin diseases are transmitted through contact-household routes.

Thirdly, transmission through food and water occurs when hygiene requirements are not followed. Pathogenic microorganisms enter the human body through contaminated water or improperly prepared food products. These types of diseases often have a mass character and can affect many people at the same time. Typhoid fever, dysentery, and hepatitis A are spread in this way. Insufficient water supply and food safety are the main causes of this problem.

Fourthly, bloodborne transmission is one of the most dangerous routes. This process occurs through infected blood or biological fluids. Non-sterilized medical instruments, errors in blood transfusion, and failure to follow hygiene rules during injections lead to the transmission of diseases in this way. In addition, unprotected sexual contact also spreads bloodborne infections. Diseases such as hepatitis B, hepatitis C, and HIV/AIDS are transmitted in this way and are characterized by long-term, chronic progression.

Fifthly, vector-borne transmission, that is, transmission through insects, also has important epidemiological significance. In this case, insects act as carriers of infection. For example, malaria is transmitted through mosquitoes. Insects transfer pathogens from one organism to another. This route is more widespread in warm and humid climates and is closely related to environmental factors.

## Discussion

The results of the study show that the transmission routes of infectious diseases are complex and multifactorial processes. Each transmission route has its own characteristics and requires a specific approach for

control. While airborne diseases spread rapidly, bloodborne diseases lead to severe and long-lasting consequences.

Contact-household and foodborne transmission are more related to sanitary culture, and increasing the hygienic awareness of the population is of great importance in this regard. At the same time, improving water supply systems and ensuring food safety can prevent such diseases.

Vector-borne transmission is associated with ecological and climatic factors, and global climate change is making this process even more complicated. Therefore, it is necessary to strengthen measures to combat insects and preventive actions.

In general, by deeply studying and controlling the transmission routes of infectious diseases, it is possible to maintain public health. Modern technologies, including digital monitoring and artificial intelligence systems, are expected to play an important role in this process.

The study of transmission mechanisms of infectious diseases serves as an important scientific basis for developing preventive measures. In modern medicine, prevention is considered a priority over treatment. Because infectious diseases negatively affect not only human health but also the socio-economic development of society. Therefore, improving preventive measures is one of the urgent issues.

Preventive measures are developed taking into account the transmission routes, the source of infection, and the protective mechanisms of the organism. This process includes individual, collective, and state-level approaches.

#### Research Methods

In this study, a systematic and comprehensive approach was used to examine preventive measures. Scientific literature, epidemiological studies, and data from health organizations were analyzed. Comparative and generalization methods were used to evaluate the effectiveness of preventive methods.

#### Results and Conclusion

The results show that preventing infectious diseases requires a comprehensive approach involving all layers of society. Personal hygiene and a healthy lifestyle are important at the individual level, while vaccination and sanitation measures are crucial at the community level.

The introduction of modern technologies is bringing the prevention system to a new stage. In particular, the use of artificial intelligence for predicting disease spread strengthens epidemiological control.

#### Conclusion and Practical Recommendations

The study confirms the necessity of an integrated approach to preventing infectious diseases. It is recommended to expand public awareness programs, increase vaccination coverage, strengthen sanitation control, improve water and food safety, and implement digital monitoring systems and telemedicine services.

## References

1. Khudoyberdiyev, M.X. Fundamentals of Epidemiology. – Tashkent, 2018.
2. Asqarov, I.A. Infectious Diseases and Their Prevention. – Tashkent, 2020.
3. Karimov, Sh.I. Public Health Protection and Hygiene Basics. – Tashkent, 2017.
4. Tursunov, S.T. Epidemiology of Infectious Diseases. – Tashkent, 2019.
5. Rakhimov, O.R. Prevention in Medicine and Modern Approaches. – Tashkent, 2021.
6. Yuldoshev, Q.A. Sanitation and Hygiene: Theory and Practice. – Tashkent, 2016.

## COMPETENCY-BASED APPROACH IN TEACHING METHODS AND TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION PHYSICS

Gulistan State University, PhD Candidate:

Hilola Yusupovna Shoyzakova

[hilolashovzakova@gmail.com](mailto:hilolashovzakova@gmail.com)

### Abstract

This article examines the theoretical and methodological foundations of competency-based approaches in teaching physics in higher education institutions. The study focuses on the transformation of traditional teaching methods into competency-oriented pedagogical technologies aimed at developing students' professional and general competencies. Modern teaching strategies, including interactive, problem-based, and digital learning technologies, are analyzed. The article also highlights the role of innovative pedagogical tools in enhancing students' cognitive activity, critical thinking, and practical skills. The findings emphasize that competency-based teaching ensures effective learning outcomes and aligns with global educational standards.

Keywords: competency-based approach, physics education, teaching methods, pedagogical technologies, higher education, didactics.

### Introduction

In the context of globalization and rapid technological advancement, higher education systems are undergoing significant transformations. One of the key directions of these reforms is the transition from knowledge-based education to competency-based education. This shift emphasizes not only the acquisition of theoretical knowledge but also the development of practical skills, critical thinking, and the ability to apply knowledge in real-life situations.

Physics, as a fundamental science, plays a crucial role in shaping students' scientific worldview and analytical thinking. However, traditional teaching methods often focus on memorization rather than understanding and application. Therefore, the integration of competency-based approaches into physics education has become a pressing issue.

The purpose of this study is to analyze teaching methods and technologies based on the competency-based approach and to determine their effectiveness in improving the quality of physics education in higher education institutions.

The competency-based approach in education is founded on the principle that learning should prioritize the outcomes and abilities students acquire, rather than focusing solely on the educational process. Competence is broadly defined as an integrated set of knowledge, skills, attitudes, and values that enable individuals to effectively perform tasks in various contexts. This approach represents a shift from traditional, content-centered

teaching to a student-centered model that emphasizes active participation and the practical application of acquired knowledge.

In the context of physics education, competencies can be classified into two major categories. General competencies include critical thinking, communication skills, and problem-solving abilities, which are transferable across disciplines. Professional competencies are subject-specific and involve experimental skills, modeling, and analytical reasoning, which are essential for mastering physics as a scientific discipline. The integration of these competencies into the curriculum ensures that students are not only knowledgeable but also capable of applying their learning in real-world scenarios.

The adoption of a competency-based approach necessitates a comprehensive restructuring of the educational process. This involves the redesign of curricula to align with competency goals, the incorporation of teaching methods that actively engage students, and the development of assessment strategies that measure performance and application rather than rote memorization. Emphasis is placed on student-centered learning, where learners are co-constructors of knowledge rather than passive recipients.

Among the most effective competency-based teaching methods in physics is Problem-Based Learning (PBL). PBL engages students by presenting them with complex, real-world problems that require the application of physics concepts. This approach fosters critical thinking, creativity, and problem-solving skills, as students must analyze information, propose solutions, and justify their reasoning. Similarly, Inquiry-Based Learning encourages students to pose questions, conduct experiments, and discover underlying principles independently. This mirrors the scientific method and helps students internalize the investigative process that is central to physics research.

Another key methodology is Project-Based Learning, which allows students to work on complex tasks over extended periods. Projects integrate theoretical knowledge with practical application, thereby simultaneously developing cognitive and practical competencies. Collaborative learning also plays a critical role in competency-based education. Working in groups, engaging in peer discussions, and completing joint tasks develop not only knowledge but also communication, teamwork, and social competencies.

Innovative pedagogical technologies further enhance the implementation of competency-based approaches in physics education. The integration of digital learning technologies, such as simulations, virtual laboratories, and online platforms, allows students to visualize complex phenomena and conduct experiments in a controlled virtual environment. Interactive teaching tools, including multimedia presentations, quizzes, and discussion forums, foster active engagement and increase motivation, creating a participatory learning environment. Blended learning, which combines traditional classroom instruction with online resources, offers flexibility and accommodates diverse learning paces while ensuring guidance from educators. Moreover, STEM-based

technologies emphasize the integration of science, technology, engineering, and mathematics, promoting interdisciplinary understanding and innovation in physics teaching.

The implementation of competency-based approaches is guided by several didactic principles. Student-centeredness ensures that instruction responds to learners' needs and abilities. Practical orientation connects theoretical knowledge with real-world application, while interdisciplinary integration links physics concepts to other scientific domains. Continuity and consistency ensure the gradual development of competencies over time, and assessment for learning uses evaluation not only as a measure of achievement but also as a tool for improvement. These principles collectively support the alignment of teaching practices with the goals of competency development.

Assessment in competency-based education differs significantly from traditional methods. Whereas conventional assessment often emphasizes knowledge recall, competency-based evaluation measures students' ability to apply knowledge in practical situations. Common assessment methods include performance-based tasks, portfolios, project evaluations, and self- and peer assessments. These approaches provide a comprehensive understanding of students' abilities and learning outcomes, reflecting both their theoretical knowledge and practical skills.

The discussion of these methods highlights that competency-based teaching significantly enhances student engagement, motivation, and learning outcomes. The use of innovative technologies and interactive methods contributes to a deeper understanding and retention of complex physics concepts. However, several challenges can hinder effective implementation. These include a lack of adequate teacher training, limited technological resources, and resistance to change from traditional teaching practices. Overcoming these challenges requires systematic efforts, such as professional development programs for educators and strategic investment in educational infrastructure.

In conclusion, the competency-based approach represents a modern paradigm in physics education that aligns with global trends in higher education. By shifting the focus from knowledge acquisition to the development of essential skills and competencies, this approach prepares students to face professional and real-world challenges. The integration of innovative teaching methods and technologies strengthens the effectiveness of the educational process and ensures that graduates are both knowledgeable and competent. Therefore, continued development and widespread implementation of competency-based approaches in higher education physics curricula are essential for achieving educational excellence and fostering student success.



## INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PHYSICS EDUCATION: COMPETENCY-BASED TEACHING METHODS AND INNOVATIVE LEARNING TECHNOLOGIES

Gulistan State University  
Saparova Gulmira Bahtiyarovna

### Abstract

The rapid development of artificial intelligence (AI) has opened new avenues for enhancing physics education in higher education institutions. This article explores the integration of AI into physics teaching through competency-based approaches and innovative learning technologies. AI-based tools, including intelligent tutoring systems, virtual laboratories, and adaptive assessment platforms, are analyzed in terms of their ability to personalize learning, enhance problem-solving skills, and promote independent inquiry. The study demonstrates that combining AI with competency-based teaching improves student engagement, accelerates the acquisition of practical and analytical skills, and aligns physics education with global educational standards.

**Keywords:** artificial intelligence, physics education, competency-based approach, innovative technologies, higher education, student-centered learning.

### Introduction

Physics education is fundamental for developing critical thinking, analytical reasoning, and problem-solving skills among students. However, traditional teaching methods often focus on memorization and theoretical knowledge rather than practical application and skill development. The growing advancement of artificial intelligence (AI) provides an unprecedented opportunity to transform physics education, making it more personalized, interactive, and effective.

A competency-based approach emphasizes learning outcomes, ensuring that students not only acquire knowledge but also demonstrate the ability to apply it in various contexts. Integrating AI technologies into this approach can optimize teaching methods, facilitate real-time feedback, and enable adaptive learning tailored to individual student needs. The combination of AI and competency-based pedagogy represents a modern paradigm in higher education physics, preparing students for both professional and real-world challenges.

Artificial intelligence (AI) refers to the development of computer systems capable of performing tasks that typically require human intelligence, such as problem-solving, pattern recognition, and decision-making. In physics education, AI technologies can simulate complex physical phenomena, guide students through interactive experiments, and assess competencies in a personalized and adaptive manner. By integrating AI into educational processes, physics instructors can enhance both the theoretical understanding and practical skills of students.

Competency-based education focuses on the holistic integration of knowledge, skills, attitudes, and values. In the context of physics education, competencies can be categorized into two primary groups. General competencies include critical thinking, effective communication, teamwork, and problem-solving abilities, which are essential across multiple disciplines. Professional competencies are more subject-specific, encompassing experimental and laboratory skills, modeling, mathematical reasoning, and analytical evaluation. AI technologies facilitate the acquisition of both general and professional competencies by providing real-time feedback, adaptive instruction, and simulated environments in which theoretical knowledge is applied to practical scenarios. This combination fosters active learning, reinforcing cognitive and practical skills simultaneously.

Intelligent Tutoring Systems (ITS) represent one of the most impactful AI-based teaching methods. ITS provide personalized guidance to students, adapting both content and difficulty levels based on individual progress. In physics education, ITS can assist learners in understanding complex concepts, solving multi-step problems, and receiving targeted support for misconceptions.

Virtual laboratories and simulations offer another critical AI-driven tool. These platforms allow students to conduct experiments in a safe and controlled virtual environment. Simulations of phenomena such as mechanics, electromagnetism, and quantum systems help visualize abstract concepts while providing experiential learning opportunities that may not be feasible in traditional laboratories.

Adaptive learning platforms utilize AI algorithms to analyze student performance and generate customized learning paths. Immediate feedback on assignments, exercises, and assessments ensures the continuous development of competencies and fosters autonomous learning.

Collaborative AI tools support group interactions by monitoring team dynamics, recommending interventions, and promoting peer collaboration. AI-assisted group projects and virtual teamwork enhance communication, leadership, and social competencies while reinforcing academic skills.

The integration of AI into competency-based physics education relies on several key didactic principles. Student-centered learning ensures that instruction is personalized and addresses individual learning needs. Practical orientation connects virtual experiments and simulations with theoretical knowledge, making learning meaningful and applicable. Interdisciplinary integration allows students to link physics concepts with mathematics, computer science, and engineering, fostering comprehensive understanding. Continuity and consistency in adaptive learning platforms ensure gradual skill development and reinforcement of knowledge. Finally, assessment for learning leverages AI-driven evaluation to provide continuous feedback, guiding students toward mastery of competencies rather than mere memorization. These principles collectively ensure that AI integration is pedagogically sound and enhances both learning outcomes and engagement.

Assessment in AI-assisted physics education evaluates students' ability to apply knowledge and demonstrate competencies rather than solely recalling information. Performance-based tasks, such as simulations, virtual experiments, and problem-solving challenges, assess practical application. Project evaluations allow AI to monitor individual and group contributions, while portfolios track long-term progress using AI-generated analytics. Self- and peer-assessment, facilitated by AI tools, promotes reflection, collaborative learning, and continuous improvement. These methods provide a comprehensive evaluation of cognitive, practical, and professional competencies.

Integrating AI in physics education has been shown to significantly improve student engagement, learning outcomes, and knowledge retention. AI-based simulations and adaptive tutoring systems provide individualized support, helping students understand complex concepts at their own pace. Collaborative AI tools foster communication, teamwork, and social competencies, complementing the development of academic skills.

Despite these advantages, challenges remain. Many instructors lack training in AI-based instructional technologies. Some institutions face limited access to the necessary technological infrastructure, and traditional lecture-based teaching practices may encounter resistance from both educators and students. Addressing these issues requires strategic investment in professional development, infrastructure enhancement, and curriculum redesign to fully leverage AI-driven learning environments.

The combination of artificial intelligence and competency-based teaching represents a new paradigm in physics education. AI facilitates personalized, interactive, and adaptive learning, promoting both general and professional competencies. Its integration enhances engagement, practical skills, and problem-solving abilities, aligning physics education with global trends and professional demands. Continued development, research, and implementation of AI-assisted competency-based teaching methods are crucial for advancing higher education and ensuring that graduates are prepared to meet the challenges of modern scientific and technological environments.

### References

1. Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for Quality Learning at University: What the Student Does*. 4th edition. Open University Press.
2. Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
3. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education*. Pearson.
4. Jonassen, D. H. (2011). *Learning to Solve Problems: A Handbook for Designing Problem-Solving Learning Environments*. Routledge.
5. OECD (2018). *The Future of Education and Skills 2030*. OECD Publishing, Paris.
6. Woolf, B. P. (2010). *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-Centered Strategies for Revolutionizing E-Learning*. Morgan Kaufmann.

## PALUDARIUM AS AN ELEMENT IN ECODESIGN URBANIZED ECOSYSTEMS OF UKRAINE

Prof. Dr. Yurii L. Kulbachko<sup>1</sup>, PhD, Tetyana Y. Lykholat<sup>2</sup>, Prof. Dr. Olena A. Lykholat<sup>3</sup>,  
Lecturer, Maksim O. Kvitko<sup>4</sup>, PhD, Iryna M. Kofan<sup>5</sup>, Prof. Dr. Yuriy V. Lykholat<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: [lykholat2006@ukr.net](mailto:lykholat2006@ukr.net),  
ORCID NO: [0000-0001-9627-3297](https://orcid.org/0000-0001-9627-3297)

<sup>2</sup>Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: [lyktat89@ukr.net](mailto:lyktat89@ukr.net),  
ORCID NO: [0000-0002-5076-0572](https://orcid.org/0000-0002-5076-0572)

<sup>3</sup>University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine, e-mail: [lykholat2010@ukr.net](mailto:lykholat2010@ukr.net),  
ORCID NO: [0000-0002-3722-8602](https://orcid.org/0000-0002-3722-8602)

<sup>4</sup>Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: [kvitko.max@gmail.com](mailto:kvitko.max@gmail.com),  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID NO: [0000-0002-3713-7620](https://orcid.org/0000-0002-3713-7620)

<sup>5</sup>Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: [irinakofan17@gmail.com](mailto:irinakofan17@gmail.com),  
ORCID NO: [0000-0002-7252-1134](https://orcid.org/0000-0002-7252-1134)

<sup>6</sup>Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: [lykholat2006@ukr.net](mailto:lykholat2006@ukr.net),  
ORCID NO: [0000-0003-3354-8251](https://orcid.org/0000-0003-3354-8251)

### ABSTRACT

The rapid development of industry in the world was accompanied by the destruction of natural ecosystems and led to irreversible changes in natural landscapes. The relationship between man and the environment has become a priority current environmental problem that requires new approaches to its solution. One of the effective tools in solving this problem can be eco-design, which allows you to organically combine the goals and objectives of design with its environmental component. Currently, eco-design is considered one of the modern directions of design, which contributes to the formation of the subject-spatial environment and is used in architectural design: interior design, biodesign, etc. The ideas of bio-design - the use of materials of plant and animal origin by man to meet his needs, contribute to a more complete disclosure of the environmental component of eco-design.

It should be noted that eco-design is capable of solving modern environmental problems in Ukraine, changing the environment not only of urban megacities, large urbanized areas, but also of small private estates. This has a positive effect not only on humans but also on the representatives of the biota living next to them. Another option is a terrarium, which simulates a terrestrial biotope with a landscape typical of the Amazon jungle. Biotope models can be arbitrary, which is reflected in the choice of representatives of the biocenosis at the request of the designer, while it is necessary to take into account its purpose. At the same time, when creating a paludarium, it is considered as a center for preserving the species diversity of aquatic vegetation. Depending on this, the ratio of water and land changes. Plants that can emerge from the water look interesting in it - *Anubias bacopa*, *Marsilea ludwigia*, etc.

The use of paludariums in school laboratories in Ukraine allows keeping plants and animals, which can later be used as living visual aids for long-term use in lessons on regional ecology of the Dnieper Steppe and biology of endemic Ukrainian species. In higher educational institutions of the Dnipropetrovsk region, their use increases the importance of eco-design in educational activities. The arrangement of paludariums in educational institutions of Ukraine also performs an educational and environmental protection function.

**Keywords:** eco-design, urban megacities, educational institutions, biotope models, paludarium.

## **CASE REPORT: PLACENTA SUCCENTURIATA IN A PRIMIGRAVIDA WITH TERM DELIVERY OF A HEALTHY NEONATE**

**Meral Rexhepi, Eldiar Zulbeari, Majlinda Azemi, Luljeta Mulaki**

**Clinical Hospital in Tetovo, University of Tetova**

**Corresponding author: E mail: [dr.meralrexhepi@gmail.com](mailto:dr.meralrexhepi@gmail.com)**

**ID <https://orcid.org/0000-0002-6923-0387>**

### **Abstract**

Placenta succenturiata is a rare placental anomaly characterized by one or more accessory lobes connected to the main placental mass by fetal vessels. Although often asymptomatic during pregnancy, it may lead to complications such as retained placental tissue, postpartum hemorrhage, and infection. We report a case of a 27-year-old primigravida who delivered a healthy female neonate at term, where placenta succenturiata was diagnosed following delivery. Prompt recognition and management prevented complications, and the patient was discharged in stable condition.

### **Introduction**

Placenta succenturiata is a morphological variation of the placenta in which one or more accessory lobes develop separately from the main placental disc. These lobes are usually connected by blood vessels traversing the membranes (1,2). The condition is clinically significant due to the risk of retained placental tissue, postpartum hemorrhage, and vasa previa if vessels cross the cervical os (3,4). Early diagnosis can be challenging, and many cases are identified only after delivery during placental examination (2).

### **Case Presentation**

A 27-year-old primigravida with an uneventful antenatal course presented at term (39 weeks of gestation) in spontaneous labor. Her pregnancy had been regularly monitored, and no abnormalities were detected on routine antenatal ultrasound examinations.

Labor progressed normally, and she delivered a healthy female neonate weighing 2925 grams, with a high Apgar score (8 at 1 minute and 9 at 5 minutes). An episiotomy was performed to facilitate delivery.

