

CONFERENCEBOOK



ANKARA
29 EKİM 2025

CUMHURİYET 16. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



CUMHURİYET
16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 29, 2025
ANKARA

ISBN : 978-625-5694-46-1

Academy Global Conferences & Journals



www.cumhuriyetkongresi.org



**CUMHURİYET 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 29, 2025
ANKARA**

**Edited By
Assoc. Prof. Dr. Feran Aşur**

**Issued: 30.11.2025
ISBN: 978-625-5694-46-1**

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

**In the conference 38 papers have been presented by Turkish participants and 63 papers
by foreign participants.**

**Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an
"official assignment letter"**

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House
Without permission can't be duplicate or copied.
Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.
Academy Global-2025©

CONFERENCE ID

CUMHURIYET 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
OCTOBER 29, 2025
ANKARA

ORGANIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS
All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES

**Turkey – Malaysia – India- Saudi Arabia- Thailand- Romania- Iran- Latvia- Korea- Greece.-
Czech Republic- Ghana- Brazil- Pakistan- Morocco- Nigeria- Egypt- Bulgaria- France-
Georgia-**

PRESENTATION
Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD

- Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Üniversitesi
- Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi
- Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi
- Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University
- Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia
- Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University
- Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University
- Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -Mindanao State University
- Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy - Mindanao State University
- Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University
- Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University
- Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University
- Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University
- Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracıgan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye

Prof. Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Türkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Türkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Türkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran
- Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya
- Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizistan
- Assist. Prof. K. R. Padma – India
- Assist. Prof. Dr. Omid Afghani - Afghanistan
- Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia
- Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria
- Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania
- Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia
- Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia
- Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran
- Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan
- Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria
- Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India
- Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia
- Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam
- Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

- Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunaliyeva - Kirgizia
- Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China
- Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa
- Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye
- Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
- Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
- Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracıgan – Turkiye
- Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
- Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye
- Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye
- Dr. Ayşe Baran - Turkiye
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
- Dr. Sonali Malhotra – India
- Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran



T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Dekanlığı



Sayı : E-99771277-100-422356
Konu : Eğitim - Öğretim İşleri (Genel)

26.09.2023

Sayın Doç. Dr. Feran AŞUR

İlgi : 20.09.2023 tarihli, 30097411-100-419400 sayılı yazınız.

Academy Global Conferens & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurulunda görevlendirilmeniz Dekanlığımızca uygun bulunmuştur.

Bilgilerinize rica ederim.

Prof. Dr. Şevket ALP
Dekan

Bu belge, güvenli elektronik İmza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu :BSRZ65ADS8 Pin Kodu :87362

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=4575&eD=BSRZ65ADS8&eS=422356>

Adres: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Rektörlüğü Mimarlık ve Tasarım Fakültesi

Dekanlığı Zeve Kampüsü 65080 Tuşba/VAN

Telefon No: +90 432 2251701-04 / +90 4445065 Faks No: +90 432 4865413

e-Posta: rektorluk@yyu.edu.tr İnternet Adresi: <http://www.yyu.edu.tr>

Bilgi için: Fatma TUNÇER

Unvanı: Bilgisayar İşletmeni



Tel No: 21112

CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL
SCIENCES
CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED
SCIENCES
CUMHURİYET 4TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
October 29, 2025
ANKARA

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

<https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1>

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerinizi kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderatör olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- 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 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.
- During the session, your camera should be turned on **at least %70** of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

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.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.
- Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number,