Following delivery of the neonate, the placenta was expelled spontaneously. Upon careful inspection, an accessory placental lobe separate from the main placental disc was identified, connected by membranous vessels—consistent with placenta succenturiata (1,3). All placental tissue appeared complete, and there was no evidence of retained fragments. [Fig 1.].

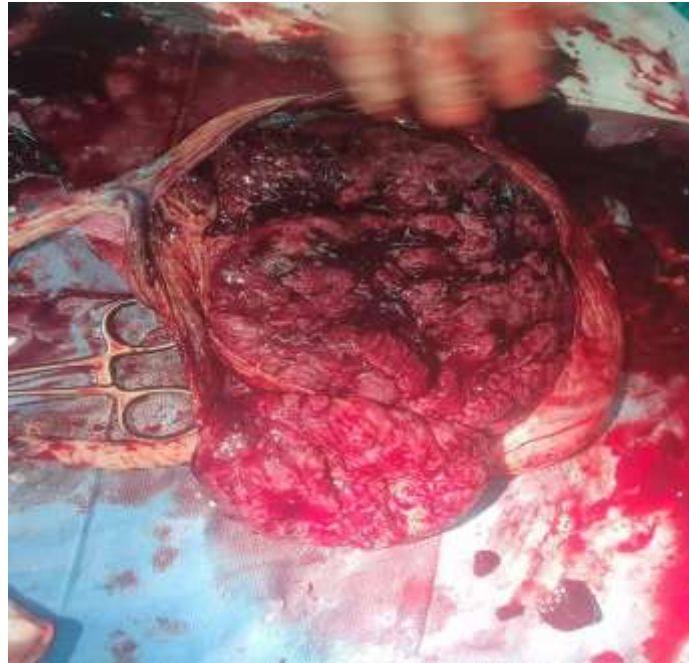


Figure 1. Macroscopic view of placenta succenturiata

The uterus contracted well, and there was no excessive bleeding. The postpartum period was uneventful. The patient remained hemodynamically stable and was discharged home on the second postpartum day in good condition.

### **Discussion**

Placenta succenturiata occurs in approximately 0.16–5% of pregnancies (2,5). It is associated with increased maternal age, assisted reproductive techniques, and abnormal placental implantation (4,6). However, it may also occur in otherwise low-risk pregnancies, as in this case.

The main clinical concern is the risk of retained accessory lobe after delivery, which can lead to postpartum hemorrhage and infection (3,7). Therefore, careful examination of the placenta and membranes after delivery is essential. If an accessory lobe is suspected but not delivered, manual exploration or imaging may be necessary (7).

Prenatal diagnosis via ultrasound is possible but often missed, especially if the accessory lobe is small or located posteriorly (4,6). Color Doppler imaging can improve detection, particularly in cases where vasa previa is suspected (6,8).

In this case, the absence of complications highlights the importance of thorough placental inspection and appropriate postpartum monitoring. Early identification ensured that no further intervention was required.



## Conclusion

Placenta succenturiata is a rare but clinically significant condition that can lead to serious postpartum complications if not recognized. Routine examination of the placenta after delivery remains crucial for diagnosis. Timely identification and management can prevent adverse maternal outcomes, as demonstrated in this case.

## References:

1. Silver RM. Abnormal placentation: placenta previa, vasa previa, and placenta accreta. *Obstet Gynecol.* 2020;135(5):1205–1219.
2. Jauniaux E, Collins S, Burton GJ. Placenta accreta spectrum: pathophysiology and evidence-based anatomy. *Am J Obstet Gynecol.* 2020;223(4):509–524.
3. Royal College of Obstetricians and Gynaecologists (RCOG). *Postpartum haemorrhage, prevention and management (Green-top Guideline No. 52)*. London: RCOG; 2021.
4. Oyelese Y, Smulian JC. Placenta previa, placenta accreta, and vasa previa. *Obstet Gynecol.* 2021;137(2):259–275.
5. Cunningham FG, Leveno KJ, Bloom SL, et al. *Williams Obstetrics*. 26th ed. New York: McGraw-Hill; 2022.
6. Hasegawa J, Matsuoka R, Ichizuka K, et al. Predisposing factors and prenatal diagnosis of succenturiate placenta. *J Obstet Gynaecol Res.* 2020;46(8):1420–1426.
7. Weeks AD. The retained placenta. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol.* 2021;72:87–97.
8. Ruiter L, Kok N, Limpens J, et al. Incidence of and risk indicators for vasa previa: a systematic review. *BJOG.* 2020;127(6):673–683.

## **ROLE OF PHARMACOGENOMICS IN PERSONALIZED MEDICINE**

**L. MADHUMITHA**

**B. PHARM**

**II YEAR**

**madhumitha9751736659@gmail.com**

**SCHOOL OF PHARMACY.**

**TAKSHASILA UNIVERSITY,**

**TINDIVANAM TALUK, ONGUR**

**TAMIL NADU-604305.**

### **Abstract:**

Pharmacogenomics plays a crucial role in advancing Personalized Medicine by tailoring drug therapy based on an individual's genetic profile. Variations in genes that encode drug-metabolizing enzymes, transporters, and receptors can significantly influence drug efficacy and safety. For example, genetic differences in enzymes like CYP450 enzyme family affect how patients metabolize medications, leading to variability in therapeutic outcomes.

By integrating genetic testing into clinical practice, pharmacogenomics helps in selecting the right drug at the right dose for the right patient, minimizing adverse drug reactions and improving treatment effectiveness. It is particularly useful in managing conditions such as cancer, cardiovascular diseases, and psychiatric disorders. Despite challenges such as cost, limited awareness, and ethical concerns, pharmacogenomics holds great promise in transforming healthcare toward more precise and individualized treatment strategies, ultimately enhancing patient care and clinical outcomes.

**PERSONALIZED NUTRITION AND MEDICINE****L. MADHUMITHA****B. PHARM****II YEAR****madhumitha9751736659@gmail.com****SCHOOL OF PHARMACY.****TAKSHASILA UNIVERSITY,****TINDIVANAM TALUK, ONGUR****TAMIL NADU-604305.****Abstract:**

Personalized Nutrition and Personalized Medicine represent emerging approaches that focus on customizing healthcare based on an individual's genetic makeup, lifestyle, and environmental factors. Advances in Genomics and Metabolomics have enabled a deeper understanding of how individuals respond differently to nutrients and medications.

Personalized nutrition involves designing diet plans that optimize health and prevent disease by considering genetic variations, food sensitivities, and metabolic profiles. Similarly, personalized medicine aims to provide targeted therapies that enhance treatment efficacy while minimizing adverse effects. This combined approach is particularly beneficial in managing chronic diseases such as diabetes, obesity, and cardiovascular disorders.

Despite its potential, challenges such as high cost, data privacy concerns, and limited accessibility remain. However, with ongoing technological advancements, personalized nutrition and medicine are expected to revolutionize preventive healthcare and improve overall health outcomes.

## UŞAĞIN TƏRBIYƏSİNDƏ VƏ İNKİŞAFINDA AİLƏNİN ROLU

EMİLYA Hüseynova

Akademik Həsən Əliyev küçəsi 104, Azərbaycan Dövlət Pedagoji Universiteti, Ümumi pedaqogika kafedrası, pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

ORCID: 0009-0003-4470-5440

### Özet

Ailə, uşağın şəxsiyyətinin təməlinin qoyulduğu ilkin və ən əhəmiyyətli sosial mühitdir. İlk sosiallaşma məhz ailə daxilində baş verir, burada əsas dəyərlər, davranış normaları, emosional və mənəvi münasibətlər formalaşır. Digər sosial institutlardan fərqli olaraq, ailənin təsiri uzunmüddətli, sistemli və dərin fərdi xarakter daşıyır ki, bu da onun təhsil prosesindəki əsas rolunu müəyyən edir.

Ailə tərbiyəsinin ən vacib aspektlərindən biri uşağın emosional rifahının inkişafıdır. Sevgi, etibar və dəstək atmosferi təhlükəsizlik, özünəinam və müsbət özünəhörmət hissi yaradır. Əksinə, ailədəki əlverişsiz psixoloji iqlim narahatlığa, qeyri-müəyyənliyə və davranış sapmalarına səbəb ola bilər. Beləliklə, ailə daxilində emosional münasibətlər şəxsiyyətin ahəngdar inkişafına birbaşa təsir göstərir.

Ailə həmçinin mədəni və mənəvi dəyərlərin əsas daşıyıcısı kimi xidmət edir. Valideynlərlə gündəlik qarşılıqlı əlaqə yolu ilə uşaq ünsiyyət normalarını, davranış nümunələrini və işə, cəmiyyətə və özünə münasibəti öyrənir. Bu kontekstdə valideynlərin şəxsi nümunəsi xüsusilə mühüm rol oynayır və şifahi təlimatlardan daha güclü təsir göstərir. Yetkinlərin davranışı bir modelə çevrilir və uşağın vərdişlərini və münasibətlərini formalaşdırır.

Müasir şərait ailə təhsilində müəyyən dəyişikliklərə səbəb olur. Həyatın sürətlənmiş tempi, məşğul valideynlər, rəqəmsal mühitin və sosial medianın təsiri ailənin ənənəvi təhsil funksiyalarını qismən zəiflədir. Bəzi hallarda üz-üzə ünsiyyətin olmaması müşahidə olunur ki, bu da uşağın ünsiyyət və emosional bacarıqlarının inkişafına mənfi təsir göstərə bilər. Bu, ailə təhsilinə şüurlu və məqsədyönlü yanaşmaya ehtiyacı artırır.

Bundan əlavə, ailə ilə təhsil müəssisələri arasında qarşılıqlı əlaqə vacib amildir. Valideynlər və məktəblər arasında effektiv əməkdaşlıq uşağın şəxsiyyətinin daha vahid və ardıcıl inkişafına kömək edir. Gözləntilərin, dəyərlərin və təhsil strategiyalarının uyğunlaşdırılması təhsil təsirini artırır və inkişaf üçün əlverişli şərait yaradır.

Beləliklə, ailə uşağın şəxsiyyətinin əsas xüsusiyyətlərini müəyyən edən əsas təhsil müəssisəsi olaraq qalır. Uyğun inkişaf dəstəkləyici emosional mühitin yaradılması, şüurlu valideynlik və digər sosial institutlarla aktiv əlaqə yolu ilə mümkündür.

**Açar sözlər:** ailə, valideynlik, uşağın şəxsiyyəti, sosiallaşma, ailə tərbiyəsi, emosional inkişaf, dəyərlər, valideyn nümunəsi, ailə-məktəb qarşılıqlı əlaqəsi.

## THE ROLE OF THE FAMILY IN THE UPBRINGING AND DEVELOPMENT OF A CHILD

### Abstract

The family is the primary and most significant social environment in which the foundations of a child's personality are laid. It is within the family that initial socialization occurs, where core values, norms of behavior, and emotional and moral attitudes are formed. Unlike other social institutions, the family's influence is long-term, systemic, and deeply personal, which determines its key role in the educational process.

One of the most important aspects of family education is the development of a child's emotional well-being. An atmosphere of love, trust, and support fosters a sense of security, self-confidence, and positive self-esteem. Conversely, an unfavorable psychological climate in the family can lead to anxiety, insecurity, and behavioral deviations. Thus, emotional relationships within the family directly influence the harmonious development of personality.

The family also serves as the primary bearer of cultural and moral values. Through daily interactions with parents, a child learns communication norms, behavioral patterns, and attitudes toward work, society, and themselves. In this context, the personal example of parents plays a particularly important role, exerting a more powerful influence than verbal instructions. Adult behavior becomes a model, shaping the child's habits and attitudes.

Modern conditions are bringing about certain changes in family education. The accelerated pace of life, busy parents, and the influence of the digital environment and social media are partially weakening the traditional educational functions of the family. In some cases, a lack of face-to-face communication is observed, which can negatively impact the development of a child's communication and emotional skills. This increases the need for a conscious and targeted approach to family education.

Furthermore, interaction between the family and educational institutions is an important factor. Effective collaboration between parents and schools promotes a more holistic and consistent development of the child's personality. Alignment of expectations, values, and educational strategies enhances the educational impact and creates favorable conditions for development.

Thus, the family remains a key educational institution, defining the fundamental characteristics of a child's personality. Harmonious development is possible through the creation of a supportive emotional environment, conscious parenting, and active engagement with other social institutions.

**Keywords:** family, parenting, child personality, socialization, family education, emotional development, values, parental example, family-school interaction.

## PROBLEMS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THEORY AND PRACTICE IN TEACHER TRAINING

Gular NURİYEVA

Academic Hasan Aliyev str. 104, Azerbaijan State Pedagogical University, Department of General Pedagogy, teacher

ORCID: 0009-0001-3926-480X

### Abstract

The unity of theoretical knowledge and practical activity in the teacher training system is one of the main conditions for the formation of professional competencies. However, existing research and educational experience show that serious discrepancies remain between these two components. One of the main problems is the limited opportunities for practical application of theoretical knowledge. Pedagogical theories presented to students in higher education institutions are often taught without adapting them to real classroom conditions, which creates difficulties in their application.

Another important problem is the formal nature of pedagogical practice. Internship programs are sometimes organized unsystematically, students are not given sufficient opportunities for independent activity, and reflection mechanisms are poorly established. As a result, students are unable to develop decision-making skills in real pedagogical situations. In addition, weak cooperation between universities and schools also deepens the gap between theory and practice.

Although modern educational approaches - especially competency-based and constructivist models - consider the integration of theory and practice as a priority, the application of these approaches is still not fully systematic. The lack of practically oriented tasks in curricula, insufficient use of methods such as micro-teaching, simulation and reflective analysis are the main gaps in this area. At the same time, the weak development of the mentoring institute in teacher training also negatively affects the formation of practical skills.

In order to solve the problems, the integration of theoretical and practical components in teacher training programs should be strengthened, sustainable partnership models with schools should be established and experience-based learning strategies should be given priority. The application of methods such as reflective practice, portfolios, action research and cooperative learning can ensure the professional development of students more effectively. Thus, creating a balance between theory and practice acts as one of the main directions for improving the quality of teacher training.

**Keywords:** teacher training, theory and practice, pedagogical practice, competency approach, reflective learning, mentoring, constructivism, experience-based learning.



## ÖĞRETMEN YETİŞTİRİLMESİNDE TEORİ VE PRATİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN SORUNLARI

Güler NURİYEVA

Akademik Həsən Əliyev küçəsi 104, Azərbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi, Ümumi pedaqoji bölümü,  
öğretmen

ORCID: 0009-0001-3926-480X

### Abstract

Öğretmen yetiştirme sisteminde teorik bilgi ve pratik faaliyetin birliği, mesleki yeterliliklerin oluşumu için temel koşullardan biridir. Ancak mevcut araştırmalar ve eğitim deneyimleri, bu iki bileşen arasında ciddi farklılıkların devam ettiğini göstermektedir. Başlıca sorunlardan biri, teorik bilginin pratik uygulaması için sınırlı fırsatlardır. Yükseköğretim kurumlarında öğrencilere sunulan pedagojik teoriler, gerçek sınıf koşullarına uyarlanmadan öğretilmekte ve bu da uygulamalarında zorluklar yaratmaktadır.

Bir diğer önemli sorun ise pedagojik pratiğin biçimsel doğasıdır. Staj programları bazen sistematik olmayan bir şekilde düzenlenmekte, öğrencilere bağımsız faaliyet için yeterli fırsat verilmemekte ve yansıtma mekanizmaları yetersiz kurulmaktadır. Sonuç olarak, öğrenciler gerçek pedagojik durumlarda karar verme becerilerini geliştirememektedir. Ayrıca, üniversiteler ve okullar arasındaki zayıf işbirliği de teori ve pratik arasındaki uçurumu derinleştirmektedir.

Modern eğitim yaklaşımları -özellikle yeterlilik temelli ve yapılandırmacı modeller- teori ve pratiğin entegrasyonunu öncelik olarak görse de, bu yaklaşımların uygulanması hala tam olarak sistematik değildir. Müfredatta pratik odaklı görevlerin eksikliği, mikro öğretim, simülasyon ve yansıtıcı analiz gibi yöntemlerin yetersiz kullanımı bu alandaki başlıca eksikliklerdir. Aynı zamanda, öğretmen eğitiminde mentorluk kurumunun zayıf gelişimi de pratik becerilerin oluşumunu olumsuz etkilemektedir.

Bu sorunları çözmek için, öğretmen eğitim programlarında teorik ve pratik bileşenlerin entegrasyonu güçlendirilmeli, okullarla sürdürülebilir ortaklık modelleri kurulmalı ve deneyime dayalı öğrenme stratejilerine öncelik verilmelidir. Yansıtıcı uygulama, portfolyo, eylem araştırması ve işbirlikçi öğrenme gibi yöntemlerin uygulanması, öğrencilerin mesleki gelişimini daha etkili bir şekilde sağlayabilir. Bu nedenle, teori ve pratik arasında bir denge kurmak, öğretmen eğitiminin kalitesini iyileştirmenin ana yönlerinden biridir.

**Anahtar kelimeler:** Öğretmen eğitimi, teori ve uygulama, pedagojik uygulama, yeterlilik yaklaşımı, yansıtıcı öğrenme, mentorluk, yapılandırmacılık, deneyime dayalı öğrenme..

**ANA HƏSRƏTİNİN POETİK FƏLSƏFƏSİ**  
(*Nicat Ərtürkün “Ana həsrəti” kitabı haqqında*)

**Zaur Ustac**

**“Yazarlar” jurnalının baş redaktoru,  
Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin və Azərbaycan Jurnalistlər Birliyinin üzvü**

**Açar sözlər:** Şair Nicat Ərtürk; Ana həsrəti; insan varlığı; zaman və məkan; emosiya dərinliyi.

**Keywords:** Poet Nicat Erturk; Motherly longing; human existence; time and space; depth of emotion.

Azərbaycan poeziyasında ana obrazı hər zaman müqəddəs, toxunulmaz və dərin mənəvi mənə daşıyan bir zirvə kimi qəbul olunub. Bu zirvəyə qalxmaq isə yalnız səmimi hiss, daxili ağrı və poetik məsuliyyət tələb edir. Tanınmış şair Nicat Ərtürkün “Ana həsrəti” adlı şeirlər kitabı məhz bu mənəvi zirvəyə doğru atılmış səmimi və məsuliyyətli bir addımdır.

Nicat Ərtürk – Qasımzadə Nicat Ərrəhman oğlu 1982-ci ildə Naxçıvan MR-nın Sədərək rayonunun Sədərək kəndində anadan olub. İxtisasca ali təhsili iqtisadçıdır. Azərbaycan Yazıçılar Birliyinin üzvü, ədəbiyyat sahəsində müvəffəqiyyətlərə görə təqdim edilən nüfuzlu “Qızıl qələm”, “Ziyadar” kimi mükafatların laureatıdır. “Səsləyir Zəngəzur, Qarabağ bizi” və “Zirvələrin fəthi” adlı kitabların müəllifidir. Haqqında söhbət açdığımız “Ana həsrəti” kitabı müəllifin oxucularla üçüncü görüşüdür. Kitabdakı nümunələr mövzusunun asılı olmayaraq bəzən həddindən artıq pafoslu görünə də, əslində olduqca səmimi və fərdilikdən uzaq, ümumiləşdirilmiş problemlərin çözümünü yolunda atılmış cəsarətli addımlar kimi qiymətləndirilməlidir.

Kitabın adından başlayaraq oxucu dərhal anlayır ki, burada söhbət sadəcə fərdi bir kədərdən deyil, ümumbəşəri bir duyğudan – ana həsrətindən, insan varlığının ən kövrək və ən saf nöqtəsindən gedir. “Ana həsrəti” həm konkret bir itkinin ağrısı, həm də insanın mənəvi dayaqını itirməsinin fəlsəfi izahıdır.

## **HAŞIYƏ**

**Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının müxbir üzvü, filologiya elmləri doktoru, professor, Azərbaycan Respublikasının Əməkdar müəllimi, Azərbaycan Yazıçılar Birliyi Ağsaqqallar Şurasının üzvü Əbülfəz Quliyev “NƏSİHƏTLƏRİN TƏHLÜKƏSİZ LİMANI: ŞEİR VƏ İNSANLIQ” adlı məqaləsində “Ana həsrəti” kitabı haqqında yazır:**

“Şeir kitabını oxuyub vərəqlədikcə görürəm ki, Nicat Ərtürk həm müasir dövrün ruhunu, həm də xalqımızın köklü ənənələrini özündə cəmləyir.

Şeirlərindəki dil sadəliyi və dərinlən gələn mənalar, məndə unudulmaz təəssüratlar yaradır. Şairin şeirlərindəki mənə dərinliyi və həm də humanizm prinsipləri poeziya aləminə yeni bir nəfəs gətirir.

Şeir kitabında şairin “Nəsihətnamə” poemasını oxudum. Bu poema əxlaqi təlimatlarla zəngin olması ilə diqqət çəkdi. “Nəsihətnamə” poeması həyatın və insanın dəyərlərini dərinlən analiz edən bir əsərdir. Şair

burada insanın həyatına, əxlaqına, və davranışlarına dair mühüm tövsiyələr verir. O, əsər vasitəsilə insanlara dürüstlük, ədalət, mərhəmət və təvazökar olmağı tövsiyə edir. Bu nəsihətlərin bəşəri dəyərlərə əsaslanması, əsəri zaman və məkan baxımından universallaşdırır.

Nicat Ərtürkün şeirləri xalqın hissələrini, təbiətini və mənəvi xüsusiyyətlərini əks etdirir. “Nəsihətnamə”dəki nəsihətlər, onun xalqın həyatına dərinləndən bələd olduğunu göstərir. Şairin səsləndirdiyi tövsiyələr, nəinki fərdi, həm də kollektiv səviyyədə insanlara faydalıdır, çünki Nicat insanların üzləşdiyi ümumi problemləri çox gözəl təhlil edir.

“Nəsihətnamə” poemasının bir digər önəmli mesajı da insanın öz təvazökarlığını qoruyaraq həyatda müvəffəqiyyət əldə etməsidir. Şair, hər bir insana yüksək mənəvi dəyərlərlə, başqalarına qarşı hörmətlə yanaşmağı və böyüklükdən dərs almağı tövsiyə edir. Bu, müdrikliyə və humanizmə doğru atılmış bir addımdır. Şair Nicat Ərtürkün yazdığı nəsihətlər yalnız Azərbaycan xalqına deyil, bütün insanlığa bir ərməğandır. “Nəsihətnamə”nin verdiyi tövsiyələr, insan təbiətinin ümumi qanunlarına uyğun olub, mədəniyyətlərarası sərhədləri aşan bir anlam daşıyır. Bu da onun ədəbiyyatımızda və dünyada əhəmiyyətli bir yer tutmasına səbəb olur.

Gənc şairimiz Nicat Ərtürk! Əminəm ki, şeirlərindəki dərin mənalar və əxlaqi zənginlik hər bir oxucunu düşündürəcək, oxucunun ruhuna işıq yayacaq. Uğurların davamlı olsun, yazdığın hər misra insanların qəlbinə toxunmağa davam etsin!

Öz müdrik sözlərlə oxucunu yeni düşüncələrə, dəyərlərə və həyatın həqiqətlərinə doğru aparasan. Yaradıcı yolunda uğurların bol olsun, ilhamın heç bir zaman tükənməsin!

Sözlərinin gücü ilə, insan ruhunun dərinliklərinə nüfuz edən bir şair olaraq, uğurlarının davamını arzulayıram. Hər yeni şeirində Nəsihətnamə kimi müdrik və faydalı dərslər verməyin mükafatını əminəm ki, alacaqsan!

Təvazökar olmağı, doğru və dürüst yaşamağı təbliğ edən şeirlərindən aldığım ilhamla, sənə gələcəkdə daha çox uğur, yeni yaradıcılıq zirvələri arzulayıram. Hər addımında nəsihətlərinə sadıq qalaraq insanlara yeni həyat dərsləri verməyə davam et!

Uğurların daim artsın, hər misranla cəmiyyəti daha yaxşıya doğru irəliləməsinə işıq sal!”

Kitabda toplanmış şeirlərdə insan varlığının mənası, həyatın fəaniliyi, zamanın amansız axını və mənəvi dəyərlərin önəmi poetik düşüncə müstəvisində təqdim olunur. Şair şəxsi hiss və yaşantılarını ümumbəşəri ideyalar səviyyəsinə yüksəltməyi bacarır. Bu xüsusiyyət Nicat Ərtürkün poeziyasını sırf emosional ağrıdan çıxarılıb dərin fəlsəfi qatlara daşıyır. Kitaba daxil edilmiş şeirlər içərisində ondan artıq nümunə adı və məzmunu ilə birbaşa anaya, ana həsrətinə bağlıdır.

Bundan əlavə toplusdakı digər şeirlərin də böyük əksəriyyətinin ya məzmunu, ya da mətn daxilində bəzi fraqmentlər ana adı, ana həsrəti ilə dolayısıyla əlaqəlidir.

Ana obrazı şeirlərdə yalnız bir insan deyil, mərhəmətin, qayğının, ilkin saflığın və ruhun sığınacağı kimi təqdim olunur. Ana itkisi isə sadəcə fiziki ayrılıq deyil, insanın iç dünyasında yaranan böyük boşluq, mənəvi yetimlik hissidir.

“Ana həsrəti” kitabında dil sadə, anlaşıqlı, lakin dərin mənə yüklüdür. Şair bəzəkli ifadələrdən daha çox, oxucunun qəlbinə toxunan səmimi sözlərə üstünlük verir. Bu sadəlik poeziyanın təsir gücünü azaltmır, əksinə, onu daha da gücləndirir.

Nicat Ərtürkün şeirlərində daxili ahəng, ritm və emosional tarazlıq diqqəti cəlb edir. Hər misra bir hissin, bir düşüncənin daşıyıcısıdır. Oxucu bu şeirləri oxuyarkən təkcə müəllifin ağrısını deyil, öz daxilində gizlənmiş ana həsrətini də kəşf edir.

Kitabın “Anamın əziz xatirəsinə ithaf edirəm” sözləri ilə başlaması bu poeziyanın ideya-mənəvi xəttini əvvəlcədən müəyyənləşdirir. Bu ithaf kitabı sadəcə bir şeir toplusu yox, ruhi etiraf, minnətdarlıq və sədaqət manifestinə çevirir. Oxucu anlayır ki, qarşısında duran misralar yazı masasında deyil, qəlbin ən dərin qatlarında doğulub.

“Ana həsrəti” müasir oxucu üçün təkcə poetik zövq mənbəyi deyil, həm də mənəvi düşüncə kitabıdır. Bu şeirlər insanı öz kökünə, dəyərlərinə, valideyn sevgisinin əvəzsizliyinə qaytarır. Sürətli və maddiləşmiş dünyada bu cür əsərlər oxucuya dayanmağı, düşünməyi və hiss etməyi xatırladır.

Ana həsrətinin poetik fəryadı, ümumiləşdirilmiş nisgil, milli kimlik məsələləri, əcdadlara ehtiram, özünü tanıma və təqdim etmə yuxarıda qeyd etdiyim kimi demək olar ki, topluda yer alan bütün nümunələrin məğzində dayansa da, söhbətimizi Nicat Ərtürkün “Ana həsrəti” kitabında (səhifə 53) yer almış eyni adlı şeirindən gətirəcəyim misallarla daha da zənginləşdirmək istəyirəm.

Ana obrazı Azərbaycan poeziyasının ən müqəddəs, ən kövrək və ən dərin qatlarından birini təşkil edir. Bu obraz təkcə doğmalığ, qayğı və mərhəmət deyil, eyni zamanda insanın daxili dünyasının dayağı, mənəvi sığınacağıdır. Məhz bu baxımdan Nicat Ərtürkün “Ana həsrəti” şeiri ana mövzusuna həsr olunmuş əsərləri (əsərlər) içərisində xüsusi emosional dərinliyi və səmimiyyəti ilə seçilir.

Şeirin ilk misralarından etibarən oxucu faciəli bir dönüş nöqtəsi ilə üz-üzə qalır:

***Dəyişdi gözümdə, dəyişdi zaman,***

***Fırlandı başıma fırlandı dünyam.***

Bu misralarda zaman artıq adi axarında deyil. Ana itkisi ilə birlikdə zaman anlayışı da mənasını itirir, dünya oxun ətrafında fırlanan ağır bir yükə çevrilir. Şair burada şəxsi ağrını ümumbəşəri hissə çevirir: ana yoxdursa, həyatın nizamı da pozulur.

Şeirin növbəti bəndlərində sevincin göz yaşına, evin işığının sönməsinə çevrilməsi təsvir olunur:

*Xoş günlər bir anda kədər döndü,  
Sevinc göz yaşlarım qəhərə döndü.*

Ana evin ruhudur. Onun yoxluğu təkcə bir insanın itkisi deyil, bir ocağın sönməsi, bir ailənin mənəvi sütununun dağılmasıdır. Şair bu həqiqəti bədii dillə, lakin son dərəcə real duyğularla ifadə edir.

“Ana həsrəti” şeiri eyni zamanda insanın psixoloji sarsıntısının poetik gündəliyidir:

*Bir əsər qalmadı səbri-dözümümdən.*

Burada artıq təskinlik yoxdur. Şair etiraf edir ki, ana həsrəti qarşısında ən möhkəm iradə belə sarsılır. Bu etiraf şeiri daha da səmimi və inandırıcıdır.

Əsərin diqqətçəkən cəhətlərindən biri də taleyə və zamana yönəlmiş açıq etirazdır:

*Etiraz edirəm sənsiz zamana,  
İstədim ki, artıq zaman dayana.*

Bu misralar insanın acı qarşısında acizliyini, eyni zamanda üsyankar ruhunu əks etdirir. Şair üçün zaman artıq şəfa verən deyil, əksinə, ağrını uzadan bir gücdür.

Şeir hər bəndinin sonunda təkrarlanan:

*Anama həsrət qaldığım günü*

misrası bir növ şeirin ürək döyüntüsünə çevrilir. Bu təkrar oxucunun yaddaşına həkk olunur və ana itkisinin unutulmaz, dəyişməz bir həqiqət olduğunu vurğulayır.

Nicat Ərtürkün “Ana həsrəti” şeiri sadəcə bir şəxsi kədərin ifadəsi deyil. Bu əsər ana sevgisinin əvəzsizliyini, ana itkisi ilə insanın daxilində yaranan boşluğu, zamanla belə sağalmayan yaraları poetik dillə ortaya qoyur. Şeir oxucunu həm düşündürür, həm də öz ana xatirələri ilə üz-üzə qoyur.

Bu əsər bir daha sübut edir ki, ana həsrəti – zamanla keçməyən, sözlərlə təsəlli tapmayan, yalnız poeziyada nəfəs alan bir dərddir. Nicat Ərtürk bu dərdi səmimi, sadə və təsirli bir dildə ifadə edərək oxucunun qəlbinə yol tapmağı bacarmışdır.

Nicat Ərtürkün “Ana həsrəti” kitabı Azərbaycan poeziyasında ana mövzusunə həsr olunmuş səmimi, dərin və fəlsəfi kitablar arasında öz layiqli yerini tutmuşdur. Bu kitab oxucuya təkcə bir şairin daxili dünyasını deyil, hər bir insanın qəlbində gizlənən ana sevgisini və həsrətini göstərir.

“Ana həsrəti” – bir kitabdən daha çox, bir qəlbin səsi, bir ruhun etirafı və bir ömrün poetik xatirəsidir.

## POETICAL PHILOSOPHY OF MOTHERLY LONGING

(About Nicat Erturk's book "Motherly Longing")

Zaur Ustac

Editor-in-chief of "Yazarlar" magazine,

Member of the Azerbaijan Writers' Union and the Azerbaijan Journalists' Union

The article analyzes the book "Longing for Mother" by the young poet Nicat Erturk. It is noted that in Azerbaijani poetry, the image of a mother has always been perceived as a sacred, inviolable and deeply spiritual peak. To reach this peak requires only sincere feelings, inner pain and poetic responsibility. The book of poems "Longing for Mother" by the famous poet Nicat Erturk is a sincere and responsible step towards this spiritual peak.

Starting from the title of the book, the reader immediately understands that this is not just a personal grief, but a universal emotion - longing for a mother, the most fragile and purest point of human existence. "Longing for a mother" is both the pain of a specific loss and a philosophical explanation of a person's loss of spiritual support.

Nijat Arturk's poems reflect people's feelings, nature and spiritual characteristics. The admonitions in the "Admonition" show that he was deeply familiar with the life of the people. The advice given by the poet is useful for people not only at the individual level but also at the collective level, because Nijat very well analyzes the common problems faced by people.



## “ƏKİNCİ” QƏZETİNDƏ MAARİFÇİLİK İDEYALARININ YERİ, ROLU VƏ ƏHƏMİYYƏTİ

**KAMAL HƏSƏN oğlu CAMALOV**  
Naxçıvan Müəllimlər İnstitutunun professoru,  
pedaqogika elmləri doktoru  
Azərbaycan Respublikasının Əməkdar müəllimi  
E-mail: [kamal.camalov@gmail.com](mailto:kamal.camalov@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-1977-7250>

**Açar sözlər:** Böyük ictimai xadim, maarifçi, mütəfəkkir şəxsiyyət Həsən bəy Məlikov Zərdabi; “Əkinçi” qəzetindəki demokratik ideyaların yeri, rolu və əhəmiyyəti; maarif, elm və təhsil; şəxsiyyət tərbiyə etmək məsələsi; xalq kütlələrini mənəvi əsarətdən qurtarmaq; ailə tərbiyəsi; valideynlərin övladlarına düzgün tərbiyə verməyi zəruri yolları.

**Keywords:** Great public figure, educator, thinker Hasan bey Malikov Zardabi; the place, role and importance of democratic ideas in the newspaper “Ekinchi”; progress, science and education; the issue of educating the personality; freeing the masses of the people from moral slavery; family education; necessary ways for parents to properly educate their children.

### Giriş / Introduction

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Cənab İlham Əliyev 25 aprel 2025-ci ildə maarifçi ideyaların carçısı olmuş, cəhalətə və xurafata qarşı kəskin məqalələr dərc etmiş, milli özünüdərkini, ictimai, siyasi və bədii fikrin inkişafına, mütərəqqi jurnalist nəslinin yetişməsinə önəmli töhfə vermiş “Əkinçi” qəzetinin 150 illik yubileyinin keçirilməsi ilə bağlı Sərəncam imzalamışdır.

Azərbaycanda demokratik pedaqoji ideyaların inkişafı mətbuatın yaranması ilə sıx bağlıdır. Mətbuatın yaranması müxtəlif problemlər üzrə pedaqoji ideyaların və məktəb təcrübəsinin inkişaf dinamikasını şərtləndirən amillərdən biridir. Azərbaycanda mətbuatın, o cümlədən, pedaqoji mətbuatın tarixi çox da qədim deyil. Təkcə banisi, redaktoru, müəllifləri deyil, məzmunu, ideya istiqaməti, dili, poliqrafik bazası, oxucuları da nəşr olunduğu torpaqla bağlı olan, onun mənəvi və maddi həyatına əsaslanan, ilk növbədə dogma həmvətənlərə xidmət edən birinci qəzet “Əkinçi”dir ki, Azərbaycan milli mətbuatının tarixi də, çox təbii, bu qəzetlə başlanır. Azərbaycan dilində mətbuatın yaranması XIX əsrin 70-ci illərindən başlasa da, əldə olan məlumatlara görə, XIX əsrin 30-40-cı illərində bu sahədə müəyyən təşəbbüslər göstərilmişdir. Təbii ki, “Azərbaycan ədəbi-mədəni əlaqələrinin tarixini öyrənmək və bunu müasir ədəbi prosesə tətbiq etmək baxımından əhəmiyyətlidir” [1, Qədimov Ə., 2023].

Azərbaycanın görkəmli alimi, təbiətşünas və maarifpərvəri Həsən bəy Məlikov Zərdabinin nəşr etdirdiyi “Əkinçi” qəzeti ilə milli mətbuatın əsası qoyulmuşdur. 1875-ci il iyul ayının 22-dən nəşrə başlayıb 1877-ci ildə

fəaliyyətini dayandıran “Əkinçi” qəzetinin cəmi 56 nömrəsi çıxmışdır. “Əkinçi” qəzetinin ömrünün az olmasına baxmayaraq Azərbaycan mətbuat tarixində böyük rol oynamışdır. Demokratik ideyalarla dolu olan bu qəzet məktəb, maarif, elm və mədəniyyətin inkişafında çox böyük xidmətlər göstərmişdir. “Əkinçi” qəzetinin bu ideyaları Azərbaycan maarifpərvərlərinin demokratik pedaqoji ideyalarının inkişafına müsbət təsir etmişdir. “Əkinçi” qəzeti az vaxt içərisində qabaqcıl fikirlərin mərkəzinə çevrildi. Xalq maarifi və mədəniyyətinin, ana dili məktəblərinin carçısı oldu” [2, Əhmədov H., 2011, səh.111]. Həsən bəy Zərdabi “Əkinçi” qəzetinin əsas məqsəd və vəzifələrindən bəhs edərək yazırdı: *“Qəzetin muradı xalqın gözünü açmaqdır, həyatda olan işləri ayna kimi xalqa göstərsin ki, xalq da onun əlacının dalınca getsin. Salisən, qəzet dərviş kimi nağıl deyə bilməz, onun borcudur işlərin yaxşı və yamanlığını ayna kimi xalqa göstərsin, ta xalq öz nikbətindən xəbərdar olub onun əlacının dalınca olsun. Heç rəvadırmı yoxsulluqdan danışarkən onun səbəbi elmsiz qalmağımızdan danışmayaq? Biz müsəlmanlar elmdən vəba naxoşluğundan qorxan kimi qorxuruq. Əgər işlərimiz belə gedərsə biz məğlub olub getdikcə aradan çıxacağıq. Elmsizlik böyük fəlakətdir. Bizim həmvətənlər olan gürcü, erməni xalqları təhsil etsinlər, maarif sahəsində gündən-günə irəli getsinlər, amma bizlər “Allahdan buyruq, ağzımıza quyruq” deyib duraq. Ey müsəlmanların millət təəssübü çəkən kəsləri, bir gözünüzü açıb dünyaya tamaşa edin və fikirləşin: “Tələf olmaqmı istəyirsiniz?”* [3, Əkinçi, 1875-1877]. Tez bir zamanda “Əkinçi” qəzetinin ətrafında Seyid Əzim Şirvani, Nəcəf bəy Vəzirov, Əsgər bəy Adıgözelov Gorani, Əlizadə Şirvani Heydəri kimi dövrün mütərəqqi ziyalıları toplandı və qəzeti özləri üçün mübarizə mərkəzinə çevirdilər.

Bildiyimiz kimi, bir tərəfdən çar Rusiyası və ya Rusiya Azərbaycanda gücləndirilmiş ruslaşdırma siyasəti aparır, digər tərəfdən isə yalançı din xadimləri hər cür fitnə-fəsad yaratmaqla Həsən bəyə maneəçilik törədirdilər. Ana dilində və milli ruhda qəzet nəşrinə icazə almaq üçün böyük pedaqoq Həsən bəy çar hökumətinə bir neçə dəfə xahişlə müraciət etmiş, ancaq idarələrdə, dəftərxanalarda süründürülməkdən başqa bir nəticə əldə edə bilməmişdir. Təsadüfdən zərurət doğar – termininə nəzərən xoşbəxt bir təsadüf nəticəsində Həsən bəy qəzetin nəşrinə icazə almasına müvəffəq ola bilir. Bu əhvalatı sonralar Həsən bəy “Həyat” qəzetində belə xatırlayır: “O vaxt general Staroselski bizim qubernator idi, o özü xalis rus, arvadı isə gürcü qızı idi. Bu qadın yerli Qafqaz əhalisinə hörmət bəsləyir və onlarla dostluq edirdi, mən öz dərdimi ona söylədim; qəzeti “Əkinçi” adlandırmağı və orada guya əkinçilik və kənd təsərrüfatı haqqında məqalələr dərc etməyi bildirməyi bu qadın mənə məsləhət gördü; o özü sensor olmağa razılıq verdi və nəhayət bu ruhda ərizə verib qəzetin nəşri üçün icazə aldım” [4, Seyidov Ə., 1958, səh.276]. Görkəmli tədqiqatçı alim Əziz Mirəhmədov Həsən bəy Zərdabının “Əkinçi” qəzetinin hökumətdən icazəsini nədənsə “yalnız üçillik ağır, gərgin işdən sonra” ala bildiyini qeyd edir. Halbuki, Zərdabi “Dörd ildir ki, qəzeti çap etməyə izin istəmişik və bu zamanda dünyanı gəzib bu hürufatı tapmışıq” deyir [5, Əkinçi., 2005].

Qeyd etdik ki, bir tərəfdən isə yalançı mövhumatçı din xadimləri hər cür fitnə-fəsad yaratmaqla Həsən bəyi hədələyir, təhqir edir, maneəçilik törədirdilər. *Onu “Qaspar”, “Vartan Həsən”, “Gavir Həsən”, “Şapkalı rus”, “Ruslaşmış Həsən” “sünni Həsən bəy” və s. kimi ürəkbulandıran adlar ünvanlamışlar.* Halbuki, Zərdabi həm şiə, həm də sünni mövhumatına qarşı kəskin mübarizə aparmışdır. Həsən bəy ona ünvanlanan başdan-ayağadək söyüş və təhqirlə dolu məktubları da öz qəzetində çap etdirmişdir. Belə ki, kapitan rütbəli çar zabiti, Qarabağ mülkədarı, mövhumatçı “Hadiülmüzlüm Qarabağlı” təxəllüslü biri məktubunda Həsən bəyi hətta Həsən adını daşımağa layiq görmür. Onun fikrinə görə bu ad dinə etiqad göstərməyən adamların əli ilə faciəli bir şəkildə öldürülmüş imamın adıdır. Bu məktuba cavabən görkəmli publisist belə qeyd yazırdı: “Bizim Zərdab kəndində Qarabağın sərhədinə bir daş qoymaq və həmin satiranı onun üstündə yazdırmaq istəyirəm ki, gələcək nəsil bu abidəyə baxanda bizim xalqı savadlandırılması uğrunda apardığım mübarizədə hansı avamlarla qarşılaşmış olduğumu bilsin” [6, H.Zərdabi., 1960].