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------|---|---|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 1 | Prof. Dr. Serdal KARA | 8 | AN ANALYSIS OF THE JOKE “THIS YEAR’S SNOW IT APPEARS” IN A COMPETITIVE CONTEXT | Doç. Dr. Melike SOMUNCU |
| | | 9 | RELATIONSHIP BETWEEN PRAGMATICS AND SEMANTIC PLANE | Doç. Dr. Melike SOMUNCU |
| | | 3 | ELLIPTICAL CONSTRUCTIONS IN TURKISH: AN EVALUATION FROM THE PERSPECTIVE OF SURFACE AND DEEP STRUCTURE | Prof. Dr. Serdal KARA |
| | | 4 | THE EVOLUTION OF LEXICOGRAPHY AMONG ARABS: FROM LINGUISTIC COLLECTION TO THE DIGITAL DICTIONARY | Dr. Öğr. Üyesi Abdulhalim ABDULLAH Prof. Dr. Halit BOZ |
| | | 5 | ARAPÇA TARİHİ SÖZLÜKLER: KÖKLEŞME İLE YENİLENME ARASINDA | Dr. Öğr. Üyesi Abdulhalim ABDULLAH Prof. Dr. Halit BOZ |
| | | 6 | TOLSTOY’S KRÖYÇER SONATA: MASCULINE MORALITY AND WOMEN | Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI |
| | | 7 | PEYAMI SAFA’S “DÜŞÜNEN ADAM” WRITINGS AS A NATIONALIST AND CONSERVATIVE INTELLECTUAL | Dr. Nagihan EREN |
| | | 8 | THE SOVEREIGN’S POWER OF EXCEPTION: HOBBSIAN SECURITY AND THE STATE OF EMERGENCY IN PANDEMICS | Dr. Öğr. Üyesi, Ali ÇİÇEK |
| | | 9 | PLATO’S PHILOSOPHER-KING AND MODERN TECHNOCRACY: WISDOM OR THE POWER OF KNOWLEDGE? | Dr. Öğr. Üyesi, Ali ÇİÇEK |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------------|----|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 2 | Asst. Prof. Dr. Emre YILMAZ | 1 | QUIET QUITTING WITHIN THE FRAMEWORK OF SELF-DETERMINATION THEORY: THE ROLE OF BASIC PSYCHOLOGICAL NEEDS | Yüksek Lisans Öğrencisi, Büşra BULUT Prof. Dr. Mazlum ÇELİK |
| | | 2 | EXAMİNİNĞ TOMBSTONE INSCRIPTIONS İN TERMS OF DEATH AND SEPARATION PSYCHOLOGY | Asst. Prof. Dr. Emre YILMAZ |
| | | 3 | THE EFFECT OF REPETİTİON OF THE ATTAHİYYATU PRAYER ON PSYCHOLOGICAL WELL-BEİNG FROM A POSİTİVE PSYCHOLOGY PERSPECTİVE | Asst. Prof. Dr. Emre YILMAZ |
| | | 4 | CHILDHOOD ADVERSITY AND SOCIAL WORK WITH REPATRIANT CHILDREN IN AZERBAIJAN | Ulviyya MIRZAYEVA |
| | | 5 | THE SOCIAL AND ECONOMIC STATUS OF DIVORCED WOMEN: AN ASSESSMENT OF EMPOWERMENT-ORIENTED INTERVENTIONS | Dr. Öğr. Üyesi Resul DURAN Dr. Öğr. Üyesi Ahmet USANMAZ Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DOĞAN |
| | | 6 | THE IMPLEMENTATION LEVEL OF FAMILY COUNSELING PROGRAMS IN THE PROBATION PROCESS: A COMPARATIVE STUDY OF TÜRKİYE AND AUSTRALIA | Dr. Öğr. Üyesi Resul DURAN Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DOĞAN Dr. Öğr. Üyesi Ahmet USANMAZ |
| | | 7 | EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN FAMILY BELONGING AND MARITAL ATTITUDE | Öğr. Gör. Ahmet TÜRK Dr. Öğr. Üyesi Cezmi ERVÜZ |
| | | 8 | EXAMINING THE IMPACT OF CHILDHOOD TRAUMA ON PSYCHOLOGICAL RESILIENCE | Dr. Öğr. Üyesi Cezmi ERVÜZ Öğr. Gör. Ahmet TÜRK |
| | | 9 | KATILIMCI SÖZLÜK ORTAMINDA PSİKOTERAPİ DENEYİMLERİ: EKŞİ SÖZLÜK ÖRNEĞİ | Arş. Gör., Mustafa Emin AKÇİN Prof. Dr., Oğuzhan ZENGİN |
| | | 10 | YEŞİL EMEKLİLİK SİSTEMİ (YES): SİGARA VE ALKOL BAĞIMLILIĞIYLA MÜCADELEDE BİR MODEL ÖNERİSİ | Prof. Dr., Oğuzhan ZENGİN Arş. Gör., Mustafa Emin AKÇİN |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|------------------------|---|---|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 3 | Doç. Dr. Mustafa ZUHAL | 1 | RELATIONSHIP BETWEEN LOAD CAPACITY FACTOR AND EXPORT DIVERSITY: THE CASE OF TURKIYE | Esmâ ERDOĞAN Müge MANGA |
| | | 2 | RELATIONSHIP BETWEEN LOAD CAPACITY FACTOR AND INCOME INEQUALITY IN TURKEY | Müge MANGA Esmâ ERDOĞAN |
| | | 3 | AFET EKONOMİSİNİN BÜTÇE ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİ ÖRNEĞİ | Arş. Gör. Dr. Ali Fuat URUŞ Dr. Fadime Ayca CEYLAN |
| | | 4 | RİSKTEN KAÇINMANIN PORTFÖY DAĞILIMINA ETKİSİ: FARKLI VARLIK SINIFLARIYLA DENEMELER | Arş. Gör. Dr. Erdi BAYRAM Öğr. Gör. Dr. Ümit Hasan GÖZKONAN Arş. Gör. Tolga ÇAĞLAYANSUDUR |
| | | 5 | THE RELATIONSHIP BETWEEN RENEWABLE ENERGY CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH IN THE VISEGRAD COUNTRIES: PANEL REGRESSION ANALYSIS | Doç. Dr. Mehmet AKYOL Doç. Dr. Mustafa ZUHAL |
| | | 6 | THE IMPACT OF ECONOMIC GLOBALIZATION, EXPORTS, AND FOREIGN DIRECT INVESTMENT ON ECONOMIC GROWTH: THE CASE OF THE VISEGRAD COUNTRIES | Doç. Dr. Mehmet AKYOL Doç. Dr. Mustafa ZUHAL |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|----------------------------------|---|--|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 4 | Doç. Dr. Behiye DAĞDEVİREN ERTAŞ | 1 | SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETMENLERİNİN WEB 2.0 ARAÇLARINA HAKİMİYETİ | Uzm. Burçin KIRKAĞAÇ Prof. Dr. Mustafa ŞAHİN |
| | | 2 | SOCIAL STUDIES TEACHER CANDIDATES' PERCEPTIONS OF MULTICULTURALISM | Uzm. Emine UYSAL Prof. Dr. Mustafa ŞAHİN |
| | | 3 | ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN BİLGİ TEKNOLOJİLERİNİN GÜVENLİ KULLANIMINA İLİŞKİN FARKINDALIKLARI | Doç. Dr. Aysel ARSLAN Yüksek Lisans Öğrencisi Merve KAYA |
| | | 4 | ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ KULLANIM YETERLİK DÜZEYLERİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Merve KAYA Doç. Dr. Aysel ARSLAN |
| | | 5 | The Moderating Role of Recognition in the Effect of Teacher Enthusiasm on Job Satisfaction | Doç. Dr. Behiye DAĞDEVİREN ERTAŞ |
| | | 6 | The Moderating Role of Gender in The Relationship between Teacher-Student Relationship Quality And Mathematics Anxiety According to PISA 2022 Türkiye Data | Doç. Dr. Behiye DAĞDEVİREN ERTAŞ |
| | | 7 | SINIF ÖĞRETMENİ ADAYLARININ ÖĞRETMENLİK MESLEK ETİĞİ PROFİLLERİ | Yaren GÜNDOĞDU Sedef ÖZDEMİR Prof. Dr. Pınar ÇAVAŞ |
| | | 8 | MESLEK ETİĞİ İLE İLGİLİ EĞİTİM ALANINDA YAPILAN TEZLERİN SİSTEMATİK ANALİZİ | Sedef ÖZDEMİR Yaren GÜNDOĞDU Prof. Dr. Pınar ÇAVAŞ |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|--------------------------|--|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 | | Passcode: 202224 | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 5 | Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ | 1 | A GENERAL OVERVIEW OF RECREATIVE ACTIVITIES APPLIED TO DISADVANTAGED GROUPS | Doktora Öğrencisi Ahmet Furkan ÇETİNKAYA Doç. Dr. Süleyman GÖNÜLATEŞ Prof. Dr. Abdurrahman KIRTEPE |
| | | 2 | SOSYAL GÖRÜNÜŞ KAYGI DÜZEYİNİN İLETİŞİM BECERİLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ (ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ) | Zeynep DEMİR Doç. Dr. Esra BAYRAK AYAŞ |
| | | 3 | DOĞA SPORLARI PERSPEKTİFİNDEN EKOREKREASYONA BAKIŞ | Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ Doç. Dr. Yalın AYGÜN |
| | | 4 | KARBON NÖTR SPOR ORGANİZASYONLARI: KÜRESEL EĞİLİMLER VE TÜRKİYE UYGULAMALARI | Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ Doç. Dr. Yalın AYGÜN |
| | | 5 | INVESTIGATION OF THE MOTIVATION LEVELS OF STUDENTS WHO EXERCISE IN A SPORTS SUMMER SCHOOL | Prof. Dr. Tamer KARADEMİR Gözde DUMAN |
| | | 6 | BODY PERCEPTION IN INDIVIDUALS WHO DO PILATES AND FITNESS | Prof. Dr. Tamer KARADEMİR Gözde DUMAN |
| | | 7 | THE USE OF DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS IN SPORTS MANAGEMENT EDUCATION | İsmet SEVAL Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ Dr. Öğr. Üyesi Fatma Hilal YAĞIN |
| | | 8 | GREEN SPORTS FACILITIES AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MANAGEMENT PRACTICES | İsmet SEVAL Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ Dr. Öğr. Üyesi Fatma Hilal YAĞIN |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------|---|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 6 | Doç. Dr. Sezen GÜNGÖR | 1 | ZAMAN BASKISI VE ONLİNE SATIN ALAMA ARASINDAKİ İLİŞKİ | Seda ÇALIŞKAN Doç.Dr.Ahmet TAN |
| | | 2 | “BEDAVA”NIN RASYONALİTESİ: SIFIR FİYATIN TÜKETİCİ TERCİHLERİ VE PAZAR DİNAMİKLERİ ÜZERİNDEKİ ÇARPITICI ETKİSİ | Doç. Dr. Sezen GÜNGÖR Dr. Kader EROL |
| | | 3 | SÜRÜ DAVRANIŞI: FİNANSAL PİYASALARDA VE TÜKETİCİ TRENDLERİNDE KOLEKTİF KARAR ALMA EĞİLİMLERİ | Dr. Kader EROL Doç. Dr. Sezen GÜNGÖR |
| | | 4 | AN EXAMINATION OF ENVIRONMENTAL AWARENESS IN THE CONTEXT OF DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS | Öğr. Gör. Dr. Muhammed Furkan TAN Prof. Dr. Kahraman ÇATI |
| | | 5 | ANALYSIS OF GREEN PURCHASE INTENTION IN THE CONTEXT OF DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS | Öğr. Gör. Dr. Muhammed Furkan TAN Prof. Dr. Kahraman ÇATI |
| | | 6 | E - TİCARETİN ESNAF TİCARETİ ÜZERİNDEKİ OLUMLU VE OLUMSUZ ETKİLERİ: TUZLUCA İLÇESİ ÖRNEĞİ. | Doç. Dr., Turhan MOÇ Yüksek Lisans Öğrencisi, Gülay AKKILIÇ Yüksek Lisans Öğrencisi, Ali AYDIN |
| | | 7 | Factors Affecting Consumers' Green Product Purchase Behavior: An Application in Gumushane Province | Yüksek Lisans Öğrencisi, Ali Arı Prof. Dr. Salih Yıldız |
| | | 8 | Factors Affecting Consumers' Purchase Behavior of Green-Packaged Products: An Application in Gumushane Province | Yüksek Lisans Öğrencisi, Ali Arı Prof. Dr. Salih Yıldız |
| | | 9 | Sustainability and Sustainable Marketing: Conceptual Framework and Applications | Doktora Öğrencisi, Berrak ÇÖREKÇİOĞLU Doc. Dr., Hilal UYGURTÜRK |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------|---|--|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 7 | Doç. Muteber BURUNSUZ | 1 | ÇAĞDAŞ RESİM SANATINDA İNSAN İMGESİNİN DÖNÜŞÜMÜ VE TEMSİLİ | Doç. Dr., Samet DOĞAN |
| | | 2 | ANSELM KIEFER'İN SANATINDA MALZEME ESTETİĞİ VE TARİHSEL BELLEK | Doç. Dr., Samet DOĞAN |
| | | 3 | CERAMIC DESIGN POTENTIALS OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF DESIGN AND TECHNICAL DRAWING COMPETENCIES | Associate Professor Sanver ÖZGÜVEN |
| | | 4 | A COMPARATIVE STUDY ON THE HISTORICAL, GEOGRAPHICAL AND CULTURAL TRANSFORMATION OF COFFEE CUPS | Associate Professor Sanver ÖZGÜVEN |
| | | 5 | THE THEME OF LANDSCAPE IN MEHMET ALI LAGA'S WORKS WITH ITS HISTORICAL CONTEXT | Doç. Muteber BURUNSUZ |
| | | 6 | ACININ ESTETİĞİ: JİLL'İN GÖZLERİYLE ONCE UPON A TIME IN THE WEST | Dr. Öğr. Üyesi, SERHAT SOYŞEKERCİ |
| | | 7 | A Musicological View of Muscle Disorders in Musical Therapy Instruments Such as Violin, Bağlama, Piano and Guitar in General | Doç. Dr. İlhami KAYA |
| | | 8 | THE USÛL - PROSODIC ANALYSIS OF TWO COMPOSITIONS FROM HACI SADULLAH AĞA'S BAYATĪ-ARABĀN SUITE | Doç. Dr. Ünsal DENİZ Öğr. Gör. Gülgün ÇOLAK |
| | | 9 | TRACES OF AN INTERACTION: FROM ARABIC MUSIC TO ARABESQUE | Doç. Dr. Ünsal DENİZ Doktora Öğrencisi Nilay Karatoprak GÜVEN |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------|---|---|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 8 | Prof. Dr., Umut CANLI | 1 | ÇOCUKLARDA BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ KULLANIM ARAŞTIRMASI, 2024 | Doç. Dr. Rukiye ARSLAN Dr. Öğr. Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER |
| | | 2 | ÇOCUKLARDA AKRAN ZORBALIĞININ PSİKOLOJİK ETKİLERİ | Dr. Öğr. Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER Doç. Dr. Rukiye ARSLAN |
| | | 3 | AEROBİK EGZERSİZLERİN SEDANTER BİREYLERİN VÜCUT KOMPOZİSYONUNA ETKİSİ | Prof. Dr., Umut CANLI |
| | | 4 | KOR KUVVETİ VE FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ: AEROBİK EGZERSİZLERİN SEDANTER BİREYLERDEKİ ROLÜ | Prof. Dr., Umut CANLI |
| | | 5 | Koyunlarda Çiçek Hastalığında Patolojik Değerlendirmeler | Dr. NİHAT YUMUŞAK |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------------|--|--|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 9 | Res. Assistant, PELİN İLKER | 1 | DRAG REDUCTION PERFORMANCE OF PHPA POLYMER IN SMOOTH PIPES | Res. Assistant, PELİN İLKER Prof. Dr., MEHMET SORGUN BATUHAN SEVEN |
| | | 2 | DETERMINATION OF MONTHLY STREAMFLOW THROUGH CINE STREAM USING DATA-DRIVEN MODELS | Res. Assistant, PELİN İLKER Prof. Dr., MEHMET SORGUN SERHAT KAPTAN |