Belə təhqir dolu məktuba Həsən bəyin yaxın dostu və silahdaşı, eləcə də “Əkinçi” qəzetinin fəal iştirakçısı olan Seyid Əzim Şirvanı 17 bənddən ibarət bir şeirlə cavab yazmışdır:

**Xaçpərəstlər hamısı açdı gözüün düşdü qabaq.**

**Dalda qaldıq tökülüb cəhl ilə biz, ay sarsaq!**

**Pəs nə vaxtı bizə qismət olacaq göz açmaq?**

**Əqlə gəl, tanrıya bax, bəsdı bu qəflət, Hadi! [7, Əkinçi., 1877]**

Göründüyü kimi, belə nadanlar ucundan Azərbaycan xalqı cəhalətdən və mövhumatdan yaxa qurtara bilmirdi. Çünki xalqın geridə qalmış hissəsi içərisində belə bir fakt hakim idi ki, müsəlmanlara dünyəvi elm lazım deyil. Ata-babalarımız hansı yol ilə gediblərsə, biz də o yol ilə keçməliyik. Bu mənada, Zərdabi yazırdı ki, **“Hər bir vilayətin qəzeti gərək ol vilayətin aynası olsun, yəni ol vilayətin sakinləri elədiyi işlər, onlara lazım olan şeylər, xülasə, onların hər bir dərdi və xahişi ol qəzetdə çap olunsun ki, ol qəzetə baxan xalqı aynada görən kimi görsün” [8, Əkinçi., 1875].**

“Əkinçi” qəzetinin proqramı zəngin idi. Bu zəngin proqram içərisində xalqı nadanlıqdan, maarifsizlikdən, gerilikdən, savadsızlıqdan çıxarıb, geniş mədəniyyət yoluna aparmaq, təhsil, elm sahəsində ona öz hüququnu başa salmaq, savadlı etmək, məktəb açıb onları oxutmaq məsələsi geniş yer tuturdu. Qəzet yazırdı ki, xalqımızın inkişafına mane olan səbəblərdən biri də mövhumatdır. Mədəniyyət inkişaf edir, yeni ixtiralar kəşf edilir, lakin bizim müsəlman aləmi yerində sayır. **“Dünya bir şeydir ki, həmişə dövrən edir və insan bu tövr dünyanın gərdisinə görə gərək habelə öz rəftarını da dəyişdirsin, necə ki, məsəldir deyirlər, zamanə sənə saz olmasa, sən zamanəyə saz olgilən. Pəs olmaz ki, dünyada həmişə bir qayda ilə rəftar olsun. Bizim zamanənin dəyişilməyi, əlbəttə, hər anlıyan kəsə məlumdur və 21 bu tövr zamanənin dəyişilməyi bizim ilə deyil, həmçinin biz qadir deyilik ki, əmanəni dəyişilməkdən saxlayaq. Ol kəslər ki, həmişə bizə etibar**

edib bizim sözlərimizə əməl ediblər, zamanə dəyişildiyinə görə gün-gündən tərəqqi edib irəli gedirlər” [9, *Əkinçi*, 1875]. *Biz öz qüvvəmizlə bu yoxsulluqdan xilas olmalıyıq. Biz bunu etməyə cəhd göstərməliyik, “bizə göydən kömək gəlməyəcək”* [10, *Əkinçi*, 1877].

M.F.Axundovun “Əkinçi” qəzetində xalq maarifi və məktəb uğrunda mübarizədən bəhs edən bir məqaləsi bu cəhətdən daha çox xarakterikdir. Həmin məqalədə deyilirdi: *“Bizim əzizimiz və gözümüzün işığı, Həsən bəy! Sən hər qəzetində biz müsəlman tayfasına elmin fəzilətini və səmaratını zinc edib, bizə hey təklif edirsən elm öyrənin, elm öyrənin! Çox yaxşı... İndi biz hazırıq ki, sənin nəsihətini əmələ gətirək. Bizə de görək, elmi harada öyrənək və kimdən öyrənək, hansı dildə öyrənək?”* [11, *Əkinçi*, 1877].

Bu üç məsələ o dövrdə xalq maarifi və ana dilli məktəblərinin təşkili qarşısında duran çox mühüm pedaqoji problemlər idi. “Bu problemlər kütləvi xalq məktəblərinin və müəllim kadrlarının çatışmaması, təlimin ana dilində aparılmaması ilə bağlı idi” [12, *Əhmədov H.*, 1975].

“Əkinçi” qəzeti gənclərə, cavanlara müraciət edərək yazırdı: “Ey elm təhsil edən cavanlarımız! Doğrudur, bizim vətən qardaşlarımız ilə üns tutmaq çətindir, siz danışdığınızı onlar başa düşməyib, əf alınızı şəriətə namüvafiq hesab edib, sizə kafir deyib incidəcəklər. Doğrudur, qeyri millətlər sizin kamalınızı görüb sizə artıq rütbə verəcəklər, amma insaf deyil ki, beş gün ömrün ləzzətindən ötrü milləti, qardaşlarınızı atıb, onları kor və sərgərdan qoyasınız. Pəs ləzzəti-dünyaya tamah etməyib öz qardaşlarınızı əməli-xeyrə vadar edib, qoy şüəralar sizi həcv etsin, mollalar lənət oxusun, əvam-ünnas daşa bassın, siz millət üçün zəhmət çəkirsiniz və bişəkk gələcəkdə millətin gözü açılanda sizi şəhid hesab edib, sizə rəhmət oxuyacaq” [13, *Əkinçi*, 2005, 1876]. Həsən bəy tərbiyəçini bağbana, uşağı isə meyvəyə bənzədib yazırdı ki, *“əgər insana uşaqlıqda yaxşı tərbiyə verilərsə, gəlib qabiliyyət sahibi olur və əgər ona tərbiyə verilməsə və ya bəd tərbiyə verilərsə, meşə ağacı turş meyvə gətirən kimi, bəqabiliyyət olur. Pəs, insanın qabil olmağına səbəb tərbiyədir. Ona binaən tərbiyə vacibi əməllərin birisidir”* [14, *Əkinçi*, 2005, 1877]. Qəzet elm ilə tərbiyəni əlaqəli, biri-birini tamamlayan bir vahidin iki hissəsi kimi götürürdü: “Qabiliyyət elm ilədir, elmsiz qalan kəs meşənin susuz qalan ağacı kimi bəsəməyə olur. Çünki insan üçün tərbiyə elm ilə olurmuş, belə də çox yaxşı olurdu ki, biz də, qeyr tayfalar kimi, məktəbxanalar bina edib, elm kitablarını öz dilimizə tərcümə edib, uşaqlarımıza elm yolu ilə tərbiyə edək və bundan ötrü ittifaq və himmət gərəkdir” [15, *Əkinçi*, 2005, 1877]. Qəzetin 1877-ci ildə nəşr olunan 16-cı sayında oxuyuruq:

Elmsiz kimsənə hünərsizdir,  
Elmi - bitərbiyə səmərəsizdir.  
Tərbiyə mayeyi - səadətdir,  
Tərbiyə şəxsə malü dövlətdir,  
Elmlə hər o kəs ki, danadır,

Qabili - feyzi - rəbbi - əladır [16, Əkinçi, 2005, 1877].

Qəzet sonra yazırdı: “Tərbiyə insanın dövlətidir, mayeyi səadətidir, tərbiyə insanı yüksəldir, onu kamil bir adam edir”.

“Əkinçi” qəzetində təlimin ana dilində aparılmasına, ana dilində dərsləklərin yaradılmasına yüksək qiymət verilirdi. Qəzetdə yazılırdı: *“Məktəblərdə ana dili çoxdan unudulubdur. Əgər biz millətimizin inkişaf edib irəli getməsinə istəyiriksə onlara dil verin. Biz ana dilimizi yaddan çıxartmışıq. Biz türklərin dilini tapın, onu sahibinə qaytarın ki, onlar yaşasınlar və qabağa getsinlər. “Bizə məktəblərdə ana dilində elm öyrədəcəklər, ya yox?” [17, Bax: Əkinçi, 2005, 1877, №9].*

Repressiya qurbanı Yusif Vəzir Cəmənzəminli mətbuatlarda ana dili ilə bağlı fikirlərini və ya düşüncələrini səciyyələndirərkən Həsən bəy Zərdabidən bəhs edərək yazır ki, bir gün Həsən bəy Zərdabinin yolu kitab, qəzet, jurnal satılan köşkün önündən düşür. Gözü “Füyuzat” məcmuəsinə sataşır. Əlinə alıb bir neçə vərəqinə baxdıqdan sonra soruşur:

– **Bunu kimin üçün yazırsınız?**

– **Camaat üçün, – demişlər.**

**Həsən bəy gülümsəyərək demişdir:**

– **Elə isə camaatın dilində yazın ki, camaat da başa düşsün” [18, Y.V.Cəmənzəminli. Seçilmiş əsərləri. Bakı: Avrasiya press, 2005, səh.351].**

Həsən bəy Zərdabinin tarixi xidmətlərindən biri də budur ki, o, “Əkinçi” qəzeti ilə Mirzə Fətəli Axundovdan sonra ana dili təlimi və dünyəvi məktəb ideyasını inkişaf etdirərək yeni yüksəkliyə qaldırdı. H.B. Zərdabi eyni zamanda savad təlimi ideyasını geniş yaymış, uşaqların ümumi təhsilini, ana dilində dünyəvi məktəblər yaratmaq ideyasını dövrün tələblərinə müvafiq olaraq elmi dəlillərlə əsaslandırmışdı.

*“Əkinçi” qəzeti məktəblərdə uşaqlara fiziki cəzanın verilməsinin əleyhinə çıxırdı. Qəzet yazırdı:* “Əkinçi” qəzeti həmişə bizim müəllimlərə və onlara uşaqlarını tapşırıqlara töhmət edir ki, onların hər ikisi uşaqlara yağlı olub ol qədr incidirlər ki, biçarə bildiyin də yaddan çıxarır. Əlhəqq, bu söz doğrudur, amma bu barədə bizim müəllimlərdə taxsır yoxdur. Müəllim bir sənətkar babadır öz sənətilə qeyr sənətkar kimi dolanır, yəni öz bildiyini uşaqların valideyninə satıb zindəganlıq edir. Və çünki sənətkarın yaxşı-yamam olmağına səbəb camaatdır, məsələn, yaman başmaq tikəndən başmaq alan olmasa, o başmaqçı ya gərək yaxşı başmaq tiksın ya başmaqçılığı bərhəm etsin, habelə müəllimin yaxşı-yaman olmağına bəis camaatdır və əgər camaat başa düşə ki, bu tövr təlim uşağı xarab edir və xahiş edə ki, qeyr tövr uşaqlara təlim olunsun, müəllim nələc qalıb camaat istəyən tövrə təlim edəcək yoxsa zikr olan başmaqçı kimi gərək müəllimliyi bərhəm etsin. Əlbəttə, şagirdin ata-anası deyəndə ki, molla onu döy, əti sənin, sümüyü mənim, molla nələc qalıb döyəcək, yoxsa ay başı gələndə ona pul verən olmaz” [19, Əkinçi, 2005, 1877].

Xalqını məcnunənə bir şəkildə sevən Həsən bəy Zərdabi əkinçilik və kənd təsərrüfatı məsələlərində maarifləndirməklə yanaşı, publisist yazılarında və ya əsərlərində, xüsusən gənc valideynlərə xitabən ünvanlanan əsərlərində tərbiyə, əxlaq, əxlaq tərbiyəsi, habelə ailə, ailədə uşaqların tərbiyəsi haqqında qiymətli fikirlər söyləmişdir. Belə qiymətli fikirlərdən birində yazır ki, “həqiqət, bizlərdə oğul atanın quludur. Məlumdur ki, bizlərdə oğul atanın hüsurunda oturmaq, xörək yemək, danışmaq və qeyrə eybdir. Ondan masəva oğul atadan izinsiz nə ki bir iş görə bilməz, hətta evlənə də bilməz. Xülasə, ata oğulu, bir şey kimi, məsələn, eşşək kimi özünə təəllüq hesab edib, hər nə öz xahişidir ona əməl elədir və dəxi bunu fikir eləmir ki, gələcəkdə bu adam olub, qəyyumsuz iş görəcək. Belədə uşaq nə ki qeyrlərin, hətta özünün ixtiyar və borclarından bixəbər olduğuna atası kimi özündən gücdülərin qabağında ikiqat oluban, özündən zəifləri adam hesab etməməyə adət edər. Xülasə, nə qədər qabiliyyətli uşaq olsa, bizim adətlər ilə oluna təlimdən insan ola bilməz. Biz övladın yağısı olub, onun axırına çıxıb, insaniyyətlə uzaq edirik. Bunu oxuyan belə qiyas etməsin ki, biz deyirik uşaq atanın sözünə baxmayıb, o buyurduğuna əməl eləməsin. Bu halda ki, bizim malımızın və qeyrə düşməni artır, uşağı dəxi bərk saxlamaq gərək ki, düşmənlərimizin ləzzətli görünən adətlərinə öyrənməsinlər. Pəs, biz deyirik ki, yumruq, sillə ortalıqdan çıxsın, uşaq ilə adamyana rəftar olsun ki, özü yaxşını yamandan dərk edib, bəd əmələ mürtəki olmasın” [20, **Əkinçi**, 2005, 1877]. Göründüyü kimi, “dərin mənə kəsib edən bu sözlərdə böyük hikmət vardır” [21, Həsənli O., 2017, səh.274].

“Azərbaycan ziyalıları H.Zərdabini xalqın mənəvi atası adlandırmışlar” [22. Y.Talıbov., F.Sadıqov., S.Quliyev., 1999, səh.236]. Bu mənada, görkəmli tənqidçi və ictimai xadim Firidun bəy Köçərli Yusif Vəzir Çəmənəzəminliyə ünvanladığı bir məktubunda Həsən bəy Zərdabinin əməli fəaliyyətinə böyük önəm verərək yazırdı ki, “Əkinçi”nin gözəl sözləri və nəfli məlumatı indi də öz əhəmiyyətini itirməmişdir. ...Onlar müəyyən bir sistem halına salınıb Azərbaycan dilində nəşr edilən dövrü jurnallarda çap olunarsa, çox faydalı olar”. Bu kimi söz ifadələrə biz də qoşuluruq, çünki həqiqətən də “Əkinçi”nin gözəl sözləri və nəfli məlumatı indi də öz əhəmiyyətini itirməmişdir. “Əkinçi” bir vaizdir, “Əkinçi” bir nəfsi-ləvvamə ki, bizi yamanlıqdan məlamət edir, “Əkinçi” bir aynadır, “Əkinçi” bir təbibdir [23, **Əkinçi**, 2005, 1877].

Firidun bəy Köçərlinin bu arzusu gözündə qalmamışdır. “Əkinçi” kitabı ilk dəfə 1979-cu ildə “Azərnəşr” mətbəəsində çap olunmuş, ikinci dəfə isə Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İlham Əliyevin 12 yanvar 2004-cü il tarixli sərəncamı ilə latın qrafikasında çap olunmuş (“Avrasiya Press”, 2005) və oxucuların öhdəsinə verilmişdir.

Həsən bəy Zərdabinin “Əkinçi” qəzetindəki maarifçi görüş və baxışlarını aşağıdakı kimi nəticələndirək:

1. Böyük ictimai xadim, maarifçi, mütəfəkkir şəxsiyyət Həsən bəy Məlikov Zərdabi “maarifdən, elmdən məhrum olan xalq işıqdan məhrumdur” deyərək cəhalətin, nadanlığın hökm sürdüyü bir dövrdə maarif məşəlini yandırarlardan biri olmuş və ömrünün sonunadək bu məşəli şərəflə və əzmlə daşımışdır;



2. “Əkinçi” qəzeti tərbiyənin mahiyyətindən danışarkən ən əsası şəxsiyyət tərbiyə etmək məsələsini ön plana daşımış və onu yüksək dəyərləndirmişdir;

3. Maarifdən, elmdən məhrum olan bir xalq işıqdan məhrumdur – deyən Həsən bəy Zərdabi maarif və müasirləşmə yolu ilə şüurları dəyişdirməyə, xalq kütlələrini mənəvi əsarətdən qurtarmağa qəlbən inanmış, dini mövhumata, yalançı axund və mollalara qarşı amansız mübarizə aparmışdır;

4. İnsanın sağlamlığını böyük nemət sayan Həsən bəy Zərdabi əxlaq tərbiyəsini fiziki tərbiyə ilə əlaqələndirərək müsbət əxlaqi sifətlərin tərbiyəsində “cisim tərbiyəsində” müstəsna əhəmiyyət vermişdir;

5. Xalqın mənəvi atası sayılan Həsən bəy Zərdabi uşaqlara ilk yaşlardan verilən tərbiyəni, ailə tərbiyəsini zəruri saymış, valideynlərə övladlarına düzgün tərbiyə verməyi zəruri bilmişdir;

6. Övladı valideyn üçün ən qiymətli bir nemət hesab edən Həsən bəy Zərdabi “Əkinçi” qəzetində valideynlərdən uşağa müstəqil düşünmək, təbiət və cəmiyyət hadisələrinə tənqidi yanaşmaq bacarığı, düzlük, doğruluq, əməksevərlik, dostluq və yoldaşlıq kimi nəcib keyfiyyətləri tərbiyə etməyi tələb etmişdir.

7. “Əkinçi” qəzetində tərbiyə, maarif, məktəb, müəllim, ünas, ailə və s. haqqında irəli sürülən fikirlər bu gün də çağdaş dövrümüzə cavab verir və öz dəyərli qiymətini saxlayır.

## ƏDƏBİYYAT

1. Qədimov Ə.N. (2023). Azərbaycan ədəbiyyatı Zaqafqaziya rusdilli mətbuatında Bakı: ADPU-nun nəşri, 296 səh.
2. Əhmədov H.M. (2011). Azərbaycan pedaqoji antologiyası (XIX əsr – XX əsrin əvvəlləri). Bakı: Maarif, 544 səh.
3. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1875, №8
4. Seyidov Ə.Y., (1958). *Azərbaycanda pedaqoji fikrin inkişafı tarixi*. Bakı: Azərnəşr, 312 səh.
5. *Əkinçi* (205-17705). Bakı: Avrasiya press, 496 səh.
6. Zərdabi H.M. (1960). Seçilmiş əsərləri. Bakı: Azərnəşr, 268 səh.
7. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №10
8. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1875, №11
9. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1875, №1.
10. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №16.
11. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №16.
12. Əhmədov H. “Əkinçi” qəzetində məktəb və maarif məsələləri. “Azərbaycan məktəbi” jurnalı, 1975, № 7
13. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1876, №11.
14. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №14.
15. *Əkinçi* (1875-1877), Bakı: Avrasiya press, 1877, №14
16. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №16
17. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №9
18. Çəmənəminli Y.V (2005). Seçilmiş əsərləri. Bakı: Avrasiya press, səh.351
19. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №11
20. *Əkinçi*, (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №12
21. Həsənlı O.Q (2017). Təhsilin müasir psixoloji problemləri. Naxçıvan: Əcəmi, 416 səh.
22. Talıbov Y.R., Sadıqov F.B., Quliyev S.M (1999). *Azərbaycanda məktəb və pedaqoji fikir tarixi*. Bakı: Ünsiyyət, 516 səh.
23. *Əkinçi* (1875-1877). Bakı: Avrasiya press, 1877, №7

## THE PLACE, ROLE AND IMPORTANCE OF DEMOCRATIC IDEAS IN THE “EKINCHI” NEWSPAPER

**Kamal Jamalov**

**Professor of Nakhchivan Teachers' Institute,**

**Doctor of Pedagogical Sciences**

**Honored Teacher of the Republic of Azerbaijan**

**E-mail: [kamal.camalov@gmail.com](mailto:kamal.camalov@gmail.com)**

**<https://orcid.org/0000-0003-1977-7250>**

**Abstract.** The article discusses the place, role and importance of democratic ideas in the newspaper "Ekinchi". Hasan bey Zardabi, saying "a people deprived of education and science is deprived of light", was the first to light the torch of education in an era of ignorance and carried this torch with honor and determination until the end of his life. The newspaper "Ekinchi" when talking about the essence of education, brought the issue of educating the personality to the forefront and highly valued it. The article also emphasizes that Hasan bey Zardabi, believing wholeheartedly in changing consciousness and freeing the masses of the people from spiritual slavery through education and modernization, waged a merciless struggle against religious superstition, false akhunds and mullahs.

The article also notes that Hasan Bey Zardabi, by linking moral education with health, attached exceptional importance to “physical education” in the education of positive moral qualities. He considered the education given to children from an early age, family education, as essential, and considered it necessary for parents to give their children proper education. He considered it important for parents to instill in the child such noble qualities as the ability to think independently, the ability to critically approach natural and social phenomena, honesty, truthfulness, hard work, friendship and companionship.