| | | 3 | PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TERNARY BLENDED MORTARS | İnş. Müh., Yasin DURMAZ Dr. Öğr. Üyesi, Şevket Onur KALKAN Prof. Dr., Lütfullah GÜNDÜZ |
| | | 4 | EVALUATION OF THE EFFECT OF GEOTEXTILE FELT USE ON THERMAL INSULATION PROPERTIES OF MASONRY WALL BLOCK ELEMENT | Prof. Dr., Lütfullah GÜNDÜZ Dr. Öğr. Üyesi, Şevket Onur KALKAN |
| | | 5 | ENTERPRISE RESOURCE PLANNING FOR CONSTRUCTION: BENEFITS, ADOPTION BARRIERS, AND A PRACTICAL ROADMAP | Prof. Serdar ULUBEYLİ Asst. Prof. Volkan ARSLAN Abdumelik KOÇİN |
| | | 6 | ENTERPRISE RESOURCE PLANNING IN TÜRKİYE: MODELS, ADOPTION RISKS, AND DOMESTIC SOLUTIONS | Prof. Serdar ULUBEYLİ Asst. Prof. Volkan ARSLAN Abdumelik KOÇİN |
| | | 7 | THE TECHNOLOGICAL EVOLUTION OF RIFLE FIRING SYSTEMS FROM PAST TO PRESENT | Mesut ÇELİK Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR |
| | | 8 | METHODS OF RIFLING FORMATION IN SMALL ARMS BARRELS: TECHNIQUES AND TECHNICAL ASSESSMENT | Mesut ÇELİK Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------|---|--|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 1 | Dr. Yasuyuki Konishi, | 1 | COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL | Siti Hamidah, Lee Nian Yian, Azizi Mohd |
| | | 2 | PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES | Nor Hayati Ibrahim, Shamini Nair Achudan |
| | | 3 | OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.) VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY | V.Bharathi, Jamila Patterson, R.Rajendiran |
| | | 4 | CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION | Assoc. Prof. Abdelatif S. H. El-Jasser |
| | | 5 | INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN | A. Molee, N. Duanghaklang, P. Mernkrathoke |
| | | 6 | REVEALING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NaCl: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE | Raza Hussain, Claire Gaiani, Joël Scher |
| | | 7 | PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY | Pattama Ratana-Arpom, Pongtep Wilaipun |
| | | 8 | | |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|----------------------------------|--|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 2 | Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira, | 1 | USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS | Phd .Reza Sigari Tabrizi, Dr. Yeap Peik Foong, Nazli Ebrahimi |
| | | 2 | EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET | Ioan Popa, Radu Lupu, Cristiana Tudor |
| | | 3 | ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT | Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira, Filipa Vieira |
| | | 4 | APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES | Dr. Omid Jadidi, Assis. Prof. Dr. Fatemeh Firouzi, Enzo Bagliery |
| | | 5 | CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY | Ajay Gupta, Arvind Bhardwaj, Arun Kanda |
| | | 6 | FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION | Dahir A. Ga'al, Wardah Zainal Abidin |
| | | 7 | OPTIMIZING CUSTOMER RELATIONSHIPS THROUGH SOCIAL NETWORK MANAGEMENT | Assis. Prof. Dr. Srisawas Siriporn, Assis. Prof. Dr. Rotchanakitumnuai Siriluck |
| | | 8 | STRATEGIES FOR DETERMINING THE IDEAL ASSET STRUCTURE FOR A COMMERCIAL BANK | Dr. Svetlana Saksonova |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|----------------|---|--|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 3 | Dr. Miloš Šeda | 1 | OPTIMIZING OF GAS CONSUMPTION IN GAS-BURNER SPACE HEATER | Dr. Saead Negahdari, Davood Jalali Vahid |
| | | 2 | DEVELOPMENT OF AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITION METER | Geun-Mo Kim, Young-Jae Ryoo |
| | | 3 | A SUPERVISORY SCHEME FOR STEP-WISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS | Fotis N. Koumboulis, Maria P. Tzamtzi |
| | | 4 | GEOMETRY DESIGN SUPPORTED BY MINIMIZING AND VISUALIZING COLLISION IN DYNAMIC PACKING | Johan Segeborn, Johan S. Carlson, Robert Bohlin, Rikard Söderberg |
| | | 5 | FLEXIBLE HEURISTICS FOR PROJECT SCHEDULING WITH LIMITED RESOURCES | Dr. Miloš Šeda |
| | | 6 | CLASSIC AND HEURISTIC APPROACHES IN ROBOT MOTION PLANNING A CHRONOLOGICAL REVIEW | Ellips Masehian, Davoud Sedighzadeh |
| | | 7 | STABILIZER FILLET WELD STRENGTH UNDER MULTIAXIAL LOADING (EFFECT OF FORCE, SIZE AND RESIDUAL STRESS) | Iman Hadipour, Javad Marzbanrad |
| | | 8 | INTELLIGENT ABS FUZZY CONTROLLER FOR DIVERSE ROADSURFACES | Dr. Roozbeh Keshmiri, Alireza Mohamad Shahri |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|--------------------------------|--|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 | | Passcode: 202224 | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 4 | Assoc. Prof. Dr. Giulia Romano | 1 | BIOCONTROL POTENTIAL OF ESSENTIAL OIL FORMULATIONS AGAINST TILAPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS) AND ASSOCIATED STORAGE PESTS | Dr. Kwame O. Mensah |
| | | 2 | IMMUNOGENIC RESPONSE OF OUTER MEMBRANE PROTEINS OF <i>VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS</i> ON GROUPER (<i>EPINEPHELUS FUSCOGUTTATUS</i>) | Liang Wei Chen |
| | | 3 | CHARACTERIZATION AND ENHANCED PRODUCTION OF CELLULASE ENZYMES FROM ENDOPHYTIC FUNGI ISOLATED IN TROPICAL FORESTS | Maria Fernanda López, Diego Rafael Oliveira, |
| | | 4 | SOMATIC EMBRYOGENESIS FROM LEAF AND NODE EXPLANTS OF BLUE DAISY (<i>FELICIA AMELLOIDES</i>) | Anoma Perera Wijesinghe |
| | | 5 | STRUCTURAL INSIGHTS INTO THE RESISTANCE OF <i>CAMPYLOBACTER JEJUNI</i> CHAPERONE PROTEINS TO ANTIMICROBIAL PEPTIDES | Dr. Sadia Rahman, |
| | | 6 | MICROBIAL COMMUNITY STRUCTURE OF AMMONIA-OXIDIZING ARCHAEA AND BACTERIA IN AEROBIC WASTEWATER BIOREACTORS | Supaporn Kittipong, Nattapol Jirasaku |
| | | 7 | SYNTHETIC ELASTIN-BASED COATINGS AS A BIOMIMETIC PLATFORM FOR ENHANCED CELL ADHESION | Assoc. Prof. Dr. Giulia Romano |
| | | 8 | NEW RECORD OF PARASITE-HOST INTERACTIONS OF <i>DIPLOSTOMUM SPATHACEUM</i> IN ZARAFSHAN RIVER (CENTRAL UZBEKISTAN) | Dr. Niloufar Esmailova |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|----------------|--|---|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 | | Passcode: 202224 | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 5 | Moses Umiaghe, | 1 | ADVANCES IN QUANTUM ALGORITHMS: SECURITY CHALLENGES AND ETHICAL IMPLICATIONS IN THE QUANTUM COMPUTING ERA | John Smith, Fatima Al-Harbi, Omar Khalid |
| | | 2 | ECO-FRIENDLY ADSORPTION TECHNIQUES FOR WATER POLLUTANT REMOVAL USING NANOCOMPOSITES: SYNTHESIS AND PERFORMANCE OPTIMIZATION | Amira Benali, Dr. Youssef El Fassi |
| | | 3 | ENHANCING GREEN HYDROGEN PRODUCTION THROUGH BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES | Nadia Bouziane, Karim El Mansouri |
| | | 4 | SPATIAL MODELING OF SOIL EROSION IMPACTS ON WATER REGULATION IN THE HIGH ATLAS REGION | Laila Bensalem, Rachid El Amrani |
| | | 5 | DEEP LEARNING-BASED TRAFFIC SIGN RECOGNITION UNDER VARIABLE ENVIRONMENTAL CONDITIONS | Ahmed Benali, Yassine El Khatib, Sara Alami |
| | | 6 | DC BUS VOLTAGE CONTROL AND POWER FACTOR IMPROVEMENT USING BIDIRECTIONAL CONVERTERS | Chinedu Okafor, Amina Yusuf, Emeka Nwosu |
| | | 7 | OPTIMIZING WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEMS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS | Moses Umiaghe, Chika Obi |
| | | 8 | BRIDGING THE SKILLS GAP IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS EDUCATION FOR INDUSTRY READINESS IN RIVERS STATE | Ngozi Eze, Emeka Okeke |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 29, 2025 ANKARA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|--|-----------------|--|---|---|
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 6 | Olufemi Adewale | 1 | OPTIMIZATION OF SOLAR ENERGY HARVESTING SYSTEMS USING MONTE CARLO SIMULATIONS | Ahmed El-Sayed, Fatima Hassan, Omar Khalil |
| | | 2 | REMOTE SENSING-BASED SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN EXPANSION IN CASABLANCA (MOROCCO): ENVIRONMENTAL IMPACTS | Nadia Benali, Youssef El-Mahdi |
| | | 3 | EVALUATION OF GAMMA-RAY AND NEUTRON DISCRIMINATION TECHNIQUES IN SCINTILLATION DETECTORS | John O. Adeyemi, Chinedu Nwosu, Amina Yusuf |
| | | 4 | MATHEMATICAL MODELING OF OXYGEN TRANSPORT IN HUMAN CIRCULATORY SYSTEM | Chinedu Nwosu, Amina Yusuf |
| | | 5 | SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BAMBOO WOOD NANOFIBERS AND THEIR PHOTODEGRADATION EFFECTS ON DYES | Sara El-Mansouri, Rachid Bennis |
| | | 6 | EXPERIMENTAL AND PROBABILISTIC STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D-PRINTED CONDUCTIVE POLYMERS | Olufemi Adewale, Kemi Olatunji |
| | | 7 | ANALYSIS OF LAST-MILE TRANSPORTATION ISSUES FACED BY AIRPORT PASSENGERS IN NIGERIA | Kehinde Azeezat Shodipo, Abdul-Rahman Taiwo Ajala |
| | | 8 | | |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|------------------|---|---|-------------------------------|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 7 | Dr. Nino Beridze | 1 | PSYCHOLOGICAL IMPACT AND PROJECT OUTCOMES: A MODERATED MEDIATION ANALYSIS IN CONSTRUCTION INDUSTRY | Maria Petrova |
| | | 2 | YOLOv8-BASED AUTOMATED PAVEMENT CRACK IDENTIFICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES | Assoc. Prof. Dr. Sophie JORIO |
| | | 3 | THERAPEUTIC COUCH DYNAMICS IN MODERN PSYCHOTHERAPY PRACTICES | Andrei Popescu |
| | | 4 | SUSTAINABLE IRRIGATION METHODS INCORPORATING ANTI-EROSION MEASURES | Dr. Nino Beridze |
| | | 5 | EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE STRENGTH WITH CEMENT PARTIALLY REPLACED BY BLACK CARBON AND TiO2 ADDITIVES | Ravi Kumar |
| | | 6 | ASSESSING THE IMPACT OF UNREGULATED SOLID WASTE MANAGEMENT IN KADUNA URBAN AREAS | Chinedu Okafor |
| | | 7 | DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSING IN LOW-INCOME COMMUNITIES | Dr. Fatima Abiola |
| | | 8 | | |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|------------------------|---|---|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 8 | Prof. Dr. Huda Mahmoud | 1 | INNOVATIVE TEACHING STRATEGIES IN HIGHER EDUCATION | Dr. Ahmed Al-Mutairi Dr. Sara Al-Fahad |
| | | 2 | DIGITAL LEARNING PLATFORMS AND STUDENT ENGAGEMENT | Dr. Leila Mansouri Prof. Dr. Reza Khatami Neda Farhadi |
| | | 3 | CURRICULUM DEVELOPMENT FOR MULTILINGUAL CLASSROOMS | Dr. Rasha Al-Haddad Omar Al-Masri |
| | | 4 | THE ROLE OF TEACHER TRAINING IN IMPROVING EDUCATIONAL OUTCOMES | Dr. Fadi Khalil Dr. Lina Youssef Dr. Samir Nassar |
| | | 5 | EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES | Dr. Fatemeh Rahimi Dr. Ali Karimi |
| | | 6 | BLENDED LEARNING APPROACHES IN UNIVERSITY SETTINGS | Amal Hassan Dr. Yasser Ibrahim Prof. Dr. Huda Mahmoud |
| | | 7 | STUDENT-CENTERED LEARNING AND ACADEMIC ACHIEVEMENT | Dr. Mohammed Al-Rashid Dr. Aisha Al-Salem |
| | | 8 | TECHNOLOGY INTEGRATION IN MODERN CLASSROOMS | Dr. Hassan Jafar Dr. Mariam Abbas Dr. Ali Hussein Prof. Dr. Zainab Karim |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|--------------------------|---|--|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 9 | Prof. Dr. Bassam Darwish | 1 | LANGUAGE AND IDENTITY IN CONTEMPORARY ARABIC NOVELS | Ahmed Al-Farouqi Layla Hassan |
| | | 2 | POETIC TRADITIONS AND SYMBOLISM IN PERSIAN LITERATURE | Dr. Reza Mahdavi Niloofer Azimi Farhad Ghanbari |
| | | 3 | THE INFLUENCE OF CLASSICAL TURKISH POETRY ON MODERN PROSE | Prof. Dr. Mehmet Erdem Zeynep Kaya |
| | | 4 | ORAL STORYTELLING AND CULTURAL MEMORY IN IRAQI LITERATURE | Samira Al-Khalidi Ali Hussein Dr. Fadwa Salman |
| | | 5 | THEMES OF EXILE AND BELONGING IN PALESTINIAN POETRY | Dr. Rami Barakat Aisha Khalil |
| | | 6 | WOMEN'S VOICES IN CONTEMPORARY SYRIAN FICTION | Nour Haddad Rana Al-Shami Prof. Dr. Bassam Darwish |
| | | 7 | LINGUISTIC HERITAGE AND IDENTITY FORMATION IN LEBANESE DRAMA | Karim Mansour Dr. Leila Choueiri |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------------|---|--|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 10 | Assoc. Prof. Dr. Jad Nasser | 1 | THE IMPACT OF CULTURAL BELIEFS AND TRADITIONAL NORMS ON FAMILY THERAPY OUTCOMES IN MIDDLE EASTERN SOCIETIES | Dr. Kouros Fattahi Samira Daryaei |
| | | 2 | INTERGENERATIONAL CONFLICTS, PARENTAL EXPECTATIONS, AND STRATEGIES FOR RESOLUTION IN MARRIAGE AND FAMILY THERAPY | Prof. Dr. Elena Kuznetsova Igor Volkov Anastasia Morozova |
| | | 3 | THE ROLE OF EMOTIONAL INTELLIGENCE, SELF-AWARENESS, AND COPING SKILLS IN IMPROVING MARITAL SATISFACTION AND STABILITY | Assis. Prof. Dr. Aisuluu Tulegenova Yerzhan Akhmetov Bibigul Saparova |
| | | 4 | PARENTAL STRESS, WORK-LIFE BALANCE, AND THEIR IMPACT ON CHILD DEVELOPMENT AND FAMILY RELATIONSHIPS | Rania Al-Masri Omar Khalaf |
| | | 5 | ANALYZING COUPLE COMMUNICATION PATTERNS, CONFLICT RESOLUTION TECHNIQUES, AND THERAPEUTIC INTERVENTIONS FOR HEALTHIER RELATIONSHIPS | Huda Nasser |
| | | 6 | THE INFLUENCE OF RELIGIOUS BELIEFS, SPIRITUALITY, AND PRACTICES ON MARITAL RELATIONSHIPS AND FAMILY DYNAMICS | Dr. Ahmed Salah Dr. Laila Mostafa Nourhan Youssef |
| | | 7 | MANAGING FINANCIAL STRESS, ECONOMIC PRESSURES, AND RESOURCE ALLOCATION IN FAMILY SYSTEMS THROUGH MARRIAGE AND FAMILY THERAPY | Dr. Hanan Al-Harbi Lec. Dana Al-Mutairi |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|---------------------------|----|---|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 1 | Doç. Dr. Demokaan DEMİREL | 1 | AKADEMİK TEŞVİK UYGULAMASININA AİT VERİLER HARRAN ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ (2022-2024) | Dr. Öğr. Üyesi Serap ATEŞ |
| | | 2 | KAMU GÖZETİMİ KURUMU (KGK) ÇALIŞMA USUL VE ESASLARI, FAALİYETLERİ VE KURUMDAN BEKLENTİLER | Dr. Öğr. Üyesi Serap ATEŞ |
| | | 3 | Imperialism, Sykes-Picot, Wilson Principles, Mondoros Armistice, Treaty of Sevres, Lausanne Peace Treaty and the Dangers Awaiting Turkey in the New World Order | Sözer AKYILDIRIM |
| | | 4 | AVRUPA'DA OMBUDSMANLIK KURUMUNUN GELİŞİMİ: İSVEÇ, FRANSA ve İNGİLTERE ÖRNEKLERİ | Doç. Dr. Demokaan DEMİREL |
| | | 5 | YAPAY ZEKÂNIN KAMU YÖNETİMİNE FONKSİYONEL ve ÖRGÜTSEL ETKİLERİ: AB'NİN YAPAY ZEKÂ POLİTİKASI | Doç. Dr. Demokaan DEMİREL |
| | | 6 | A GENERAL ASSESSMENT OF CRISIS MANAGEMENT IN PUBLIC INSTITUTIONS | Dr. Öğr. Üyesi, Nadide ÇAKIROĞLU |
| | | 7 | MERITOCRACY VS. AFFIRMATIVE ACTION: THE CHERYL HOPWOOD CASE | Dr. Öğretim Üyesi Seval YAMAN |
| | | 8 | TÜRKİYE-İSRAİL ARASINDA TİCARİ ANLAŞMALAR: TARİHSEL GELİŞİM, EKONOMİK ETKİLERİ VE GELECEK PERSPEKTİFİ | Öğr. Gör. Kartal TÜRK Öğr. Gör. Cemal EROĞLU Öğr. Gör. Cihan ÖZYILDIRIM |
| | | 9 | TÜKETİCİLERİN ALDATICI REKLAMLARA KARŞI KORUNMASI | Ayşe Elif KARATUTLU |
| | | 10 | SİYASAL PARTİLERDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ SEÇMEN YÖNETİMİ | Dr. Yahya GENÇAY |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|--------------------------|---|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 2 | Prof. Dr. Maşallah TURAN | 1 | A CRITIQUE OF MUHAMMED ESED'S INTERPRETATIONS OF THE AFTERLIFE | Prof. Dr. Maşallah TURAN |
| | | 2 | A CRITIQUE OF MUHAMMED ESED'S COMMENTS ON ANGELS, JINNS, AND DEVILS | Prof. Dr. Maşallah TURAN |
| | | 3 | TAWWAKKUL, SURRENDER, AND THE SEARCH FOR MEANING IN İBRAHİM HAKKI ERZURUMİ'S "TAFWİZNÂME": A DESCRIPTIVE ANALYSIS IN THE CONTEXT OF RELIGIOUS PSYCHOLOGY | Asst. Prof. Dr. Emre YILMAZ |
| | | 4 | THE SPIRITUAL JOURNEY OF A DERVİSH ON THE PATH OF TRUTH: A PHENOMENOLOGICAL ANALYSIS OF THE TEACHINGS OF KHWAJA AHMED YESEVİ IN THE MAVERA SERIES FROM A RELIGIOUS PSYCHOLOGY PERSPECTIVE | Asst. Prof. Dr. Emre YILMAZ |
| | | 5 | Ethics and Aesthetics as Complementary: Mustafa Namık Çankı's Perspective | Rabia Zehra ÖZESKİ Prof. Dr. Nejdet DURAK |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|---------------------|---|--|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 3 | Doçent, Berna YÜNER | 1 | EXAMINATION of THE THESES on INTERDISCIPLINARY SCIENCE EDUCATION in TURKEY | Graduate Student Sedika BAYRAKÇI Assoc. Prof. Dr. Serpil KALAYCI |
| | | 2 | TOPICS THAT 7th GRADE MIDDLE SCHOOL STUDENTS HAVE DIFFICULTY in SCIENCE CLASSES | Teacher Taner OKTAY Assoc. Prof. Dr. Serpil KALAYCI |
| | | 3 | SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETMEN ADAYLARININ GÖZÜNDEN ÇEVİRİMİÇİ İLETİŞİMDE SAYGI DEĞERİ | Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül YILMAZER |
| | | 4 | A LINK IN THE EDUCATIONAL CHAIN: HIGH SCHOOL BACKGROUNDS OF PRE-SERVICE SOCIAL STUDIES TEACHERS | Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül YILMAZER Prof. Dr. Osman Kubilay GÜL |
| | | 5 | DEVELOPMENT OF EARLY LITERACY SKILLS | Prof. Dr. Güneş SALI |
| | | 6 | LEADERSHIP BEHAVIORS EXPECTED FROM SCHOOL PRINCIPALS WITHIN THE SCOPE OF FOUR FRAMEWORK LEADERSHIP | Doçent, Berna YÜNER |
| | | 7 | OKUL MÜDÜRLERİNİN KULLANDIKLARI GÜÇ KAYNAKLARINA İLİŞKİN ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ | Doçent, Berna YÜNER |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|-------------------------------|---|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 4 | Doç. Dr. Fulya BARIŞ PEKMEZCİ | 1 | AN ANALYSIS OF THE ELEMENTS OF LEXICAL WEALTH IN AESOP'S FABLES | Uzm. Miray AKGÜL Prof. Dr. Mehmet Nuri KARDAŞ |
| | | 2 | THE ALIGNMENT OF LISTENING ACTIVITIES IN TURKISH LANGUAGE TEACHING BOOKS FOR FOREIGNERS WITH THE LISTENING COMPETENCIES OF THE COMMON EUROPEAN FRAMEWORK OF REFERENCE: THE CASE OF VAN YUZUNCU YIL UNIVERSITY TOMER BOOKS | Uzm. Miray AKGÜL Prof. Dr. Mehmet Nuri KARDAŞ |
| | | 3 | ÖRTÜK PROFİL ANALİZİ: SOSYAL BİLİMLERDE BİR GRUPLAMA YÖNTEMİ | Doç. Dr. Fulya BARIŞ PEKMEZCİ |
| | | 4 | DİJİTAL YETKİNLİK ÖZ-YETERLİLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE SINIFLANDIRMA VE REGRESYON AĞACI (CRT) ANALİZİ: PISA VERİLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME | Doç. Dr. Fulya BARIŞ PEKMEZCİ |
| | | 5 | A STUDY ON THE REFLECTIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN EDUCATION | Dr. Naif KARDAŞ Ağın BİÇEN |
| | | 6 | TEACHER AND STUDENT OPINIONS ON THE USE OF OPEN-ENDED QUESTIONS IN COMMON EXAMS IN TURKISH LANGUAGE CLASSES | Dr. Naif KARDAŞ Ayfer CANBAZ |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|----------------------|---|--|-------------------------------------|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 5 | Doç. Dr. İbrahim GÜL | 1 | ANAYASAL BİR HAK OLAN SENDİKA HAKKI VE ÖZGÜRLÜĞÜ | Dr. Öğr. Üyesi, Ayşegül EKİN |
| | | 2 | MİRASTAN MAL KAÇIRMA AMACIYLA MARKA HAKKININ DEVRİ VE HUKUKİ SONUÇLARI | Dr. Öğretim Üyesi İlker KARAÖNDER |
| | | 3 | EDİNİLMİŞ MALLARA KATILMA REJİMİNİN TASFİYESİNDE TARIM İŞLETMESİ VE GELİRLERİ | Dr. Öğretim Üyesi İlker KARAÖNDER |
| | | 4 | AN ASSESSMENT ON THE COMMENCEMENT DATE OF INTEREST IN FURTHER DAMAGE | Doç. Dr. İbrahim GÜL |
| | | 5 | İklim Değişikliği ve Rekreasyon Kapsamında Akdeniz İklim Değişikliğinin Davraz Kayak Sezonuna ve Doğa Sporlarına Etkisi: Nitel Bir Değerlendirme | Dr. Suzan EROL |
| | | 6 | COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CURRENT CLIMATE AND THE CLIMATE OF THE GLACIAL PERIOD (WÜRM) IN THE ALATAU MOUNTAINS (KAZAKHSTAN) | Doç. Dr. İSMAİL EGE ELCHIN SHUKURLU |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------|---|--|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 6 | Doç. Dr. Şamil ÖZTÜRK | 1 | Antioxidant and Antifibrotic Effects of Spirulina platensis Extract | Dr. Öğr. Üyesi İlhan ÖZDEMİR Doç. Dr. Şamil ÖZTÜRK |
| | | 2 | Molecular Mechanisms of Hesperidin in Fighting Cancer | Dr. Öğr. Üyesi İlhan ÖZDEMİR Doç. Dr. Şamil ÖZTÜRK |
| | | 3 | CASE REPORT: PERIODONTAL AND PROSTHETIC REHABILITATION IN A DENTALLY PHOBIC PATIENT TREATED UNDER GENERAL ANESTHESIA | Arş. Gör. Büşranur DEMİR Öğr. Gör. Hilal Ok BOSTAN |
| | | 4 | ANTERİOR ESTHETIC REHABILITATION IN A PATIENT WITH PEG LATERAL, IMPACTED CANİNE, AND LATERAL AGENESİS: A CASE REPORT | Arş. Gör. Büşranur DEMİR Öğr. Gör. Hilal Ok BOSTAN |
| | | 5 | PROSTHETIC REHABILITATION OF A SEVERE MAXILLARY DEFICIENCY CASE WITH BUCCAL CROSSBITE WITHOUT SURGICAL INTERVENTION: A CASE REPORT | Arş. Gör. Ömer YILDIRIM Prof. Dr. Zeynep YEŞİL |
| | | 6 | KUERSETİN İLE ŞARTLANDIRILMIŞ PROSTAT EPİTELYAL HÜCRE ORTAMININ PROSTAT KANSERİ (PC-3) HÜCRELERİ ÜZERİNDEKİ ANTİKANSER ETKİLERİNİN İNCELENMESİ | Selda DURUKAN Doç. Dr. Dilşad ÖZERKAN |
| | | 7 | SELENYUM NANOPARTİKÜLLERİNİN PROSTAT KANSERİNE KARŞI ANTİKANSER POTANSİYELİ VE HEDEFE YÖNELİK İLAÇ TEDAVİSİNDEKİ ROLÜ | Selda DURUKAN Doç. Dr. Dilşad ÖZERKAN |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|-----------------------------------|---|--|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 7 | Assoc. Prof. Dr., Hakkı DEMİRELMA | 1 | CROSSROADS OF NUTRITION AND MICROBIOTA: THE EMERGING ROLE OF PROBIOTICS AND FLAVONOIDS | Research Assistant Dr. Sümeyye AKBULUT Research Assistant Dr. Elanur DAŞDEMİR |
| | | 2 | COMPARISON OF BUPLEURUM KURDICUM BOISS AND BUPLEURUM ZOHARII SNOGERUP SPECIES IN TERMS OF MORPHOLOGY AND MICROMORPHOLOGY | Assoc. Prof. Dr., Hakkı DEMİRELMA |
| | | 3 | DETERMINATION OF ANTIMICROBIAL AND ANTI-MRSA ACTIVITY OF HELLEBORUS ORIENTALIS EXTRACTS | Feyza OLCAY Dr. Öğr. Ü. Erdoğan GÜNEŞ |
| | | 4 | SÜRDÜRÜLEBİLİR ARDIŞIK YEŞİL ARITIM (SAYA): BİYOKÖMÜR İLE İZMİR KÖRFEZ SUYUNDAN AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARITILMASI VE İKİNCİL MİKROALGAL ARITIM SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ | Suna ÇELİK |
| | | 5 | TOOLS USED IN EVALUATING THE GREEN PROFILE OF ANALYTICAL PROCEDURES | Prof. Dr. Nail ALTUNAY Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN |
| | | 6 | COMMONLY USED FOOD DYES AND THEIR ANALYTICAL DETERMINATIONS | Prof. Dr. Nail ALTUNAY Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|-------------------------|---|--|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 8 | Prof. Dr. Mehmet KAPLAN | 1 | EXAMINATION OF SCHOOL GATES IN TÜRKELİ (SİNOP) DISTRICT IN TERMS OF LANDSCAPE PLANNING AND DESIGN PRINCIPLES | YL. ÖĞRENCİSİ GÖKÇE CAN PROF.DR. ELİF AKPINAR KÜLEKÇİ |
| | | 2 | EXAMINATION OF CHILDREN'S PLAYGROUND IN LINE WITH LANDSCAPE DESIGN PRINCIPLES IN THE EXAMPLE OF TÜRKELİ (SİNOP) DISTRICT | YL. ÖĞRENCİSİ GÖKÇE CAN PROF.DR. ELİF AKPINAR KÜLEKÇİ |
| | | 3 | EVALUATION OF URBAN FACILITIES FROM A LANDSCAPE ARCHITECTURE PERSPECTIVE: THE CASE OF TÜRKELİ (SİNOP) DISTRICT | YL. ÖĞRENCİSİ GÖKÇE CAN PROF.DR. ELİF AKPINAR KÜLEKÇİ |
| | | 4 | Socio-Cultural and Ecological Dimensions of Green Landscapes in Industrial Areas | Feran AŞUR Elif AKPINAR KÜLEKÇİ |
| | | 5 | RESIDUE PROBLEM AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF PESTICIDES USED IN AGROECOSYSTEMS | Prof. Dr. Mehmet KAPLAN |
| | | 6 | AN ASSESSMENT OF THE BIODIVERSITY OF HARMFUL AND BENEFICIAL INSECTS IN AGRICULTURAL PRODUCTION | Prof. Dr. Mehmet KAPLAN |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|--|----------------|---|---|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 9 | Dr. Orkun TEKE | 1 | DEVELOPMENT OF COOLING SYSTEM'S IN-CABINET TEMPERATURE CONTROL AND LIGHTING SYSTEM WITH ARM-BASED STM32F103C8T6 | Meral ÇELİK Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN Hayati MAMUR |
| | | 2 | DESIGN AND IMPLEMENTATION OF STM32-BASED BLUETOOTH-ENABLED INTELLIGENT TEMPERATURE CONTROL SYSTEM | Meral ÇELİK Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN Hayati MAMUR |
| | | 3 | A GOVERNANCE MODEL FOR TRUSTWORTHY AI IN GEOTHERMAL ENERGY: A THEORETICAL FRAMEWORK FOR MODEL CONTEXT PROTOCOLS (MCP's) | Dr. Orkun TEKE |