In conclusion, it is emphasized that the ideas put forward in the "Ekinchi" newspaper about upbringing, education, school, teacher, marriage, family, etc. still correspond to our contemporary era and retain their valuable value.

**CƏLİL MƏMMƏDQULUZADƏNİN NƏSR YARADICILIĞI (M.İBRAHİMOV  
ARAŞDIRMALARINDA)  
PROSE CREATIVITY OF JALIL MAMMADGULUZADE (IN THE RESEARCH OF M.  
IBRAHIMOV)**

**Dr. Ülker Bahşiyeve**  
**ADPU-nun Filoloji fakültesinin**  
**Edebiyatın tədrisi texnologisi**  
**bölmünün baş öyrətım üyesi**  
[ulker.baxsiyeva@mail.ru](mailto:ulker.baxsiyeva@mail.ru)  
**ORCID ID 0000-0002-5994-2356**

## **GİRİŞ**

M.İbrahımovun araşdırmalarında C.Məmmədquluzadənin nəsrı ilə bağı təhlil “Poçt qutusu”, “Xanın təsbəhi”, “Qurbanəli bəy”, “İranda hürıyyət” və “Usta Zeynal” hekayələrını və s. üslub, süjet, mövzu, ideya və s. baxımdan təhlil olunmuşdur. M.İbrahımov Usta Zeynal obrazını təhlil edərəkən, onun həyatında hər şeyin mənəsinin “təvəkküldən” ibarət olduğunu önə çəkır. Ona görə də Usta Zeynalın hər şeyə biganə olmasının, dünya işlərinə maraqsız yanaşmasının səbəbını doğıru olaraq bununla bağlayır. “Qurbanəli bəy” hekayəsinə M.İbrahımov daha çox dövrün ictimai və siyasi mənəzərsını əks etdirən əsər kimi qiymət verir. Qurbanəli bəyin “spasibo” deyimini gülüş vasitəsi kimi təhlil etməklə ona ictimai mənə verir. Mütləqiyyət və işğal məmurlarına yerli satqınların “sədaqət və nəvazışlərinin” faciəsi kimi baxır. Buradakı faciə dinamizmin alt qatda cərəyan etdiyini bildirir. M.İbrahımov C.Məmmədquluzadə hekayələrindən danışarkən mühüm bir cəhət kimi onun hekayə yaradıcılığının sonrakı mərhələsində göz yaşı və faciənin azalmasını qeyd edir. Bunun səbəbını xalq kütlələrinin ictimai mübarizəyə qoşulması, öz haqlarını dərk etməsi ilə bağlayır. M.İbrahımov göstərir ki, müəyyən mərhələdən sonra C.Məmmədquluzadənin Usta Zeynalı və Novruzəlişi əvvəlki Usta Zeynal və Novruzəli deyildir. Buna misal olaraq M.İbrahımov yazıcının “Quzu” əsərini misal gətirir. “Quzu” hekayəsindəki Məmmədhəsən açıqgöz, ayıq, bacarıqlı, yeri gələndə işə hiyləgər təsiri bağışlayır. Artıq bu obraz ictimai aktivlik qazanan obrazlar sırasında tam fərqli təsir bağışlayır. M.İbrahımov bu halı C.Məmmədquluzadə yaradıcılığı üçün yeni mərhələnin əlaməti kimi xarakterizə edir.

M.İbrahımov “Böyük demokrat” adlı tədqiqat əsərini səkkizinci bölməsini C.Məmmədquluzadənin sovet dövrü yaradıcılığına həsr edir. C.Məmmədquluzadə bu hissədə sovet yazıcısı və jurnalisti kimi təqdim edilir. Burada müəyyən tərcümeyi-hal faktları, C.Məmmədquluzadənin Təbrizdəki jurnalistik fəaliyyəti, “Molla Nəsrəddin” jurnalını çap etdirməsi, 1921-ci ildə Azərbaycan Respublikası rəhbərliyinin dəvəti ilə Bakıya çağırılması və s. məsələlər epizodik şəkildə nəzərə çatdırılır. Bildiyimiz kimi, C.Məmmədquluzadə sovet Azərbaycanı hökumətinin dəvətindən sonra Bakıya gəlmiş və ömrünün sonuna qədər (1932) bu şəhərdə yaşayıb yaradıcılıq fəaliyyətini davam etdirmişdir. Böyük ümid və sevinclə Bakıya gələn və sovet hakimiyyətinin qələbəsindən öz xalqı üçün çox şeylər gözləyən C.Məmmədquluzadənin ümidləri bir neçə ildən sonra puça

çıxmışdır. Ona görə də C.Məmmədquluzadənin Bakı həyatının təxminən ilk yarısı ümidlərlə bağlı olduğu üçün yazığının əsərlərində bu dövrü təqdir edən nümunələrə rast gəlmək mümkündür. Sonrakı mərhələdə isə sovet quruluşunu təqdir edən yazılara ya rast gəlinmir, ya da dövrü tərif edən bu yazılarda məcburiyyət hissi və könülsüzlük açıq-aydın hiss olunur. Bu halı düzgün qiymətləndirən akademik İsa Həbibbəyli belə yazırdı: “Ədib illər uzununu uğrunda çarpışdığı amallara heç olmasa sovet dövründə çatmağa can atmışdır. Lakin... ictimai-ədəbi mühitdə biganəliyin, laqeydliyin, tənhalığın burulğanına düşmüşdür” (5, 359).

M.İbrahimov isə C.Məmmədquluzadənin sovet dövrü ictimai və ədəbi-bədii fəaliyyətinə yüksək qiymət verir, ictimai fəaliyyət və sənətini şüurlu surətdə “zəhmətkeş xalqa, əməkçi bəşəriyyətə verdiyini” nəzərə çatdırır. Göründüyü kimi, M.İbrahimov C.Məmmədquluzadə yaradıcılığının və ictimai fəaliyyətinin sovet dövrünü təhlil edərkən bu dövrün ideoloji qadağaları şəraitində “məsələləri bütün açıqlığı ilə təhlildən keçirə bilməmişdir” (5, 359). Lakin bütün bunlara baxmayaraq C.Məmmədquluzadənin yazıçı və jurnalist kimi möhtəşəm obrazını canlandıra bilmişdir.

“Böyük demokrat”ın doqquzuncu bölməsi “C.Məmmədquluzadənin yaradıcılıq xüsusiyyətləri haqqında” və onuncu bölməsi isə “Bəzi yekunlar” adlanır. Hər iki bölmədə C.Məmmədquluzadəyə məxsus o keyfiyyətlərdən danışılır ki, bu məsələlər bu və ya digər dərəcədə əvvəlki səkkiz bölmədə təhlil olunmuşdur. Ancaq həmin məsələlər bu hissələrdə təkrar yox, ümumiləşmə səciyyəsinə malikdir. Məsələn, C.Məmmədquluzadənin yaradıcılıq xüsusiyyətlərindən danışarkən varlığa realist münasibət, xəlqilik, sənətdə realizmin təzahürü, dil, millilik və bu kimi digər məsələlər ümumiləşdirilərək təhlil süzgecindən keçirilir. “Bəzi yekunlar” bölümündə isə M.İbrahimov C.Məmmədquluzadə yaradıcılığı ilə əlaqədar gəlidiyi nəticələri sadalayır. Dörd hissədən ibarət olan bu bölmədə isə C.Məmmədquluzadə böyük yazıçı, ölməz jurnalist, ictimai xadim, müəllim, alovlu vətənpərvər kimi dəyərləndirilir.

#### KAYNAKLAR

1. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, I cild, Bakı: Yazıçı, 1978, 512 s.
2. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, II cild, Bakı: Yazıçı, 1978, 504 s.
3. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, III cild, Bakı: Yazıçı, 1979, 592 s.
4. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, IV cild, Bakı: Yazıçı, 1979, 596 s.
5. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, V cild, Bakı: Yazıçı, 1980, 339 s.
6. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, VI cild, Bakı: Yazıçı, 1981, 376 s.
7. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, VII cild, Bakı: Yazıçı, 1981, 332 s.
8. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, VIII cild, Bakı: Yazıçı, 1981, 303 s.
9. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, IX cild, Bakı: Yazıçı, 1982, 664 s.
10. İbrahimov M. Əsərləri, 10 cildə, X cild, Bakı: Yazıçı, 1983, 507 s.
11. İbrahimov M. Niyəsiz, necəsiz bir yazısan sən. Bakı: Yazıçı, 1985, 552 s.

## YAPAY ZEKA ÇAĞINDA ANA DİLİ ÖĞRETMENLERİNİN YETERLİK GEREKSİNİMLERİ B/m., Lale MUSAYEVA

Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universitesi, Azerbaycan dili ve öğretim teknolojisi bölümü,

[lala.musayeva.adpu@gmail.com](mailto:lala.musayeva.adpu@gmail.com), ORCID: 0000-0002-7701-5716

### Özet

Yapay zeka teknolojilerinin eğitim ortamına hızlı entegrasyonu, öğretmenlik mesleğinin içeriğini ve mesleki yeterlik çerçevesini yeniden tanımlamıştır. Özellikle ana dili öğretmenleri için bu değişim daha anlamlıdır; çünkü onlar yalnızca dil bilgisini aktaran uzmanlar değil, aynı zamanda öğrencilerin iletişimsel, eleştirel ve yaratıcı düşünme becerilerini şekillendiren temel figürlerdir. Yapay zeka çağında ana dili öğretmenin rolü, geleneksel bilgi aktarıcısından dijital pedagog, küratör, içerik seçici ve etik yönlendirici düzeyine yükselmiştir. Araştırma göstermektedir ki, çağdaş öğretmen öncelikle dijital okuryazarlığa, yapay zeka araçlarını amaç odaklı kullanma becerisine ve verileri eleştirel değerlendirme alışkanlığına sahip olmalıdır. Yapay zeka tabanlı platformlar, yazıların analizi, metin oluşturma, kişiselleştirilmiş geri bildirim ve değerlendirme sürecinde yeni olanaklar yarattığından, öğretmen bu teknolojilerin hem olanaklarını hem de sınırlılıklarını bilmelidir. Bununla birlikte, ana dili öğretmeni, dilin estetik, kültürel ve ulusal-manevi işlevlerini koruma misyonunu da sürdürmelidir. Yapay zeka araçlarının kullanımı, öğretmenin metodik hazırbulunuşluğunu zayıflatmamalı, aksine onu daha yaratıcı ve esnek pedagojik kararlar almaya yönlendirmelidir. Öğretmen, yapay zeka tarafından sunulan metinleri, yanıtları ve analizleri körü körüne kabul etmemeli; bunların doğruluğunu, dilbilimsel uygunluğunu ve etik içeriğini değerlendirmelidir. Yapay zeka çağında önemli yeterlikler arasında dijital etiğe bağlılık, telif hakkına duyarlı yaklaşım, intihalin önlenmesi, veri güvenliğinin korunması ve öğrencilerde sorumlu teknoloji kullanımının geliştirilmesi de önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca, öğretmen değişen eğitim ortamına uyum sağlayarak sürekli mesleki gelişim yolunu seçmeli ve yeni teknolojilerle çalışma becerisini sürekli güncellemelidir. Sonuç olarak, yapay zeka çağında ana dili öğretmenlerinin yeterlik gereksinimleri yalnızca teknolojik bilgiyle sınırlı değildir; bu gereksinimler pedagojik, etik, dilbilimsel ve analitik becerilerin entegrasyonunu öngörmektedir. Dolayısıyla, çağdaş ana dili öğretmeni hem dilin koruyucusu hem de dijital çağın gereksinimlerine uyum sağlayan profesyonel bir eğitim lideri olarak hareket etmelidir.

**Anahtar kelimeler:** ana dili öğretmeni, yapay zeka, yeterlik, dijital okuryazarlık, pedagojik beceriler, etik sorumluluk, eğitimde yapay zeka, öğretmen yetiştirme



## COMPETENCY REQUIREMENTS FOR NATIVE LANGUAGE TEACHERS IN THE AI ERA

Senior lecturer, Lala MUSAYEVA

Azerbaijan State Pedagogical University, Department of Azerbaijani Language and Educational Technology, [lala.musayeva.adpu@gmail.com](mailto:lala.musayeva.adpu@gmail.com), ORCID: 0000-0002-7701-5716

### Abstract

The rapid integration of artificial intelligence technologies into educational environments has redefined the content of the teaching profession and the framework of professional competencies. This transformation is particularly significant for native language teachers, as they are not merely specialists who transmit linguistic knowledge but also key figures who shape students' communicative, critical, and creative thinking skills. In the AI era, the role of the native language teacher has evolved from that of a traditional knowledge transmitter to a digital pedagogue, curator, content selector, and ethical guide. Research indicates that the contemporary teacher must first and foremost have digital literacy, the ability to use AI tools purposefully, and the habit of critically evaluating data. Since AI-based platforms create new opportunities for analyzing written work, generating texts, providing personalised feedback, and conducting assessments, teachers need to understand both the affordances and the limitations of these technologies. At the same time, native language teachers must continue their mission of preserving the aesthetic, cultural, and national-moral functions of language. The use of AI tools should not weaken teachers' methodological preparedness; rather, it should guide them toward making more creative and flexible pedagogical decisions. Teachers should not accept texts, responses, and analyses generated by AI uncritically; they must evaluate their accuracy, linguistic appropriateness, and ethical content. Among the essential competencies in the AI era are adherence to digital ethics, a sensitive approach to copyright, prevention of plagiarism, protection of data security, and the cultivation of responsible technology use among students. Furthermore, teachers must choose a path of continuous professional development in response to the changing educational environment and constantly update their ability to work with emerging technologies. In conclusion, the competency requirements for native language teachers in the AI era are not limited to technological knowledge alone; they entail the integration of pedagogical, ethical, linguistic, and analytical skills. Consequently, the contemporary native language teacher must act both as a guardian of the language and as a professional educational leader who adapts to the demands of the digital age.

**Keywords:** native language teacher, artificial intelligence, competency, digital literacy, pedagogical skills, ethical responsibility, AI in education, teacher training

## KIBRISLI ŞAİR ALİ HANDİNİN DİVAN POETİKASINDA ÜRFANİ VESFLERİN MENA SİRLERİ

Doç.Dr. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ

ORCID: 0009-0001-1327-3425 [ezimliebulfez@yahoo.com.tr](mailto:ezimliebulfez@yahoo.com.tr) Google Akademik, Dünya Sülh Səfiri; [Nobel Prize & India](#)- Birliyinin Yönetici üzvü; Qlobal Yazarlar Akademiyası-Hindistan üzvü; Türk Dünyası Vətəndaşlığı və Eytimçilər Birliyi üzvü; TÜRKSOY üzvü; [Poetas Intergalácticos](#)-üzvü; Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan Müəllimlər İnstitutu: BÜTÖV AZERBAIJAN

### ÖZƏT

Əli Handi Rumeli'nin Eski Zağra (şimdi Bulqarıstan sınırları içərisindədir) mentegesinde doğulmuş, tədqiqatçı Dr. Harid Fedai'nin dediyi üzərə, Sultan II. Mahmud (1808) və Sultan Abdulmecid (1839-1861) zamanlarında Kıbrıs'ta yaşamış (Fedai, 2003: 20), ömrünün sonunadək orada yazıp-yaratmışdır. Handi Türkce və Farsca Divan'lar bağlamış, Divan poetikasının çeşitli janrlarında-şekillerində şiirler yazmışdır. Divanını Dr. Harid Fedai 2003-cü yılda Lefkoşada çap ettirmişdir. Dr. Harid Fedai'nin məlumatına görə, Divanda 329 gəzel vardır. Harid Fedai seçmə yolla, şairin 210 gəzelini on dörd yıllık hazırlıktan sonra nəşr etdirə bilmişdir.

Təsəvvüf aləminin Ürfan poetikası Əli Handinin simasında XIX əsr Avropa mühitində də yeni ədəbi hadisələrdən idi.

Handi Avropada Şərq –Doğu mehrini, humanizmini- Bəşəri sevgi, İlahi Eşq nəğmələrini yazıya aldı. Onun poeziyasında İrfan dərin dəryadır: bu dəryada əsl insani sevgi ilə İlahi Eşq mərifəti qovuşuk halındadır: və bu, ümumən, bütün Təsəvvuf aləminin, Təsəvvüfi şair və alimlərin tərənnüm, vəsf poetikasının iç dünyasına aid olan keyfiyyət-dəyərdir...

Əli Handinin dili, idi də davam edən Azərbaycan Oğuz Türkcəsi dilidir. Bu, AZərbaycan Divan şeirinin dili deməkdir.

Ali Handi-nin gəzəlləri böyük İrfan dünyasının heyretəməz inceliklərinin ifadəsi bəkimindən, Yeni Dönem Klassik Türk Edebiyatının nadir inciləri sırasında məhsusi biçimləre malikdir: bu İrfan Dünyası bütün zamanların və məkanlar Ahlak, Mərifət Dünyasıdır: bəşəri birlik, bütövlük ələmidir: İrfandan kənar olanların bəşəri nicəti olmaz.

Ali Handi'yədək Doğu Anadolu yüz-yüz yıllar boyu kəndi İrfan dünyasının ideallarını yayırdı. Handi də o ideaların ışıqından ışıqlar almış və o ışıqlardan kəndi zamanına əyna-güzgü tutmuş, irfani hikmətlərin sihrini də o güzgüləndən əks ettirmişdir.

Təsəvvuf lirikasında Vəsfətmə mənəların ələmet və nişənlərini, rənglərini açmadır. Handinin klassik bəğlilığının ruhu bu nişənlərə, ələmetlərə , bu ələmetlərdəki ələmetlərə, yəni həmə ələmetə, həmə də ələmetin ələmet-nişənlərinə məhsusdur. Bu ənləddə nə kədar ənləmlər yatır: bu yatımlar Handinin poeziyasında Mənəların məhsusi irfani sirləridir: bu sirlərin vəsf-vüsə-aşk-cən-cənə vəhdətində bəyanə mühtəc mənəlar vardır;

Ve bu özelliğde daha bir ince özellik: manalar onun vasfindan gıdalanır: bele desek: mena mena yaradır, akar sular gibi kendi nehrine sığışmır, özünün mansup olduğı mekana, İlahi kudretin İrfan daryasına kovuşmağı doğru gedir.

**AÇAR SÖZLƏR:** Kıbrıslı şair Əli Handi; Əli Handidə ürfani sirlər; Handi poetizmində Ürfani vəsflər.

## **THE MEANINGS OF MYSTICAL VERSES IN THE DIVAN POETRY OF THE CYPRIOT POET ALI HANDI**

### **ABSTRACT**

Ali Handi was born in Eski Zagora (now within the borders of Bulgaria) in Rumelia, and, as the researcher Dr. Harid Fedai states, lived in Cyprus during the reigns of Sultan Mahmud II (1808) and Sultan Abdulmecid (1839-1861) (Fedai, 2003: 20), and wrote and created there until the end of his life. Handi compiled Divans in Turkish and Persian, and wrote poems in various genres and forms of Divan poetry. His Divan was published in Nicosia in 2003 by Dr. Harid Fedai. According to Dr. Harid Fedai's information, there are 329 ghazals in the Divan. Harid Fedai was able to compile 210 of the poet's ghazals through selection, after fourteen years of preparation.

Urfan poetics of the world of Sufism, in the person of Ali Handi, was one of the new literary events in the European environment of the 19th century.

Handi wrote down the songs of Eastern love and humanism in Europe. In his poetry, İrfan is the deep ocean: in this world, the original human love and the knowledge of Divine Love are combined: and this, in general, belongs to the inner world of the poetics of poetry and poetry of the entire Sufi world, Sufi poets and scholars. quality-dəyərdir...

The language of Ali Hani is the Oghuz Turkish language of Azerbaijan, which continued until then. This means the language of Azerbaijani Divan poetry.

Ali Handi's ghazals, in terms of expressing the astonishing subtleties of the great world of wisdom, possess special forms that place them among the rare gems of New Era Classical Turkish Literature: this world of wisdom is the world of morality and knowledge for all times and places; it is the realm of human unity and wholeness; those who are far from wisdom cannot achieve human perfection.

For centuries, Eastern Anatolia, up to Ali Handi, disseminated the ideals of its own world of wisdom. Handi, too, drew light from the illumination of those ideals and reflected that light onto his own time, revealing the magic of mystical wisdom through that mirror. In Sufi lyricism, description is the unveiling of the signs, symbols, and colors of meanings. The spirit of Handi's classical devotion is specific to these signs, these symbols, these signs within signs, that is, both to the sign itself and to the sign-symbols of the sign. How much

meaning lies in this: these reflections are the special mystical secrets of Meanings in Handi's poetry: these secrets contain meanings that need to be expressed in the unity of description-union-love-soul-beloved; And in this characteristic, a more subtle feature: meanings are nourished by its description: so to speak: meaning after meaning, like flowing waters, cannot be contained within its own river, it goes towards the place to which it belongs, towards the sea of Divine power and Mystical Wisdom.