| | | 4 | YOLO-BASED ASSEMBLY LINE MONITORING: REAL-TIME OBJECT DETECTION FOR TASK TRACKING AND PROCESS ANALYSIS | Ali Can DONBALOĞLU Dr. Öğr. Üyesi, İsmail Enes PARLAK |
| | | 5 | SUPPLY CHAIN TRACEABILITY IN INDUSTRY 4.0: TECHNOLOGIES, APPLICATIONS, AND A CASE STUDY OF THE FEKA TRACEABILITY SYSTEM | Ali Can DONBALOĞLU Dr. Öğr. Üyesi, İsmail Enes PARLAK |
| | | 6 | SOĞUK ZİNCİR GEREKSİNİMİ OLAN KIRSAL SAĞLIK OCAĞI İÇİN RÜZGÂR TABANLI HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZİ | Ali Serkan Avcı |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|------------------------------------|---|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 1 | Assoc. Prof. Dr. Cristian Petrescu | 1 | SPATIAL ANALYSIS OF FOOTBALL PERFORMANCE USING DIGITAL TRACKING TECHNOLOGIES | Prof. Dr. Kamran Mammadov Assoc. Prof. Dr. Leyla Aliyeva Rashad Huseynli |
| | | 2 | THE ROLE OF SPORTS NUTRITION IN ENHANCING ATHLETIC ENDURANCE: A CASE STUDY IN YOUTH TEAMS | Assoc. Prof. Dr. Aygun Taghizada Nijat Safarov |
| | | 3 | PSYCHOLOGICAL FACTORS AFFECTING THE SUCCESS OF ELITE WRESTLERS | Prof. Dr. Elchin Abbasov Samira Karimova Assis. Prof. Dr. Rauf Mehdiyev |
| | | 4 | KINEMATIC APPROACHES TO OPTIMIZE GYMNASTIC TRAINING ROUTINES | Prof. Dr. Andrei Popescu Maria Ionescu Assoc. Prof. Dr. Elena Dobre |
| | | 5 | EFFECTIVENESS OF RECOVERY STRATEGIES IN PROFESSIONAL HANDBALL TEAMS | Assoc. Prof. Dr. Cristian Petrescu Ioana Marinescu |
| | | 6 | MOTIVATIONAL DYNAMICS IN YOUTH SPORTS DEVELOPMENT PROGRAMS Prof. Dr. Sorin Vasilescu | Anca Radu Dr. Mihai Florescu |
| | | 7 | THE IMPACT OF CLIMATE CONDITIONS ON MARATHON PERFORMANCE IN EAST AFRICA | Assoc. Prof. Dr. John Mwangi Peter Otieno Samuel Njoroge |
| | | 8 | ANALYSIS OF INJURY PATTERNS IN PROFESSIONAL FOOTBALL LEAGUES OF WEST AFRICA | Dr. Kofi Mensah Assoc. Prof. Dr. Ama Boateng |
| | | 9 | PHYSIOLOGICAL RESPONSES TO HIGH-ALTITUDE TRAINING IN ELITE RUNNERS | Prof. Dr. Tesfaye Bekele Dr. Meron Alemu Hanna Kidane |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|------------------------|---|--|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 2 | Prof. Dr. Kwame Mensah | 1 | THE IMPACT OF URBANIZATION ON SOCIAL BEHAVIOR AND COMMUNITY INTERACTIONS | Nijat Mammadov Leyla Aliyeva Togrul Rustamov |
| | | 2 | SOCIAL MEDIA INFLUENCE ON YOUTH CULTURE AND IDENTITY FORMATION | Assoc. Prof. Dr. Farid Huseynov Aynur Guliyeva |
| | | 3 | GENDER ROLES AND FAMILY DYNAMICS IN MODERN SOCIETY | Prof. Dr. Elchin Safarov Nigar Hasanli |
| | | 4 | THE EFFECTS OF MIGRATION ON CULTURAL INTEGRATION AND SOCIAL COHESION | Dr. Ioana Popescu Alina Ionescu Mihai Dumitrescu |
| | | 5 | EDUCATIONAL INEQUALITIES AND THEIR IMPACT ON SOCIAL MOBILITY | Assoc. Prof. Dr. Sorin Marinescu Elena Georgescu |
| | | 6 | SOCIAL PERCEPTIONS OF HEALTHCARE IN AFRICAN URBAN COMMUNITIES | Prof. Dr. Kwame Mensah Amina Okafor |
| | | 7 | THE ROLE OF TRADITIONAL BELIEFS IN SHAPING MODERN SOCIAL NORMS | Dr. Thabo Nkosi Fatoumata Diallo Assoc. Prof. Dr. Chike Obi |
| | | 8 | YOUTH ENGAGEMENT IN POLITICAL PROCESSES AND CIVIC PARTICIPATION | Prof. Dr. Adebayo Adekunle Nia Kambale Dr. Zuri Mwangi |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|-----------------|---|--|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 3 | Dr. Tamer Fahmy | 1 | THE IMPACT OF URBANIZATION ON SOCIAL RELATIONSHIPS AND COMMUNITY STRUCTURE | Prof. Dr. Ali Rezaei Dr. Mahsa Karimi Hamed Fathi |
| | | 2 | SOCIAL MEDIA AND ITS EFFECTS ON YOUTH IDENTITY FORMATION | Dr. Leila Mohammadi Saeid Tavakoli |
| | | 3 | GENDER ROLES AND FAMILY DYNAMICS IN MODERN IRANIAN SOCIETY | Assoc. Prof. Dr. Narges Ahmadi Fatemeh Hosseini |
| | | 4 | THE ROLE OF EDUCATION IN SOCIAL MOBILITY AND INEQUALITY | Dr. Amir Hossein Zarei |
| | | 5 | CULTURAL HERITAGE AND COLLECTIVE MEMORY IN CONTEMPORARY EGYPT | Prof. Dr. Ahmed El-Sayed Sara Hassan Mona Khalil |
| | | 6 | SOCIAL INEQUALITY AND ACCESS TO HEALTHCARE SERVICES IN URBAN EGYPT | Dr. Tamer Fahmy Assoc. Prof. Dr. Dina Adel |
| | | 7 | YOUTH UNEMPLOYMENT AND ITS SOCIOECONOMIC IMPACT IN KAZAKHSTAN | Zhanar Mukhamedova Dr. Timur Sadykov Prof. Dr. Aigul Bektayeva |
| | | 8 | | |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|------------------------------|---|--|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 4 | Assoc. Prof. Dr. Karim Toumi | 1 | THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON SOCIAL INTERACTIONS AND COMMUNITY DYNAMICS | Amine Bensalem Prof. Dr. Laila Cherifi Nouredine Haddad |
| | | 2 | ETHICAL IMPLICATIONS OF AI-DRIVEN DECISION MAKING IN MODERN SOCIETY | Sofia Khelifi Assoc. Prof. Dr. Karim Toumi |
| | | 3 | SOCIAL MEDIA ANALYTICS AND AI: UNDERSTANDING HUMAN BEHAVIOR IN DIGITAL SPACES | Rania Mansour Dr. Hossam El-Sayed Mohamed Fathi |
| | | 4 | THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SHAPING PUBLIC OPINION AND POLITICAL ENGAGEMENT | Aya Mostafa Assoc. Prof. Dr. Omar Khalil |
| | | 5 | AI-POWERED URBAN PLANNING: TRANSFORMING SOCIETAL INFRASTRUCTURES | Priya Sharma Dr. Anil Gupta Assis. Prof. Dr. Rohit Mehra |
| | | 6 | SOCIAL INEQUALITY AND MACHINE LEARNING: CHALLENGES AND SOLUTIONS | Dr. Karan Singh |
| | | 7 | THE INTERSECTION OF AI, CULTURE, AND SOCIAL NORMS IN DEVELOPING SOCIETIES | Deepa Reddy Prof. Dr. Sandeep Verma |
| | | 8 | AI AND COLLECTIVE HUMAN BEHAVIOR: PREDICTIVE MODELS AND SOCIAL TRENDS | Ananya Joshi Assis. Prof. Dr. Vikram Choudhary |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|---------------------------------|---|--|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 5 | Assis. Prof. Dr. Raghda Mahfouz | 1 | THE IMPACT OF DIGITAL LEARNING TOOLS ON STUDENT ENGAGEMENT IN HIGHER EDUCATION | Prof. Dr. Samir Belkacem Amina Rahmani Karim Boudiaf |
| | | 2 | THE EFFECTIVENESS OF INCLUSIVE EDUCATION STRATEGIES IN PRIMARY SCHOOLS | Assoc. Prof. Dr. Leila Khelifi Nadia Benali |
| | | 3 | TEACHER PERCEPTIONS AND CHALLENGES IN IMPLEMENTING PROJECT-BASED LEARNING | Dr. Mohamed Amr Fatma Hassan Sara Adel |
| | | 4 | THE ROLE OF PARENTAL INVOLVEMENT IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION SUCCESS | Ahmed Khaled Prof. Dr. Mona El-Sayed |
| | | 5 | ASSESSING THE INFLUENCE OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY ON STUDENT ACHIEVEMENT | Assis. Prof. Dr. Raghda Mahfouz Omar Saad |
| | | 6 | INNOVATIVE APPROACHES TO LANGUAGE LEARNING IN RURAL AREAS | Yasmine Farouk Tamer Hussein Hala Abdelrahman |
| | | 7 | EVALUATING THE IMPACT OF TEACHER TRAINING PROGRAMS ON CLASSROOM PERFORMANCE | Prof. Dr. Rajesh Kumar Anita Singh |
| | | | THE USE OF INTERACTIVE LEARNING PLATFORMS TO IMPROVE STEM EDUCATION OUTCOMES | Vikram Joshi Sunita Patel |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|--------------------------------|---|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 6 | Assoc. Prof. Dr. Anna Kowalska | 1 | ADVANCING TRANSLATION PRACTICES IN THE ERA OF DIGITAL INTEGRATION | Maria Ivanova Olga Petrenko |
| | | 2 | INNOVATIVE SUSTAINABILITY APPROACHES IN MODERN CORPORATE MANAGEMENT: A CASE STUDY OF ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND GOVERNANCE (ESG) PRINCIPLES AT NNPC, ABUJA, NIGERIA | Dr. Amina Bello |
| | | 3 | THE INFLUENCE OF SOCIAL SECURITY, PENSIONS, AND INSURANCE ON ECONOMIC DEVELOPMENT: INSIGHTS FROM NIGERIA | Ibrahim Musa |
| | | 4 | POLITICAL PARTIES AND THEIR ROLE IN KNOWLEDGE DECOLONIZATION | Assoc. Prof. Dr. Anna Kowalska |
| | | 5 | COMMUNITY ENGAGEMENT IN ELDERLY SOCIAL SERVICE PROVISION: A STUDY FROM ROMANIA | Andrei Popescu Elena Ionescu |
| | | 6 | EXPLORING LOCAL GOVERNMENT ADMINISTRATION CHALLENGES IN NIGERIA: A THEORETICAL ANALYSIS | Dr. Fatima Abdullahi Dr. Samuel Okoro |
| | | 7 | SPATIAL BETA CONVERGENCE AMONG NEW EU MEMBER STATES BASED ON SOCIO-ECONOMIC INDICATORS | László Kovács |
| | | | | |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|-------------|---|--|---------------------------------|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 7 | Ayesha Khan | 1 | CHALLENGES AND SATISFACTION LEVELS IN USING DIGITAL PAYMENT PLATFORMS | Neha Kulkarni Rohit Deshmukh |
| | | 2 | EMOTIONAL INTELLIGENCE AND ITS IMPACT ON LEADERSHIP PERFORMANCE: A STUDY AMONG MBA STUDENTS IN SANGLI DISTRICT | Sneha Patil Rajat More |
| | | 3 | SOCIO-ECONOMIC INFLUENCES ON DIETARY PATTERNS: A COMPARISON BETWEEN SOUTH ASIA AND G7 COUNTRIES | Ayesha Khan Imran Siddiqui |
| | | 4 | INNOVATIVE GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT THROUGH TECHNOLOGY IN MALAYSIA'S MANUFACTURING SECTOR | Nurul Huda Ahmad Faizal |
| | | 5 | THE EFFECTIVENESS OF TAX UTILIZATION IN PROMOTING NATIONAL DEVELOPMENT | Dewi Lestari Fajar Nugroho |
| | | 6 | DIGITAL TAX ADMINISTRATION IN INDONESIA: ANALYSIS OF EFAKTUR AND E-BUPOT IMPLEMENTATION | Rina Sari Budi Santoso |
| | | 7 | RELATIONSHIP BETWEEN FINANCIAL DEVELOPMENT AND FIRM FINANCING IN THE MENA REGION | Hassan El-Masri Layla Haddad |
| | | 8 | SOCIAL DEVELOPMENT DRIVEN BY ENERGY TRANSITION IN MOROCCO | Youssef Benali Sara El-Fassi |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|---|---|---|--|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 8 | Prof. Dr. Somphone Khammanivong Assis. Prof. Dr. Noy Ketsana | 1 | THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON SME PERFORMANCE AND INNOVATION STRATEGIES | Khamla Phommasone Assoc. Prof. Dr. Bounmy Vongxay Somchit Thammavong |
| | | 2 | SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PRACTICES IN EMERGING MARKETS | Dr. Anong Souvannaphone Visanai Khamla |
| | | 3 | STRATEGIC LEADERSHIP AND ORGANIZATIONAL AGILITY IN THE LAO BUSINESS ENVIRONMENT | Prof. Dr. Somphone Khammanivong Assis. Prof. Dr. Noy Ketsana Sithong Chanthavong |
| | | 4 | THE ROLE OF FINANCIAL TECHNOLOGY IN ENHANCING ENTREPRENEURIAL GROWTH | Mohamed Abdelrahman Assoc. Prof. Dr. Salma Mostafa Dr. Hossam El-Sayed |
| | | 5 | MARKETING INNOVATION AND CUSTOMER ENGAGEMENT IN THE EGYPTIAN RETAIL SECTOR | Rania El-Masry Tamer Fathy |
| | | 6 | CORPORATE GOVERNANCE AND ITS EFFECT ON BUSINESS SUSTAINABILITY IN EGYPT | Prof. Dr. Amr Soliman Heba Fawzy Assis. Prof. Dr. Youssef Hafez |
| | | 7 | DIGITAL MARKETING STRATEGIES AND CONSUMER BEHAVIOR IN INDONESIA | Dr. Indah Kurniawati Rizki Pratama |
| | | 8 | THE INFLUENCE OF ENTREPRENEURIAL ECOSYSTEMS ON STARTUP SUCCESS IN INDONESIA | Assoc. Prof. Dr. Dedi Susanto Fitriani Dewi Budi Santoso |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|---------------------|---|--|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 9 | Dr. Aijan Ismailova | 1 | THE IMPACT OF FOREIGN DIRECT INVESTMENT ON LAO ECONOMIC GROWTH | Prof. Dr. Khamla Phommasak Somphone Vongsa Anousone Phouthasone |
| | | 2 | E-COMMERCE AND CONSUMER BEHAVIOR IN EMERGING MARKETS: A CASE STUDY OF LAOS | Assoc. Prof. Dr. Bounthavy Sisavath Sengdao Phengsavanh |
| | | 3 | MONETARY POLICY EFFECTIVENESS IN LAO PDR: AN EMPIRICAL ANALYSIS | Dr. Ketsana Vannaphone Phouthasone Souvanlasy |
| | | 4 | SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECONOMIC DIVERSIFICATION IN LAOS | Viengkham Pholsena |
| | | 5 | THE ROLE OF MICROFINANCE IN PROMOTING ENTREPRENEURSHIP IN KYRGYZSTAN | Prof. Dr. Aibek Tursunov Elmira Sadykova |
| | | 6 | TRADE LIBERALIZATION AND ITS EFFECTS ON KYRGYZSTAN'S AGRICULTURAL SECTOR | Assis. Prof. Dr. Nurgul Amanbekova Kanat Toktomamatov |
| | | 7 | DIGITAL ECONOMY TRANSFORMATION IN KYRGYZSTAN: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES | Dr. Aijan Ismailova |
| | | 8 | INVESTMENT TRENDS AND ECONOMIC GROWTH IN INDONESIA | Prof. Dr. Putra Santoso Rina Wijayanti Aditya Pranata |