**KEYWORDS:** Cypriot poet Əli Handi; Əli Handidə ürfani sirlər; Urfani qualities in Handi poetism.

## GİRİŞ

Handi Rumeli'nin Eski Zağra (şimdi Bulqarıstan sınırları içərisindədir) mentegesində doğulmuş, tədqiqatçı Dr. Harid Fedai'nin dediği üzere, Sultan II. Mahmud (1808) və Sultan Abdulmecid (1839-1861) zamanlarında Kıbrıs'ta yaşamış (Fedai, 2003: 20), ömrünün sonunadək orada yazıp-yaratmışdır. Handi Türkce və Farsca Divan'lar bağlamış, Divan poetikasının çeşitli janrlarında-şekillerində şiirler yazmışdır. Lefkoşalı Dr. Harid Fedai onun Divanını əldə etmiş və nəşrə hazırlamışdır.

Ali Handi bir kayda olaraq, Divan'da şiirlerini harf sırası ilə düzmüşdür. Dr. Harid Fedai'nin məlumatına görə, Divanda 329 gəzəl vardır. Harid Fedai seçmə yolla, şairin 210 gəzəlini on dörd illik hazırlıqdan sonra, 2003-cü ildə Lefkoşada çap etdirmişdir. Harid Fedai çap etdirdiyi kitabın ilk səhifəsində kayd edir ki, o, Kıbrıslı şairlərin soracağı ilə əsərlər aktararkən “yepyeni bir Divan'la qarşılaşır”. Bu tapıntı divan Poetikasi ilminin bilicisi Şeyh Dr. Harid Fedai üçün “epey şaşırtıcı olmuştu” (Fedai, 2003: 3).

Harid Fə dai 1920-ci il təvəllüdlü idi.

2017-də vəfat etdi. Allah rəhmət ələsin

Türkiyədə bir neçə dəfə Gəncərelərdə bir yerdə olmuşuq. Haqqında yazmaq fikrim var idi. İmkan Tapıb Lefkoşaya gedə bilmədik. İnşallah, haqqında yazılarımızı davam etdirərik.

## ƏLİ HANDİNİN TƏSƏVVÜFİ POETİKASINDA ÜRFANİ MƏZMUN VƏ MƏNALARIN İFADƏ SİRLƏRİ

İlk dəfə Əli Handinin “Divan”ını haqqında məlumat verən Harid Fə daidir. Harid Fə dai Əli Handinin “Divanı” 2003-cü ildə Lefkoşada nəşr etdirmişdir. Təqdimdə Qəzəllərin Bəhr Təfilələrini də vermişdir. Əli Handi Divan nəşr-kitabını Bizə göndərmişdir. Sonra başqa kitablar da göndərdi. Rəcəizadə kimi bir tanınmış şairin də Divanını göndərmişdir.

Kıbrıslı Handinin ədəbi mövqeyi necədir? Təsəvvüf aləminin Ürfan poetikasi Əli Handinin simasında XIX əsr Avropa mühitində də yeni ədəbi hadisələrdən idi

Ali Handi haqqında ötən yazımızda kiçik mə'lumat vermişdik. Əlavə olaraq, nə demək istərdik? Handi XVIII yüzilyılın sonlarında Zağrada doğdu, XIX yüzilyılda Sultan II. Mahmud (1808-1839) və Sultan Abdulmecid (1839-1861) dövəmlərində Kıbrıs'da yaşadı. Divan'ını ilk dəfə 2003 ilylında sayın Dr. Harid Fedai nəşr etdirdi.

XIX yüzil Yeni Dönəm Anadolu-Rumeli ədəbiyyatının ən qüdrətli şairlərindən biri kimi, Handi bir Ürfan-hikmət şairi kimi Orta əsrlər Türk Divan ədəbiyyatının Ürfan sirləri ilə Avropa məkanına insansevərlik-humanizm, məhəbbət-Eşq hikmətləri-nəğmələri oxudu.

Handi'den yüz-yüz yıllar əvvəlində Avropada İrfan məktəbini, İrfan dünyasını Türklər yaratdı, ancaq avropalılar bu Ürfandan faydalana bilmədilər və 700 yıl bir zaman erasının Türk-İslam Fəzilətlərinə sığınan xalqlardan fərqli olaraq, avropalı zülmət və zülmperəstlər sonda Türklərin üzərinə səlip yürüşünə keçdilər.

Görünür, Ürfan onları islah ede bilməmişdir: Kimi həqiqət, iman, ürfan, əxlaq tərbiyələndirə bilməyibsə, onu daha nə tərbiyələndirə bilər?!

Məzmun və mana, ifadə tərzinə görə onun qəzəlləri də Divan şeirinin poetika özəlliklərinə məxsus incə, dərin ifadə-məna aydınlığına malikdir. Handi min dörd yüz ildən çox bir Ürfan zamanına mansupdur. Onun Söz, Hikmət mənbəyi, “Quran-i Kərim”dir, Peyğəmbərimiz Muhəmməd (s.a.v.) –in Hikmətləridir: hədisləridir, Əhli-Beyt fəzilətləridir.

Handi Avropada Şərq –Doğu mehrini, humanizmini- Bəşəri sevgi, İlahi Eşq nəğmələrini yazıya aldı. Onun poeziyasında İrfan dərin dəryadır: bu dəryada əsl insani sevgi ilə İlahi Eşq mərifəti qovuşuk halındadır: və bu, ümumən, bütün Təsəvvuf aləminin, Təsəvvüfi şair və alimlərin tərənnüm, vəsf poetikasının iç dünyasına aid olan keyfiyyət-dəyərdir...

Əli Handinin dili, idi də davam edən Azərbaycan Oğuz Türkcəsi dilidir. Bu, AZərbaycan Divan şeirinin dili deməkdir.

Zamanlarından asılı olmayaraq, AZərbaycan /Oğuz/ Türkcəsi ədəbiyyatı klassik bədii əsərlərin- Divan ədəbiyyatının Bədii-Poetik Dili Vahid Dil olub. Bu dil, məkanların uzaqlıq və yaxınlığından asılı olmayaraq, bütün şairlər və oxucular arasında anlaşılan dildir. Bu ona dəlalət edir ki ki, söz sənəti, ədəbiyyat və mədəniyyət, mədəniyyət baxımından Azərbaycan-Oğuz Türkcəsi Vahid Məkanlar, Bütöv və Böyük Ədəbiyyat Türkcəsi idi.

Başqa sözlə desək, dil və üslub klassizmi baxımından, Naxçıvanda yaşayan hər hansı bir şairin əsəri ilə Kəlkütdə, Dehlidə, Qahirədə, Aşqabadda, Uyğurustanda, Kərkükdə, Dərbənddə, Ərdəbildə, Təbrizdə, Zəncanda, Ərzurumda, Sivasda, Kiprdə/Kıprızda- Lefqoşada yaşamış şairlərin əsərlərinin dili arasında vahidlik, dil baxımından eynilik mövzu-ideya baxımından vahidlik vardır.

Ali Handi, bir qayda olaraq, Divan-da şeirləri əlifba sırası ilə düzmüşdür.

Onun Divan-ında 329 qəzəl var. Ədəbiyyatşünas Harid Fədainin 210-u seçmə üsulla tərtibi ilə nəşr olunub. Bu, Harid Fədainin təqdirəlayiq xidmətlərindən biridir ki, o, hər qəzəlin sonunda müasir dilimizdə indi çətin başa düşülən sözlərin mənalərini, həm də hər qəzəlin yazıldığı bəhrini təqdim etmişdir

Manalar Ali Handinin vasfından gönçe açıpdr: söz gönçelenip, fikir gönçelenip; her gönçenin türlü-türlü mana aşarları vardır: bu kendi-kendini açma üslubudur- tasavvuf aleminin inceliklerini açır-düğünleri açar gibi. Handinin söz düğünleri açıldıkça açılır- ve şair her açımında yeni manalar çözeliyir-üstüörtülü manalar.

Tasavvuf poeziyası hazinelerin derinliklerine baş vurur ve o derinliklerden saysız-hesapsız hikmet cevahirleri çıkarır: Handi böyle bir poeziya varlığının yetkilisidir.

Handi İrfan şairidir: o, mana gazeli yazırdı ve Handi o ma'na gazeline irfan aydınlığı verirdi: gazelin ma'na aydınlığı onun düşünce ve duygularının aydınlığıdır.

Gazel eslinde irfan şiiridir. Bizim nazarımızca, **Gazel Şiirin Sazıdır**. Sazla irfan düşünceleri, aşk bağıllığı bağlanar: mehebbet hankı tellerle bağlanmakdırsa, gazel şiiri de aşikin ruhunun, aşikin aşk bağlantılarının vasfını o tellerle verir: vasfa –Sevgiliye vasf koşur, sırta sır bağlayır. Kendinedek yaşamım mutasavvufar gibi, Handi de arifi kendi sevgilisine kovuşturmak vacdlerini-hayatlarını ifade edir. Ve bütün arifler aleminde: habele Handinin poeziya-hikmet dünyasında **İrfan insanın aşkını derinleştiren bir Deryadır**.

İrfan “inna lillahi va inna ileyhi raciun” ilmidir: vahdet nereye aittir-şimdi malum oldu: “inna lillahi”den “inna lillahi”ye. Eger irfan yolunu tapsan, “inna ileyhi raciun”u anlaya bilersen. “inna lillhi va inna ileyhi raciun”-nu anladığına göre Handi şöyle söyleyir:

**Zübde-i terhib-i insan benem**

**Mefhum-ı rumuz-ı Kur'an benem.**

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 148: 183)**

- insan terhibinin- mayasının cövheri-kaymağı benem,  
Kuran remzlerinin—ma'na işarelerinin sözü benem.

**Benlik zannetmesin gafiller,**

**Hakikat-ı kelama bürhan benem.**

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 148: 183)**

- Gafiller- habersizler: kaflette kalanlar bunu benlik zannetmesinler:  
Kelam hakikatlarına delil- sübut benem.

**Surette insanım, siratde Rahman,**

**Recm-i Bismillahde şan benem.**

Surette-varlık aleminde insan, ma'na aleminde Rahmanam: burada “inna lillahi ve inna ileyhi raciun”-biz Allaha mahsussuk ve ona döneceyik: yani biz vahdetimize mahsusuk: Vahdet Rahmana kovuşmaq, onda var olmaq Marifatıdır.

**Rahmet benim mayemde fazl-ı Hakk,**

**Fazlu'llah remzine beyan benem.**

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 148: 183)**

- ben Rahmetim: mayemde Hakk faziletleri var.



Ben Fazlullah remzinin- Allah'ın fazlının ( fezl- deyer, leyaget, fezilet, üstünlük, merhemet, hayır, bereket) ma'na işaretlerinin beyanımı.

**Çok söylemem kelimemi sufi,**

**Netice-i 'ılm ü 'irfan benem.**

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 148: 183)**

- sözü sufi gibi çok gizli, örtülü- perdeli söylemem: bütün söylemlerde ilim ve irfanın neticesi-sonucu benem.

**Tifl iken söyledım beşikde sözüm,**

**Bu remz ile sırr-i Sübhan benem.**

- Uşak-cocuk iken sözümü beşikte söyledim: Hz.Isa (a.s.) gerçeği söylemek için çağa iken konuştu: ben de gerçeği bildirmek için söyledim.

Bu işare- sübut remzlerle Sübhanın-yaradanın sırrı benem.

**Benem ayine-i varidat-ı küll,**

**Handi maksud-ı ins ü can benem.**

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 148: 183)**

*Bütün varidatın-Allahın bahışlarının ayinesi benem;*

*Yani bende tecessüm edir bütün verilenler-varıdat;*

*İnsanların ve cinlerin istediği, arzu ettiği (müdrük) benem;*

*Onların bana ihtiyaçları var, onlar bana mühtacdırlar.*

Göründüğü üzere, Ali Handi-nin gazelleri büyük İrfan dünyasının heyretamiz inceliklerinin ifadesi bakımından, Yeni Dönem Klassik Türk Edebiyatının nadir incileri sırasında mahsusi biçimlere maliktir: bu İrfan Dünyası bütün zamanların ve mekanlar Ahlak, Marifet Dünyasıdır: beşeri birlik, bütövlük alemidir: İrfandan kenar olanların beşeri nicatı olmaz.

Ali Handi'yedek Doğu Anadolu yüz-yüz yıllar boyu kendi İrfan dünyasının ideallerını yayırdı. Handi de o ideaların ışığından ışıklar almış ve o ışıklardan kendi zamanına ayna-güzgü tutmuş, irfani hikmetlerin sihrini de o güzgülüden eks ettirmiştir. Her şeyden öne, Handi insana müraciat edir, onu İrfan ilmini öğrenmeye çağırır:

**Arif ol, adem isen, gel beri, insan öğren,**

**Nükte-i 'aşka kadem bas, yürü 'irfan öğren.**

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 167: 202)**

-eger insan isen, arif ol, bize-yakına gel, insanı,insanlığı öğren: kendini öğren.

Aşk nüktesi alemine ve mekanına kadem bas-ayak koy, kaflette kalma, yürü- irfan öğren. Bu anlamda: İrfan insanı öğrenmek, insanı kendine tanıtmak ilmi, insanın kendini derk etmesini anlatmak marifetidir.

**Var mı destinde senin bir sened-i katı'a ya,**

**Okugıl 'ilm-i ledünni, yürü Kur'an öğren.**

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 167: 202)**

-elinde katı' sanatı ile yapılmış kağız oyması eser var mı,

eger varsa, tasavvuf ilmini-İlahi Aşk-vahdet ilmini oku, gel- Kuran öğren.

**Bas egüb damen-i mürşide niyazı kesme,**

**Kalma iblis gibi, ta'at ü erkan öğren.**

Mürşidin etegine-önüne baş egib niyazı- kesme,

Niyazı-dua etmeği kesib iblis gibi kalma, taet-iman-adeb, ahlak-marifet-vahdet yolunu örger- o yola kovuşmak faziletine bağlan.

**Secdegah eylemeyen suret-i Hakkı görmez**

**Hakk yüzün görmeden evvel yüri, iman öğren.**

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 167: 202)**

İtaetde degilsense, demeli, takebbürdesin iblis gibi: iblis gibi tekebbürdesense, secdede degilsen, secdede degilsense, besiret gözün, hakk gözün, akıl, kalp gözün bağlıdır; ve besiret gözün bağlı ise, dahi neyi göre bilersin ki, hele bir Hakk yüzünü de göresen?

Böyle ise Hakkın varlık yüzünün sırlarını göremezsin; Hakk'ın yüzünü görmek için git iman örger. Çünkü imansız hiçbir ışığı-nuru göremzsin- nuru göre bilmedikce akıl ve kalb korluğundan kurtula bilmeyeceksin; akıl ve kalp korluğundan kurtula bilmemişinse, Marifet alemine-vahdet varlığına kovuşa bilmezsin.

**Mazhar-ı sırrı 'Aliye olagör vakıf-ı can,**

**Cane dahil olagör, vuslat-ı canan öğren.**

**(Handi Divanı. Gazeller, 2003: Gazel 167: 202)**

--Mazhar-ı sırrı 'Aliye- Hz. Ali (a.s.) sırrına bağlan, onu anla, ona kovuşmağa nail ol ki, can sırrına kovuşa bilesin.

“Sırrı-ı Ali- yani yalnız Hz. Ali'ye mahsus olan sırrı. Hz.Ali'nin sırrına vakıf olmaq, onu anlamak irfan bağlantısının marifetindendir. Hz. Aliya aid olan sırrın şu hikmete bağlı olduğu söylenir: “İslamda— kainatın sırrı ‘Kuran’da; ‘Kuran’ın sırrı besmelede (Bismillahir-rahmanir-rahim-de); besmelenin sırrı ‘be’ harfında, ‘be’nin sırrı altındaki noktada, noktanın sırrı ise Hz. Ali’dedir” (bak: **Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: 202**).

Cana vakıf olmak için Hz.Ali sırrına bağlan. Bu sırba bağlan ki, Vahdetin vahdetine, sevgiliye, Canın hikmetine, fezline vakıf olasan: onu anlayasan; çünkü onun sırrının şerefini görmeden Can sırrına yakınlaşa bilmezsin; Canana yakınlaşa bilmedinse, Vahdet'e nasıl yete bilersin? Ve o sırrın menziline dahil ol ki: Cananın vaslına( vüsalına, vahdetine) irişe bilesin: vahdet sırrına kovuşa bilesin.

**Sabit ol, vade-i ikrarda da sabit Handi,**

**Zahida, gel beru öz canına canan öğren.**

Feilatün (Failatun) Feilatün Feilatün Feilün (Fa'lun)

**(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 167: 202)**

Sabit ol, yani değışken olma. Handi ikrar- tasdik vadesinde sabittir. Gel sen de igrar-tastik mekan-magamında deyişme-sabit ol.

Ey zahid beri gel- yakına gel, öz canına canan örger.

Gazelden çıkan ideya-son mantık-mana: bu takdim-tarif edilenlere çatmasan, yetişmesen kamil insan olamazsın.

Handinin lirik kahramanının gönlü Vahdet gönülüdür. Bu Vahdet bağçasında Handinin gönlü, kendisinin dediği gibi, “hane-yi ahabdır”- dostların evidir:

**Hanegah-i çah-i gönlüm hane-i ehabdır,  
Her biri ol haneye bir şevkile eshabdır  
(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 37: 65)**

(Onların) her biri o şevkle –şiddetli bir istekle evin eshabı-hemsöhbleridir.

İrfani ilim İlahi Maftunluk ilmidir: maftunluk sufizmde kendini anlama ve bu anlamın Allaha olan aşk vahdetine mansup olmaktadır.

Handinin şiirlerinde, hikmet aleminde Ma'na İrfandır, İrfan da Ma'na.

Bütün Tasavvuf poeziyasında ma'nalar kendi kendini aşkar edir: aslında manalar-en aşkar olan varlıklardır: aşkar olana vasflar ile mana incelikleri düzüler-boyunbağı incilerinin düzülüşü gibi.

Handi ifadesinin diğer bir köşesi- vasf etmedir: Vasf - Handının irfani türküsüdür: bu vasf ruhun mekan ve meskeninin laylalarını dile getirir.

Tasavvuf lirikasında Vasfetme menaların elamet ve nişanlarını, renklerini açmadır. Handinin klasik bağlılığının ruhu bu nişanlara, elametlere , bu elametlerdeki elametlere, yani hem elamete, hem de elametnin elamet-nişanlarına mahsustur. Bu anladada ne kadar anlamlar yatır: bu yatımlar Handinin poeziyasında Manaların mahsusi irfani sırlarıdır: bu sırların vasf-vüsal-aşk-can-canan vahdetinde beyana mühtac manalar vardır;

Ve bu özellikde daha bir ince özellik: manalar onun vafından gıdalanır: bele desek: mena mena yaradır, akar sular gibi kendi nehrine sığışmır, özünün mansup olduğu mekana, İlahi kudretin İrfan daryasına kovuşmağa doğru gedir.

İrfan mektebini bitirmeden hakkın feyzini kendinde yaşata bilmezsin.

Gazellerinin birinde şöyle diyor:

**Mekteb-i irfane gelsün feyz-i iman isteyen,  
Okusun ilm-i ledünni 'ilm ü 'irfan isteyen.  
(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 169: 204)**

İman bereketi, iman feyzi-lezzeti isteyen İrfan mektebine gelsin; ilim ve irfan isteyen irfan ilmini okusun.

“İlm-i ledün- tasavvuf ilmi manasındadır: Allaha sevgi ile insanda yaranan vecd, hayranlık ve ilham ilmidir: insan onunla kamala yeter, kendini derk eder, hakikatleri derk eder, kendini anlaya biler. Ledün ilmi ele bir ilimdir ki, meselen, “kendi sırları ve işlerine ait bilgiyi ancak Allah bilir ve peygamberleri öğredir. Mürşit Allahdan ilham alıyorsa, bu ilmi öğrenebilir” (Harid Fedai: seh.202).

**Hem heyat-i cavidandır sözlerim bin mürdeye  
Bana gelsin çeşmesar-ı ab-i heyvan isteyen.**

(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 169: 204)

Sözlerim min ölüye ebedi hayattır; dirilik suyu çeşmeleri bendedir, ebedi yaşam isteyen bana gelsin. Handinin sözü irfan sözüdür: irfan sözü cansıza can, nefessize nefes veren sözdür. Şairin lirik kahramanı bu irfan bağı, ruhani varlık içerisinde yaşayır, onun ilim bağçasında ebedi dirilik çeşmeleri var.

**Zülmet-i tenden İskender gibi çıksın Hızr ile,  
Nutmuma tutsun kulak, vahdetde bürhan isteyen.**

Benim dirilik çeşmemden içsin ki, hızr ile zülmetten çıksın: vahdetde sü-delil isteyen but benim sözlerime, söylediklerime kulak versin..

**Her nefesde can vardır-kesr eden katil olur,  
Bir nefes kesr etmesün ol cismine can isteyen.  
(Handi Divanı. Gazeller, 2003: Gazel 169: 204)**

Her nefesde can var: o nefesi kesmek isteyen katil olur; kendi cismine can isteyen kimse gerek bir nefesi de kırmazın.