| CUMHURİYET 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|--|---------------------------------|---|---|---|
| October 29, 2025 | | | | |
| ANKARA | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 29 Ekim / Oct 29, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 10 | Assoc. Prof. Dr. Marat Akhmetov | 1 | ANCIENT TRADE ROUTES AND CULTURAL EXCHANGE IN ASIA | Assoc. Prof. Dr. Hiroshi Tanaka Prof. Dr. Priya Raghavan Lec. Nguyen Van Long |
| | | 2 | IMPACT OF COLONIALISM ON SOUTHEAST ASIAN POLITICAL STRUCTURES | Assoc. Prof. Dr. Aisha Rahman Prof. Dr. Somchai Chaiyaporn Dr. David Chen |
| | | 3 | RELIGIOUS TRANSFORMATIONS IN THE MIDDLE EAST FROM 7TH TO 15TH CENTURY | Prof. Dr. Leila Al-Mansouri Assoc. Prof. Dr. Farhad Rezai Lec. Omar Khalid |
| | | 4 | HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN EAST ASIA | Prof. Dr. Min-Joon Park Assoc. Prof. Dr. Ananya Gupta Dr. Chen Wei |
| | | 5 | REVOLUTIONARY MOVEMENTS IN MODERN CENTRAL ASIA | Assoc. Prof. Dr. Marat Akhmetov Prof. Dr. Dilshod Rasulov Lec. Gulnara Abdiyeva |
| | | 6 | ART AND ARCHITECTURE IN THE OTTOMAN EMPIRE | Prof. Dr. Leyla Hassan Dr. Samir Al-Khalifa |
| | | 7 | ENVIRONMENTAL HISTORY AND AGRICULTURAL PRACTICES IN ANCIENT CHINA | Prof. Dr. Li Na Assoc. Prof. Dr. Takeshi Sato Lec. Tran Thi Hoa |
| | | 8 | | |

Contents

| | |
|--|-----|
| ÇOCUKLARDA AKRAN ZORBALIĞININ PSİKOLOJİK ETKİLERİ | 1 |
| ÇOCUKLARDA BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ KULLANIM ARAŞTIRMASI, 2024..... | 10 |
| KOR KUVVETİ VE FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ: AEROBİK EGZERSİZLERİN SEDANTER BİREYLERDEKİ ROLÜ | 20 |
| AEROBİK EGZERSİZLERİN SEDANTER BİREYLERİN VÜCUT KOMPOZİSYONUNA ETKİSİ | 28 |
| KOYUNLARDA ÇİÇEK HASTALIĞINDA PATOLOJİK DEĞERLENDİRMELER | 34 |
| DRAG REDUCTION PERFORMANCE OF PHPA POLYMER IN SMOOTH PIPES | 38 |
| DETERMINATION OF MONTHLY STREAMFLOW THROUGH CINE STREAM USING DATA-DRIVEN MODELS | 49 |
| PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TERNARY BLENDED MORTARS | 60 |
| EVALUATION OF THE EFFECT OF GEOTEXTILE FELT USE ON THERMAL INSULATION PROPERTIES OF MASONRY WALL BLOCK ELEMENT | 76 |
| HAFİF SİLAHLARIN NAMLULARINDA BULUNAN, YİV-SETLERİN AÇILMA METOTLARI VE TEKNİK DEĞERLENDİRMESİ | 87 |
| GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE TÜFEKLERDE ATEŞLEME SİSTEMLERİNİN TEKNOLOJİK EVRİMİ | 98 |
| ANTIOXIDANT AND ANTIFIBROTIC EFFECTS OF SPIRULINA PLATENSIS EXTRACT | 110 |
| MOLECULAR MECHANISMS OF HESPERIDIN IN FIGHTING CANCER..... | 115 |
| OLGU SUNUMU: GENEL ANESTEZİ ALTINDA TEDAVİ EDİLEN DENTAL FOBİK HASTADA PERİODONTAL VE PROTETİK REHABİLİTASYON..... | 130 |
| SELENYUM NANOPARTİKÜLLERİNİN PROSTAT KANSERİNE KARŞI ANTİKANSER POTANSİYELİ VE HEDEFE YÖNELİK İLAÇ TEDAVİSİNDEKİ ROLÜ..... | 141 |
| KUERSETİN İLE ŞARTLANDIRILMIŞ PROSTAT EPİTELYAL HÜCRE ORTAMININ PROSTAT KANSERİ (PC-3) HÜCRELERİ ÜZERİNDEKİ ANTİKANSER ETKİLERİNİN İNCELENMESİ | 150 |
| CROSSROADS OF NUTRITION AND MICROBIOTA: THE EMERGING ROLE OF PROBIOTICS AND FLAVONOIDS | 157 |
| COMPARISON OF <i>BUPLEURUM KURDICUM</i> BOISS AND <i>BUPLEURUM ZOHARII</i> SNOGERUP SPECIES IN TERMS OF MORPHOLOGY AND MICROMORPHOLOGY | 164 |
| SÜRDÜRÜLEBİLİR ARDIŞIK YEŞİL ARITIM (SAYA): BİYOKÖMÜR İLE İZMİR KÖRFEZ SUYUNDAN AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARITILMASI VE İKİNCİL MİKROALGAL ARITIM SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ | 173 |
| YAYGIN OLARAK KULLANILAN GIDA BOYALARI VE ANALİTİK TAYİNLERİ | 192 |
| ANALİTİK PROSEDÜRLERİN YEŞİL PROFİLİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN ARAÇLAR..... | 205 |
| TARIMSAL ÜRETİMDE ZARARLI VE FAYDALI BÖCEKLERİN BİYOÇEŞİTLİLİĞİ ÜZERİNDE BİR DEĞERLENDİRME | 219 |
| AGROEKOSİTEMLERDE KULLANILAN PESTİSİTLERDE KALINTI SORUNU VE ÇEVRESEL ETKİLERİ | 230 |
| SOCIO-CULTURAL AND ECOLOGICAL DIMENSIONS OF GREEN LANDSCAPES IN INDUSTRIAL AREAS ... | 240 |
| AN ANALYSIS OF SCHOOL YARDS IN THE DISTRICT OF TÜRKELİ (SİNOP) IN TERMS OF LANDSCAPE PLANNING AND DESIGN PRINCIPLES..... | 249 |