**Bakmasın gönlünden artık, gayriden geçsün dahi (dexi),  
Kendi özün saf kılsın canda canan isteyen.**

Gönlünden artık-yani gönlünün kabul etmediyine bakmasın, gönülden gayrı ne varsa, hepsinden uzaklaşsın: yani kendini saf tutsun, pak saklasın: canda canan istegen gerek “kendi Öz”ünü- menlik, mana mansupluğunu saf saklasın.

**Her şükufe bir ma'nide açılmış gönçedir.  
Handiya, divanıma baksın Gülüstan isteyen.**

(Hand'i Divanı. Gazeller, 2003: Gazel 169: 204)

Her bir gül-çiçek ma'nide- manalar aleminde- manalar bahçasında açılmış gönçedir: handinin manalar düzümünde açılmasını bekleyen gizli-gizli gizlinler vardır: o gizlinleri gerek göresen ki, mihre kovuşasan: bunun için gerek basiretin ola: basiretin ola ki, kendini de göre bilesen: en kor adam odur ki, de kendini göre bilmez. Hz. Alinin bir sözü var: “Görmek yalnız gözle olmaz, görünüş baxanı aldada biler”.

Esl görünüm hankı görünümüdür? Elbette, eglin ve kalbin gözü ile görmek görünümü. Peyğamberimiz Muhemmed sellallahu eleyhi va alihi va sellem-in miracını vesf ederken büyük Azerbaycan şairi Nizami Gencevi yazırdı ki o, Allahı ‘aklın ve kalbin gözü ile gördü’. Bu, beşerin irfani görümüdür: églin ve gelbin gözü ile görmek irfani ilmin hikmetlerinden biridir. Demeli, irfan ilmi peygamberimizin (s.e.v.) ilahi nimetlere yetişmek ilmidir. “Kurani-Kerim”in nazili ile bu ilim geldi, formalaşdı, tamamlandı.

**İrfan** tasavvuf alemidir: o geniş yayılımları, uca simaları, derin deryaları olan bir alemdir. Ve İrfan alemde alemdir. İnsanın dahilinde kendinden büyük alem var: o alem derinleştikçe derinleşen, büyüdükçe büyüyen alemdir: onun kapıları bir-birine açılır, gerçekler, esl anlamalar-derketmeler oradadır: onlara ulaşmak için gerek

kapıdan içeriye gire bilesen. Çünkü kapılar bir-birinden gizlin sırları saklayan menzillerin girişidir+ her kes o kapılara yakın düşer bilmez ve her kes derin-derin deryaların tekindeki derinliklerin yolunu tapa bilmez.

Sözlüklerde irfan şöyle anlatılır:

İrfan -is. (fa;ni) Ar. 1.Bilme, anlama, sezme, kültür. 2. Gerçeğe ulaştırıcı güçlü sezgi, vars, varislik (Türkçe sözlük, 2005: 979).

Yahut: İrfan (ar.) 1) bilme, haberdar olma; 2) tasavvufda-Allahı derk etme manaları taşıyır. ( Ereb ve fars sözlüğü,1985: 255).

“İrfan-biliş, kavrayış. Tasavvufda irfan kendini bilmektir. Bu da aşk ile elde edilir. İrfan sahibine ise arif denir” ( Fedai, 2003: 204)

Bizim yanıtımızda İrfan: Düzdür, bu anlatımların hepsi doğru, lakin geniş ve ehateli deyil. İrfan insanın ruhani me”ninin denizidir- İnsanın kendini anlayıp tapmak ilmidir; o ele bir ilimdir ki, onun zatında insan kendini daha aydın göre bilir, daha aydın anlayır; onda-İrfanda Aşık kendini sevgilisine teslim edip ve kendinde yalnız sevgilisinin mihrini, vecdini - vurğunluğunu, hayranlığını, teslimiyatını saklayır: nasıl desek, Aşık kendini unutup ve sevgilisinden özge bir varlık tanımır. Aşık sevgilisine vurğunluğu ile Aşk vahdetinde makam tapır. Bu, Allah sevgisidir, İlahi Aşktır. İrfan-dildir-konuşar, sözle değil, Aşkla: Aşk konuşar- sözle değil, maftun olma dilile.

Bin dört yüz yıldır ki, hikmetli sözler, edebiyat alemi onunla-İrfan dilile nizam tapıp, onunla hareket edip, onunla yaşayıp. İrfani alemden kenar alemler puç ve fanidir. “Dünya- fanidir” diyenler cismani ve muvakketi yaşamdan başka bir nesne düşünür bilmeyipler; halbuki daimi olan Alemde yaşamak için yaratılıp insan. Ona göre insan Alidir-lakin kendinden kenar olan, kendinden fani olanlar şu Ali alemin sırrına vakıf olamazlar.

Bin yıldan çoktur ki, Türk Marifeti, Türk-İslam Alemi dünyaya kendi İrfan nurlarını paylayır ve bütün Türk Erenleri İrfan nurunun zerrelere ile beşer evladına Sevgi, Aşk ilhamları bahış edir. Kıbrıslı şair Handi de yaşattır öten bin yılın İrfan alemi, İrfan poeziyası ile.

Handi kendi Aleminin ali makamını ifade edip.

Handinin ma’na hicabları altında aşkar olmasını gözleyen-bekleyen ne kadar sırlar var. Şairin Söz Vasfı ile sırlar sırlanır, manalar manalanır, batinler batin gibi, zahirler zahir gibi, yani her bir mana kendi zatına uygun halde görünür. Onun Gönlü ma’nalar alemini aşkara çıkarmağa aşıktır:

**Ahval-i dilim ‘alem-i ma’naya uzatdım,**

**Andan öteye bezm-i mu’allaya uzatdım.**

Gönlümün durumunu-ehvalını mana alemine aprdım:

Ondan da üstün olan uca aleme dönderdim

**Dün meclis-i ‘irfanede efsane-i zülfin**

**Mecnun-sıfat mahfel-i Leylaye uzatdım.**

(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 145: 179)

Dün İrfan Meclisinde dastan-meşhur olan zülfünü Mecnun gibi Leylanın mekanına apardım.

**Bir nutkımı bin harf ile tercih ederem hem,  
Enfas-ı dilim küy-i Mesihaya uzatdım.**

Bin harf demek – bin işaret, bin mane demektir.

Men bir nutkumu- danışığımı bin harf ile dile getirir- üstün tutaram-söylerem: kalbimin nefesini Mesihanın mekanına, olduğu yere gönderdim. Ne için? Nefesin dirilik nefesi olması için. Mesihanın nefesidir dirilik bahş eden, şifa veren.

**Dedim o büte ohşayayım hüsn-i cemalin,  
Açdım elimi mihr-i mücellaya uzatdım.**

(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 145: 179)

= O güzele Dedim, hüsn-cemalını ohşayım: onun için elimi “mihri-mücellaya (mihr-i mücella- parlak güneş— Tecalla Güneşine: Vahdet Güneşine) uzattım.

**İmla ile “illa”yı koyup “la”ya tevessül.  
Handi ‘adem iklimine bir paye uzatdım.  
Mef’ulü Mefailü Mefailü Feulün  
(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 145: 179)**

Yazarak “la”nın (yokun) yerine ona zıdd olan “illa”yı koydum: irfanda inkar yoktur, irfan tasdıkın ta kendisidir. Tasdik ondan tastıklandı: İrfanda inkar olmayıp, inkar irfandan kor olanların emelidir.

İrfan Gönül ışıklarının yanmasıdır: vahdetin ışıklarını yandırmak için insan gerek kendini tanısin. ‘İnna lillahi va inna ileyhi raciun’ ayeti vahdeti ifade etmirmi? Vahdete kovuşmak için aşkın menziline gerek dahil olasan.

Ali Handi İlâhi Aşka sığınıp: Bu sığınma Vahdette kovuşmağa apanan ilmidir. Vehdet Handi gibi aşıklerin menzilidir:

**Ben o bimorem Aristo çaresaz olmaz bana,  
Olsa tedbir-i Felatun imtiyaz olmaz bana.**

Ben o hastayam ki, Aristotel gibi alim bana çare-ilac ede bilmez:  
Ben öyle bir hastayamki, Eflatunun tedbiri de bana tasır itmez.

**Asitan-ı hankah-ı biniyaz üzre yüzüm,  
Ey felek, meşrep dehi naz ü niyaz olmaz bana.  
(Handi Divan'ı. Gazeller, 2003: Gazel 1: 27)**

Yüzüm tekye astanasında ümitsizdir: isteklerimin hasil olacağına inamım kalmayıp:

Meşreb- heves, meyl isteklerimi yerine yetirmeğe kadir değil. İnsanın şiddetli tarzde muhebbet ve sevgisinin ifadesidir- rahmet kapılarına doğru gidenlerin şevki ve hevesi, şiddetli derecede isteği- niyazı arttıkça artar: aşık isteklerinde temenna olmaz—aşk bağlantıları isteklere kovuşmak niyazı değimli? Aşk sırrını hazinenin bir köşesinde gizledim- o esrarı sakla- zira o bana sırr keşfi olmaz: yanı ben o sırrın içerisindeyim- o sırr bendendir- bana agahtır: bandan alıp saklayar: saklan sırr İnsanı kendine anlatır:



**Raz-i ‘aşkı künc-i kenzin mahzeninde gizledim,  
Sakla ol esrarı zira keşf-i raz olmaz bana.  
(Handi Divan’ı. Gazeller, 2003: Gazel 1: 27)**

**Bende-i şah-ı mücaz idim, velikin şimdicek  
İrtibat-i tar-i zülfünden mecaz olmaz bana.**

-şahın yetkili bendesi idim, senin siyah zülfünle irtibatta bana mecaz – ilk görünüşden farklı bir görünüş-  
mana olmaz: şimdi ümitsiz bir haldayam.

**Melce-i vahdet mekanıdır hüsusen Handiya  
Dil gibi vahdetden artık bir melaz olmaz bana.  
(Handi Divan’ı. Gazeller, 2003: Gazel 1: 27)**

Bir mekan-vahdet mekanı vardır ki, o da Kalptir. Ali Handinin sığınacak yeridir: Handinin Kalbden üstün, artık  
bir sığınacak yeridir. Bu kalb-gönülden mahram, sevgili bir mekan olmaz. Şurada Hz. Ali (a.)- “Allahın taxtı  
insanların kalbindedir” kelamının mana bağlantısı ifade edilir.

Handi’nin lirik kahramanı kendi mekanına tapan ve onun vahdet kapılarına arayan bir aşiktir: aşk onun  
derkinin- akıllı ve divane olma vahdetinin ustasıdır.

#### KAYNAKÇA

1. Kuran’i Kerim.
2. Hz. Ali ibn Ebitalib (1992). Nehcul-Belağə “Sabah” Yayınları, Bakı.
3. Handi Divanı. Gazeller (2003). Hazırlayan Harid Fedai (2003. I. Baskı: Lefkoşa, Kıbrıs.
4. Fedai, Harid (2003). Ön söz. Giriş. Handi Divanı. Gazeller. I Baskı: Lefkoşa, Kıbrıs.
5. Türkçe sözlük (2005). Türk Dül Kurumu Yayınları. 10. Baskı, Ankara.
6. Erebe ve fars sözleri lüğeti (1985), “Yazıcı”, Bakı.
7. Əzimli Əbülfəz Tahiroğlu. Təsəvvüf ədəbiyyatı. Əsərləri, 100 cildə, Cild-3. Naxçıvan, “Əcəmi” nəşriyyatı, 2021

**YENİ DÖVR AZƏRBAYCAN NƏSR POETİZMİ: CƏLİL MƏMMƏDQULUZADƏ  
DRAMATİZMİNDƏ NƏSRİN KOMEDİYASI**

**Doç.Dr. ƏBÜLFƏZ TAHİR ƏZİMLİ**

**ORCID: 0009-0001-1327-3425 ezimliebulfez@yahoo.com.tr Google Akademik, Dünya Sülh Səfiri; Nobel Prize & India- Birliyinin Yönetici üzü; Qlobal Yazarlar Akademiyası-Hindistan üzü; Türk Dünyası Vətəndaşlığı və Eytimçilər Birliyi üzü; TÜRKSOY üzü; Poetas Intergalácticos-üzü; Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan Müəllimlər İnstitutu: BÜTÖV AZERBAIJAN**

**ÖZƏT**

Mirzə Cəlil Məmmədquluzadə (1869-1931) ədəbiyyatın yeni üslubi dramatism gətirən yazıcıdır. Onun poetikasında hər şey dramatik və poetikdir: dil və üslub axarları o dramatism ifadə tərzinə şairanə melodiyaları xatırladan boyalar boyalar vurmuşdur. Mirzə Cəlil bütün hallarda ədəbiyyatın yeni dövr xarakterini yaratdı. Bədilik və mövzu, ideya təqtlərinə görə ədəbiyyatın çərçivələrini vurub dağıtdı: açıq mənzərələri, geniş üfüqləri olan bir ədəbiyyatın yaranması və formalaşması üçün yollar açdı.

İndiyədək Şərq ədəbiyyatında olan hər hansı üslubi konsepsiya Mirzə Cəlili qane edə bilməzdi. O, klassik Şərq ədəbi ənənələrinə, xalq yaradıcılığına, Şərq üslubuna, poetikasına söykənməklə XX əsr ümumtürk-Şərq ədəbiyyatına yeni məzmun, forma, yeni üslub və poetika gətirdi. Hər şeydən əvvəl, Mirzə Cəlil Şərq ədəbiyyatında **n ə s r i n k o m e d i y a s ı n ı** yaratdı, onun üslub tipologiyasını, poetik simmetriyasını müəyyənləşdirdi.

İstər Şərq, istərsə də Qərb ədəbiyyatında olan ədəbi-estetik meyarın ilkin bağlantısı sözün üslub və məna tərzinin qovuşağıdır. Üslubla məna tərzii həqiqətin daxili dinamikasını səciyyələndirir və bədii mətn boyu ətraflara səpələnir, üslubda da, məna konsepsiyasında da, müsbət mənada, çoxqatlılıq yaranır. Mirzə Cəlil yaradıcılığında özünə əsas yer tutan kont/oxu:ərazi mənzərəsi, hüdudu/ Ümumtürk və Ümumşərq üslub tipindəki çoxqatlı zaman və məkana daxildir. O, milli bədii düşüncəmizin üslub pərdələrini genişləndirmiş, bədii tipizmin, poetik ifadə imkanlarının hüdudlarını genişləndirmişdir. Nəsrin komediyasının üslubi dinamizmi də məna və məzmunun, ideyanın ifadə tipi ilə ilgilidir: bu, eyni zamanda üslubi poetikadır.

Mirzə Cəlil üslubunda əsas yeri komizm tutur; bu, təhkiyədə, bədii təsvirdə, xarakterlərin təqdimində ciddi səciyyə daşıyır; deməli, bu ciddi komizmdir və şəxsiz ki, ədəbi ənənələr daxilində komizm sürəkli tarixi inkişaf mərhələləri keçmişdir. Mirzə Cəlil yaradıcılığında bütün üslubi məqamların, təhkiyənin əsası milli folklor komizminə söykənmişdir.

**AÇAR SÖZLƏR:** Cəlil Məmmədquluzadə dramatismi; Mirzə Cəlildə nəsrin komediyası; üslubi komizm

## **NEW ERA AZERBAIJAN PROSE POETISM: THE COMEDY OF PROSE IN THE DRAMATISM OF JALIL MAMMADGULUZADE**

### **ABSTRACT**

Mirza Jalil Mammadguluzade (1869-1931) is a writer who brought a new style of dramatism to literature. In his poetics, everything is dramatic and poetic: the language and stylistic currents have painted the style of that dramatism with colors reminiscent of poetic melodies. Mirza Jalil created a new era of all literature. He broke and destroyed the frameworks of literature according to its artistic, subject, and idea qualities: the images and formation of a literature with open landscapes and broad horizons opened the way.

Any stylistic concept in Eastern literature so far could not satisfy Mirza Jalil. He brought new content, form, new style and poetics to the 20th century all-Turkish-Eastern literature, relying on classical Eastern literature, folk creativity, Eastern style and poetics. First of all, Mirza Jalil created prose comedy in Eastern literature, determined its stylistic typology and poetic symmetry.

The connection between the literary-aesthetic criterion in both Eastern and Western literature is the intersection of style and meaning style. Style and style characterize the internal dynamics of artistic truth and are scattered throughout the artistic text, creating a multi-layeredness in both style and meaning concept. The plot/reading: landscape, boundary/, which occupies a central place in Mirza Jalil's work, is included in the multi-layered time and space of the All-Turkish and All-Eastern style type. He expanded the stylistic curtains of our national artistic thought, expanded the boundaries of artistic typology, poetic expression possibilities.

The main place in Mirza Jalil's style is occupied by comedy; it has a serious character in narration, artistic depiction, and presentation of characters; therefore, this is serious comedy and, undoubtedly, comedy has passed through continuous historical stages on literary traditions. In Mirza Jalil's work, the foundations of all stylistic moments and narration were based on national folklore comedy.

**KEYWORDS:** Jalil Mammadguluadeh's drama; Mirza Jalil's prose comedy; stylistic comedy

## GİRİŞ

Yeni Dövr Azərbaycan Nəsr poetizmində Cəlil Məmmədquluzadəyə məxsus yeni üslubi drammatizmlər vardır. Bu drammatizmi ilkin ifadə poetim **Nəsrin Komediya**sıdır. “**Nəsrin komediyası**” bizim ifadəmizdir.

Mirzə Cəlil Məmmədquluzadə (1869-1931) ədəbiyyatın yeni üslubi drammatizm gətirən yazıcıdır. Onun poetikasında hər şey dramatik və poetikdir: dil və üslub axarları o drammatizmin ifadə tərzinə şairanə melodiyaları xatırladan boyalar boyalar vurmuşdur

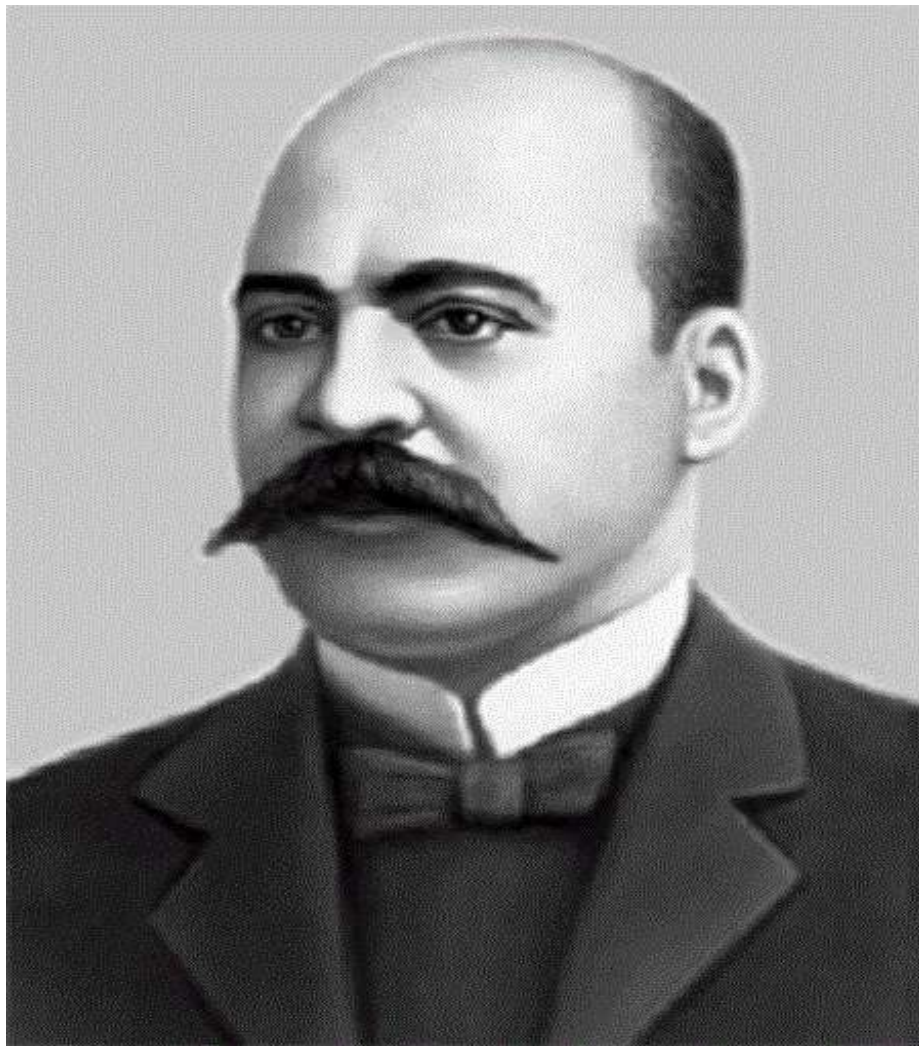
Mirzə Cəlil də yeni ədəbi sistematikaya mənsub olan dahi idi. Ümumdünya ədəbi qanunları sistemində bədii ədəbiyyatın ideya, məzmun, mövzu, dil, üslub, janr baxımından özünəməxsus poetika sistemi, milli bəşəri xüsusiyyətləri vardır. Cəlil Məmmədquluzadə yeni zamanın korifeylərindəndir. Bu zamanda o ədəbiyyatın və mənəviyyatın Şərq Qanunları sisteminə yeni ədəbi missiya gətirdi. Sənətkar mövqeyini milli və bəşəri problemlər müstəvisində saxladı, bədii sözün mənəviəxlaqi və psixoloji gücünü aşkara çıxartdı və bütün bunlar bədii ədəbiyyatın yeni milli ədəbi siması demək idi. (Əzimli Ə. Sokrat daymonizmi və Mirzə Cəlil realizmi. Naxçıvan 2006.səh.17).

## CƏLİL MƏMMƏDQULUZADƏ YARADICILIĞINDA NƏSRİN KOMEDİYASI VƏ POETİZMİN ÜSLUBİ ÖZƏLLİKLƏRİ

Cəlil Məmmədquluzadə ədəbiyyatın çərçivəsini vurub dağıtdı: açıq mənzərəli, geniş üfüqləri olan bir ədəbiyyatın yaranması və formalaşması üçün yollar açdı. İndiyədək Şərq ədəbiyyatında olan hər hansı üslubi konsepsiya Mirzə Cəlili qane edə bilməzdi. O, klassik Şərq ədəbi ənənələrinə, xalq yaradıcılığına, Şərq üslubuna, poetikasına söykənməklə XX əsrin ümumtürk – Şərq ədəbiyyatına yeni məzmun, forma, yeni üslub və poetika gətirdi. Hər şeydən əvvəl, Mirzə Cəlil Şərq ədəbiyyatında nəsrin komediyasını yaratdı, onun üslub tipologiyasını, poetik simmetriyasını müəyyənləşdirdi.

İstər Şərq, istərsə də Qərb ədəbiyyatında olan ədəbi – estetik meyarın ilkin bağlantısı sözün üslub və məna tərzinin qovuşağıdır. Üslubla məna tərzini bədii həqiqətin daxili dinamikasını səciyyələndirir və bədii mətn boyu ətraflara səpələnir, üslubda da, məna konsepsiyasında da müsbət mənada, çoxqatlılıq yaranır. Mirzə Cəlil yaradıcılığında özünə əsas yer tutan kont (oxu: ərazi mənzərəsi, hüdudu) ümumtürk – Şərq üslub tipindəki çoxqatlılığa daxildir. O, milli bədii düşüncəmizin üslub pərdələrini genişləndirmişdir. Nəsrin komediyasının üslubi dinamizmi də məna və məzmunun, ideyanın ifadə tipi ilə ilgilidir: bu, eyni zamanda üslubi poetikadır.

Mirzə Cəlil üslubunda əsas yeri komizm tutur; bu, təhkiyədə, bədii təsvirdə, xarakterlərin təqdirində ciddi səciyyə daşıyır; deməli, bu ciddi komizmdir və şəksiz ki, ədəbi ənənələr daxilində komizm uzun bir tarixi inkişaf mərhələləri keçmişdir. Mirzə Cəlil yaradıcılığında bütün üslubi məqamların, təhkiyənin əsası bu konsepsiyaya söykənmişdir.



### **CƏLİL MƏMMƏDQULUZADƏ (1869-1931)**

Şərq – Türk milli koloriti Cəlil Məmmədquluzadə yaradıcılığında əsas üslubi ovqat rolunu oynayır. Sözün bədii ifadə simvolu, məcaz və rəmzi, hiddət, münasibət meydanı Şərqdə açıq olub. Mirzə Cəlildə bu cəhət, yəni sözün meydan açıqlığı bilavasitə yeni üslubi məqamların yaranması demək idi. Mirzə Cəlildə Şərq üslubunun etnoqrafik – psixoloji mənbələri xalq yaradıcılığına bağlıdır. Xalq yaradıcılığında əsas üslub – ifadə qatlarından biri komik tipizmdir. Burada sözü məzəli, gülüş incəlmələri içərisində demək əsas xüsusiyyətdir. Nəsrin komediyasının əsas üslub tipologiyası bilavasitə komizmlə bağlıdır.

Cəlil Məmmədquluzadə üçün bütün janrlar məqbul idi, lakin eyni zamanda o janrlar yeni üslubi tipologiya gətirmək lazım idi: bu tipizm, şəksiz ki, təsvir, dil, təhkiyə üslubu demək idi: komik, məzəli, gülməli tərzdə ifadə etmək ən məqbul bu forma, bədii meyar idi. Ən əvvəl Mirzə Cəlil nəsrə komik dinamizm gətirdi. Nəsrin məzmun və ifadə prinsipləri də bu dinamizmə bağlı idi. Nəslə üslubi komediya arasındakı təmaslar janr estetikasında yeni meyl idi.

Hekayə və povestin məxsusi epik imkanları vardır və bu bədiiliyin, həqiqətən, ilkin şərtlərindən idi ki, Mirzə Cəlil komediya janrına da, felyetona da aid idi; burada bizim məqsədimiz nəsr tipologiyasından danışmaq olduğundan dram – komediya tipizmi barədə irəlidə bəhs edəcəyik

Nəsrə komik dinamizm, dramatik dinamizm gətirmək yuxarıda dedik ki, janr estetikasında yeni meyl idi. Bu meyl bir tərəfdən yeni janr yaradırdı, digər tərəfdən həmin janrın ifadə tərzini, üslub konstruktivizmini zənginləşdirdi. Komik dinamizm birtərəfli, yəni tək cə təhkiyə və ifadə prinsipinə aid deyildi: janrın və epik formanın bütün komponentlərini “idarə” edirdi.

#### **Burada Komik Dinamizmlər var:**

**birincisi**, hadisənin, əhvalatın özündə, məzmununda idi və hər məzmunun altında bir mətnaltı kontekst vardır ki, bu da ideyanın özünün drammatizmi idi;

**ikincisi**, nəqldə, təhkiyədə komik dinamizm vardır. Belə ki, bədiilikdə dil və ifadə, təsvir baxımından bütün pərdələr daxili ciddiyətə bürünüb;

**Üçüncüsü**, amma bir məsələ vardır ki, təsvir də, bədii təqdimat, açım da komik tərz üstündə köklənib;

**Dördüncüsü:** yumoristik, satirik eyham və kinayə komediyaya xas olan üslubi məzmunu burada da yerinə yetirir, dəstgah, məzə ifadə tonunu təhkiyənin üzvi komponentinə çevirir.

Məsələn, “*İranda hüriyyət*” hekayəsində komediya hüriyyətin nə demək olduğunu anlamaq əhvalatındadır: “*Pərnisə genə bir qədər dayanıb və bir az təəccüblü soruşdu:*

*-Hüriyyət nədir?*

*Kərbalayı Məmmədli arvadın əllərini özündən kənar eləyə - eləyə başını sol tərəfə çöndərdi və bir cür narazı olan kimi cavab verdi:*

*-Ay rəhmətliyin qızı, indi axı mən sənə nə deyim, necə səni başa salım? İndi dünya – aləm bilir ki, İrana hüriyyət verilib. Bu gün həmşərilərin hamısını qonsur çağırmışdı məscidə, padşaha dua edirdilər ki, İrana hüriyyət verilib...”*

Kərbalayı Məmməd izah etməyə çalışsa da, əslində bilmir hüriyyət nədir: “*Kabla İmaməli, Kabla Novruz, Qasıməli, Oruc Məşədi Bayram o qədər sevindilər ki, az qalırdılar bөрklərini göyə atalar. Qonsur, deyillər, sabah həmşərilərin hamısını çağıracaq, hüriyyət paylanacaq. Ay can, ay can!.. sağ olun bizim padşahımız, ay can!..*”

“*Poçt qutusu*” hekayəsində komediya qutuya münasibətdədir: düyünlərin nədən ibarət olması da bununla aşkar olur. “*Dəllək*” hekayəsindəki komik situasiya narahatlıqla rahatlıq arasındakı gərginlikdədir. “*Zırrama*” hekayəsində komediya- qəhrəmanın nitqi üzərində qurulub: özü də bu ilk ifadədə, danışığda deyil, sonrakı – təkrar danışıklardadır.



Üslub – poetizmin daxili komponentlərdən biridir: lakin onun yeni janr stixiyasından təqdimi nəsr poetikasının da, dramaturji janr olan komediyanın da yeni keyfiyyətlərini üzə çıxarırdı. Mirzə Cəlil bilavasitə bu konsepsiyada özünü təsdiqlədi və ilkin olaraq, təhkiyədə, əhvalatların epik mənzərəsinin verimində ideyanın, məzmun və formanı orijinal bir tərzdə - üslubi nəsr və üslubi komediyanın ayrı – ayrı komponentlərdən deyil, poetizm baxımından bir sistemdə yerləşdirdi.

Nəsr üzrə bədii poetizm Cəlil Məmmədquluzadənin bütün hekayələrində və felyetonlarında şairanə təsvir və tərənnüm xarakterindədir. Mirzə Cəlidə təhkiyəsində təsvirlərin daxil komponentləri dramatik tərzdədir. Burafa nəsr drammatizminin özünün də çoxşaxəli daxili poetizm stixiyaları vardır: bu, üsluba xarakterikdir: bu üslub komizmə bağlıdır və üslubi komizm nəsrin bütün strukturlarını çulğayıb. Cəlil Məmmədquluzadənin hekayələrində və “Danabaş kəndinin əhvalatları” povestində onlarla komik epizodlar, situasiyalarvar və bunları əks etdirən ilkin amil – təhkiyədir:

*“Günlərin bir günü Məhəmmədhəsən əmi sübh tezdən yuxudan durub, geyinib, namaz qılıb, çıxdı bir həyəti dolandı. Toyuq – cücəni çağırır, bir az dən səpdi, tövləyə girib eşşəyin qabağına bir - iki ovuc arpa töküüb çıxdı küçəyə və küçə qapsının ağzında çömbəldi, çıxartdı çubuğunu və kisəsini və çubuğunu doldurub başladı çəkməyə. Bir qədər keçdi, bir neçə kəndli Məhəmmədhəsən əminin yanına gəlib, salam verib, cərgə ilə çömbəldilər və çubuqlarını çıxardıb başladılar çəkməyi. Bu kəndlilər hamısı Məmmədhəsən əminin qonşusuydular”.*

Təsvir-Təhkiyədə Mənzərə və situasiyalar tam aydındır\* həmlirlik, həm də framatic səciyyə daşıyır. Məhəmmədhəsən əmi kimlərin gündəlik həyat norma və vərdişləri budur. Məhəmmədhəsən əmilər bir – birinə bənzəyirlər: onlar sadə, təmiz, yoxsul, bir havadarı olmayanlar, özlərinin həyatından məmnun qalan adamlardır. Mirzə Cəlil poetizmində xarakterlər və təhkiyədə drammatizmin lirik təsvir poetizmi şairanə ifadə tərzilə yeni üslubi nəğılətmədir:

*“Kəndlilərin bir neçəsi çıxdı eşiyə və bir neçəsi oturduğumuz tövlədə olan atlardan bir neçəsini yəhərləyib çəkдилər kənara. Bir qədər keçəndən sonra eşiyə çıxan kəndlilər və bunlardan başqa dəxi bir neçəsi gəldilər otağa; cümləsi əsbab əsləhəli: kiminin belində qəmə, kiminin əlində tüfəng – hamısı qıvrıq geyinmiş...İyirmi – iyirmi beş nəfər igid hərəsi bir at eşiyə çəkib, çaparaq mindilər və qayıb oldular”* (“Kişmiş oyunu”).

İlk baxışda təhkiyədə heç bir komik əlamətlər sezilmir və bu epizod qəhrəmanlıq dastanlarındakı səhnələrə bənzəyir. Əslində komik situasiya mətdaxili – mətnaltıdır və bundan sonrakı cümlələr komik vəziyyətin təhrini özündə əks etdirir:

*“Biz hər ikimiz çox dilxor olduq. Əvvələn, bizə yəqin oldu ki, biz xam xəyal eyləyirmiş idik; çünki dəxi gördük ki, bu tövr müsəlmanlardan heç bir ianə və ehsan gözləmək olmaz. İkinci budur ki, kəndlilərin quldurluğa*

*getməklərindən biz başladıq itiraba düşməyə: kim nə bilsin, bunların bu tövr rəftarlarından bizə nə qədər dərdi – sər və bədbəxtlik gələ bilər”.*

Bu vəziyyət epik drammatizmin həyəcan doğuran səhnələridir; tam vəziyyət hekayənin sonunda bəlli olur və komik drammatizmdə mənzərənin və situasiyanın seçimi və təsviri müəllif təhkiyəsidəki üslub qabartmalarının mənzərələrini qabarıqlaşdırır. Bu epizod obrazların gündəlik həyat, məişət mənzərəsi deyil, əhvali – ruhiyyənin, xasiyyət və xarakterin tipik məzmunudur.

“İranda hürriyyət” hekayəsində obrazın yaşayış tərzinin, həyat normasının drammatizmi, mənzərəsi nə qədər ciddidirsə, bir o qədər də komikdir: yazıçının təhkiyəsində bu cür həyat normasına düşən adamın özü və həyatı üslubi baxımdan komik – dramatik təsvir edilir: “Gah yay fəsli küçə ilə keçən vaxt görürsən ki, Məşədi Molla Həsən başını dayayıb səkinin bucağına, mürgüləyir, ya bir özgə vaxt keçəndə görürsən: bir o taylı çömbəlib Məşədinin qabağına və Məşədi gözlüyü burnunun üstünə keçirdib, sol dizi üstə yarım vərəq çirkli kağız tutub, o, başını yuxarı qalxızıb, gözlüyünün altından kağıza baxıb farsca oxuyur:

*“Və saniyə: əgər bizim vilayətin əhvalını xəbər almaq istəsəniz, lillahülhmd, sağ və salamat sizin ömrünüzdə duagu varıq və özgə bir nigarançılığımız yoxdur, savay sizin ayrılığınızdan: xudavəndi – aləm bir səbəb salsaydı ki, sizi mən bir də görə idim...”* (“İranda hürriyyət”)

Bütün bunların hamısında komik nişan var, nişangahda olanların həyat tərzində ciddi problemlər gizlənmişdir: yazıçı bu problemlərdəki daxili məzmunu tipik situasiyalarda təsvir edir. Bu həyatın özünə və onların sakinlərinə iki üslubi tərzdən yanaşılır: birincisi, ciddi epik mənzərəni çox sadə və həlim lirizmdən vermək tərzidir, ikincisi, hiddətin üslubi məqamıdır: Bu prosesdə hiddətli komik üslub əsas dinamizmə çevrilir.

Bununla, Mirzə Cəlil Məmmədquluzadə komik situasiyalarda ciddi detallar, ciddi situasiyalarda komik detallar verməklə üslubi dinamizmin daxili strukturlarını və ifadə dinmizmini üzə çıxardır. Bütün bunlar hamısı təhkiyənin üslubi məntiqini aydınlaşdırır: təhkiyədə hadisənin, tipin dolğun məzmununu canlandırmaq əsas qayəyə çevrilir:

*“Bu vilayətin şuluq olmalarını Kərbəlayi Məmmədəli düz yazırdı, çünki, doğrudan, buralar şuluq idi. Amma orasını yalandan yazırdı ki, iş – zad o qədər yoxdur: gün olmazdı ki, Kərbəlayi Məmmədəli fəhləlikdən dörd abbasi, bir manat qazanmasın və bunu da demək olmaz ki, Kərbəlayi Məmmədəli əhlü əyalini istəmirdi. Çox şey edirdi ki, pul göndərsin, amma göndərə bilmirdi. Nə qədər istəyirdi göndərsin, birdən görürdü ki, cibində pul yoxdur...”* (“İranda hürriyyət”)

Buradakı mənzərənin özündə nə qədər ciddi təqdimat varsa, təsvirdə bir o qədər də üslubi komizm gözünü göstərir. “Bir neçə gün keçirdi, öz – özü də deyirdi ki: inşallah bu gün vətənə gedən adam taparam və heç olmazsa iki manat evə göndərərəm.”

Amma axırda genə göndərə bilmirdi. Ondan ötrü göndərə bilmirdi ki, xərci çox idi və xərci ondan ötrü çox idi ki, Allahın iznilə peyğəmbərin şəriətilə Kərbalayı Məmmədəli burada bir dul arvad siğə eləmişdi.

Komik drammatizm Cəlil Məmmədquluzadənin nəsr üslubunu xarakterizə edən amildir: mənzərə də, obraz da bu drammatizm içərisində tipikləşir: təhkiyənin bütün bucaqlarında, bütün çevrə boyunca bu üslubi simmetriya saxlanmışdır.

Ümumiyyətlə, hər bir hekayənin özünəxas ciddi məzmunu və qayəsi vardır: amma bu əsərlərdəki vərdişlər adi vərdişlər deyil, çox ciddi və real həyat oyunudur; Mirzə Cəlil təhkiyəsində bu vərdişlər komik vərdişlərdir; əslində ən ciddi həyatın özü elə komikdir. Həyat hadisələrinin təsvirində dramatik komizm ən mühüm üslub xassəsidir. Mirzə Cəlilin təsvir – təhkiyəsi ən ciddi problemlər açır və bu açımda ən tipik üslubi manera iztirabın tipik inikasıdır. Mirzə Cəlildə komizm “Hərəkətin özü vasitəsilə” (Aristotel) ifadə olunur: Hərəkətin özündə komediya var və daxili məntiqə, özündə komizmi təzahür edir.

Ümumiyyətlə, Mirzə Cəlil in realizmi, ilkin olaraq, nəsr realizmidir və bu realizmin ilkin üslub sintezi, üslub poetikası – komediyadır. Komizm, satira, eyham, rişxənd, kinayə, hiddət və bu əlamətlər onun nəsr poetizminin əsas rənglərini təcəssüm etdirir və bu strukturda ilkin və davamlı estetik sistem – nəsrin komediyasıdır. Və Cəlil Məmmədquluzadənin poetikasında nəsrin komediyası- bədilik tipi, üslub sinxronizmi, xarakterlər tipizmi, mətnaltı ideyalar və işarələr silsiləsi, “mollanəsrəddinçilik” tərzidir...

**SONUC OLARAQ:** Ədəbiyyat, söz sənəti öz ilkinə bağlıdır: bu özünəməxsus olma qanunudur. Bədii düşüncə və bədii ifadə insanın ədəbi baxış və görünümlərinin məzmununu əfədlə edir, bununla sözün icadı, dirimi, ehyat və yaşamı prosesli davam edir. Bədii ifadə elə bir möcüzədir ki, orada onu söyləyənin yaxud yazanın nəfəsi, diriliyi yaşayır. Bədii Söz yaşayan bədii düşüncə deməkdir.

Dünya ədəbiyyatı Bütöv Ədəbiyyatdır. Bu ədəbiyyatda bədii ifadənin nəsr stixiyası lap ilkindən mövcuddur. Sözün bədii doğruluğu hər hansı bir formaya, yaxud hər hansı bir qəlbə məxsus deyil. O yerdə ki söyləmə var, orada təsvir də var, təsvir özü nəsr ahənginin dramatik şəkilləndirilməsidir. Nəzm və nəsr bir-birinə qarşı əks tutum deyil, bir yarpaqdır; yarpaq ağacın özünü şəkilləndirən nişanlardır. Bədii əsəri ağaca bənzətsək, onun ifadə tərzini və formasını da yarpağa bənzədə bilərik. O yarpaqda nəfəs var, işıq var, rəng var, **bazu** var. Bədii ifadədə **nəsr həməən bazudur**. Ondan yayılanlar onun nəzmidir. Deməli, hər bir nəzm-şəir nəsr təhkiyəsinin üstündən qalxır.

Nəsr forması üzrə yaradıcılıq tərzinin ayrıca bir Şərq qaynağı vardır və bu bütünlükdə dünya ədəbiyyatı qaynağı deməkdir. Şərq özünü doğurduğu kimi Qərbi də doğurdu. İfadə poetizminə görə, bədii forma və məzmunların müxtəlif inciləri yaradılmışdır. Burada, şox genəş anlamda bir bütövlük, vahidlik sistemi vardır.

## ƏDƏBİYYAT

Məmmədquluzadə Cəlil. Əsərləri 4 cildə. I cild. Bakı, 2005.

Məmmədquluzadə Cəlil. Kişmiş oyunu. Əsərləri, I cildə, 2005.

Məmmədquluzadə Cəlil. Danabaş kəndinin əhvalatları. Əsərləri, I cild, 2005.

Məmmədquluzadə Cəlil. Poçt qutusu. Əsərləri, I cild, 2005.

Məmmədquluzadə Cəlil. Zırrama. Əsərləri, I cild, 2005.

Məmmədquluzadə Cəlil. *İranda hüriyyət. Əsərləri, I cild. 2005*

Əzimli Əbülfəz. Sokrat daymonizmi və Mirzə Cəlil realizmi. Naxçıvan 2006.

Əzimli Əbülfəz. Cəlil Məmmədquluzadə nəsrində təhkiyə poetikası. Naxçıvan, 20005.