| | |
|---|-----|
| EVALUATION OF URBAN REINFORCEMENT ELEMENTS IN TERMS OF LANDSCAPE ARCHITECTURE: THE CASE OF TÜRKELİ (SINOP) PROVINCE..... | 264 |
| AN ANALYSIS OF CHILDREN'S PLAYGROUNDS IN THE DISTRICT OF TÜRKELİ (SINOP) IN LINE WITH LANDSCAPE DESIGN PRINCIPLES..... | 283 |
| DEVELOPMENT OF COOLING SYSTEM'S IN-CABINET TEMPERATURE CONTROL AND LIGHTING SYSTEM WITH ARM-BASED STM32F103C8T6..... | 304 |
| DESIGN AND IMPLEMENTATION OF STM32-BASED BLUETOOTH-ENABLED INTELLIGENT TEMPERATURE CONTROL SYSTEM..... | 310 |
| A GOVERNANCE MODEL FOR TRUSTWORTHY AI IN GEOTHERMAL ENERGY: A THEORETICAL FRAMEWORK FOR MODEL CONTEXT PROTOCOLS (MCP's)..... | 316 |
| YOLO-BASED ASSEMBLY LINE MONITORING: REAL-TIME OBJECT DETECTION FOR TASK TRACKING AND PROCESS ANALYSIS..... | 324 |
| SUPPLY CHAIN TRACEABILITY IN INDUSTRY 4.0: TECHNOLOGIES, APPLICATIONS, AND A CASE STUDY OF THE FEKA TRACEABILITY SYSTEM..... | 335 |
| SOĞUK ZİNCİR GEREKSİNİMİ OLAN KIRSAL SAĞLIK OCAĞI İÇİN RÜZGÂR TABANLI HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZİ..... | 343 |
| DETERMINATION OF ANTIMICROBIAL AND ANTI-MRSA ACTIVITY OF <i>HELLEBORUS ORIENTALIS</i> EXTRACTS..... | 360 |
| ENTERPRISE RESOURCE PLANNING IN TÜRKİYE: MODELS, ADOPTION RISKS, AND DOMESTIC SOLUTIONS..... | 361 |
| COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL..... | 363 |
| PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES..... | 364 |
| OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.)VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY..... | 365 |
| CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION..... | 366 |
| INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN..... | 367 |
| REVEALING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NaCl: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE..... | 368 |
| PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY..... | 369 |
| USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS..... | 370 |
| EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET..... | 371 |
| ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT..... | 372 |
| APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES..... | 373 |

| | |
|--|-----|
| CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY | 374 |
| FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION | 375 |
| OPTIMIZING CUSTOMER RELATIONSHIPS THROUGH SOCIAL NETWORK MANAGEMENT | 376 |
| STRATEGIES FOR DETERMINING THE IDEAL ASSET STRUCTURE FOR A COMMERCIAL BANK | 377 |
| OPTIMIZING OF GAS CONSUMPTION IN GAS-BURNER SPACE HEATER | 378 |
| DEVELOPMENT OF AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITION METER..... | 379 |
| A SUPERVISORY SCHEME FOR STEP-WISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS..... | 380 |
| GEOMETRY DESIGN SUPPORTED BY MINIMIZING AND VISUALIZING COLLISION IN DYNAMIC PACKING | 381 |
| FLEXIBLE HEURISTICS FOR PROJECT SCHEDULING WITH LIMITED RESOURCES | 382 |
| INTELLIGENT ABS FUZZY CONTROLLER FOR DIVERSE ROADSURFACES | 383 |
| BIOCONTROL POTENTIAL OF ESSENTIAL OIL FORMULATIONS AGAINST TILAPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS) AND ASSOCIATED STORAGE PESTS..... | 384 |
| IMMUNOGENIC RESPONSE OF OUTER MEMBRANE PROTEINS OF VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS ON GROUPER (EPINEPHELUS FUSCOGUTTATUS) | 385 |
| CHARACTERIZATION AND ENHANCED PRODUCTION OF CELLULASE ENZYMES FROM ENDOPHYTIC FUNGI ISOLATED IN TROPICAL FORESTS | 386 |
| SOMATIC EMBRYOGENESIS FROM LEAF AND NODE EXPLANTS OF BLUE DAISY (FELICIA AMELLOIDES) | 387 |
| STRUCTURAL INSIGHTS INTO THE RESISTANCE OF CAMPYLOBACTER JEJUNI CHAPERONE PROTEINS TO ANTIMICROBIAL PEPTIDES | 388 |
| MICROBIAL COMMUNITY STRUCTURE OF AMMONIA-OXIDIZING ARCHAEA AND BACTERIA IN AEROBIC WASTEWATER BIOREACTORS | 389 |
| SYNTHETIC ELASTIN-BASED COATINGS AS A BIOMIMETIC PLATFORM FOR ENHANCED CELL ADHESION | 390 |
| NEW RECORD OF PARASITE-HOST INTERACTIONS OF DIPLOSTOMUM SPATHACEUM IN ZARAFSHAN RIVER (CENTRAL UZBEKISTAN) | 391 |
| ADVANCES IN QUANTUM ALGORITHMS: SECURITY CHALLENGES AND ETHICAL IMPLICATIONS IN THE QUANTUM COMPUTING ERA | 392 |
| ECO-FRIENDLY ADSORPTION TECHNIQUES FOR WATER POLLUTANT REMOVAL USING NANOCOMPOSITES: SYNTHESIS AND PERFORMANCE OPTIMIZATION | 393 |
| ENHANCING GREEN HYDROGEN PRODUCTION THROUGH BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES | 394 |
| SPATIAL MODELING OF SOIL EROSION IMPACTS ON WATER REGULATION IN THE HIGH ATLAS REGION | 395 |
| DEEP LEARNING-BASED TRAFFIC SIGN RECOGNITION UNDER VARIABLE ENVIRONMENTAL CONDITIONS | 396 |
| DC BUS VOLTAGE CONTROL AND POWER FACTOR IMPROVEMENT USING BIDIRECTIONAL CONVERTERS | 397 |
| OPTIMIZING WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEMS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS | 398 |

| | |
|--|-----|
| BRIDGING THE SKILLS GAP IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS EDUCATION FOR INDUSTRY READINESS IN RIVERS STATE..... | 399 |
| OPTIMIZATION OF SOLAR ENERGY HARVESTING SYSTEMS USING MONTE CARLO SIMULATIONS..... | 400 |
| REMOTE SENSING-BASED SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN EXPANSION IN CASABLANCA (MOROCCO): ENVIRONMENTAL IMPACTS..... | 401 |
| EVALUATION OF GAMMA-RAY AND NEUTRON DISCRIMINATION TECHNIQUES IN SCINTILLATION DETECTORS | 402 |
| MATHEMATICAL MODELING OF OXYGEN TRANSPORT IN HUMAN CIRCULATORY SYSTEMi..... | 403 |
| SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BAMBOO WOOD NANOFIBERS AND THEIR PHOTODEGRADATION EFFECTS ON DYES..... | 404 |
| EXPERIMENTAL AND PROBABILISTIC STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D-PRINTED CONDUCTIVE POLYMERS..... | 405 |
| ANALYSIS OF LAST-MILE TRANSPORTATION ISSUES FACED BY AIRPORT PASSENGERS IN NIGERIA | 406 |
| PSYCHOLOGICAL IMPACT AND PROJECT OUTCOMES: A MODERATED MEDIATION ANALYSIS IN CONSTRUCTION INDUSTRY | 407 |
| YOLOV8-BASED AUTOMATED PAVEMENT CRACK IDENTIFICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES | 408 |
| THERAPEUTIC COUCH DYNAMICS IN MODERN PSYCHOTHERAPY PRACTICES | 409 |
| SUSTAINABLE IRRIGATION METHODS INCORPORATING ANTI-EROSION MEASURES..... | 410 |
| EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE STRENGTH WITH CEMENT PARTIALLY REPLACED BY BLACK CARBON AND TiO ₂ ADDITIVES..... | 411 |
| ASSESSING THE IMPACT OF UNREGULATED SOLID WASTE MANAGEMENT IN KADUNA URBAN AREAS | 412 |
| DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSING IN LOW-INCOME COMMUNITIES | 413 |

ÇOCUKLARDA AKRAN ZORBALIĞININ PSİKOLOJİK ETKİLERİ

Dr.Öğretim Üyesi, Süreyya YİĞİTALP RENÇBER

Batman Üniversitesi, sureyya.rencber@batman.edu.tr - 0000 0003-2812-7110

Doç.Dr. Rukiye ARSLAN

Batman Üniversitesi, rukiye.arslan@batman.edu.tr- 0000 0002 2043 5664

ÖZET

Literatür taraması yöntemiyle gerçekleştirilen bu çalışmada, akran zorbalığının çocukların ruhsal, sosyal ve akademik gelişimleri üzerindeki etkilerini ele alan araştırmalar incelenmiştir. Akran zorbalığının fiziksel, sözel, ilişkisel ve siber biçimlerde görüldüğü; hem mağdurların hem de zorbalık yapan bireylerin psikolojik iyi oluşunu olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Zorbaliğa maruz kalan çocuklarda depresyon, kaygı, düşük benlik saygısı, okuldan uzaklaşma ve sosyal izolasyon gibi duygusal sorunlar yaygınken; zorbalık davranışı gösteren bireylerde ilerleyen dönemlerde antisosyal eğilimlerin arttığı saptanmıştır. Zorbaliğın ortaya çıkmasında aile içi şiddet, empati eksikliği, sosyal kabul ihtiyacı ve iletişim problemleri gibi psikolojik, çevresel değişkenlerin etkili olduğu görülmektedir. Akran zorbalığının çocuklar üzerindeki psikolojik etkilerinin yarattığı travma etkilerinin bıraktığı izlerin toplum sağlığına olumsuz yönden etkilemesine neden olmaktadır. Buna uygun psikososyal destek mekanizmalarının devreye sokulması, toplum sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca akran zorbalığının en sık yaşandığı alanlardan biri olan okullarda, zorbalıkla mücadelede okul temelli müdahale programlarının uygulanması, öğretmen ve aile farkındalığının artırılması, destekleyici bir okul ikliminin oluşmasına yönelik eğitimlerin verilmesi, zorbalığın yaygınlığını azaltmada etkili stratejiler olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çocuk, Akran Zorbaliğı, Akran Zorbaliğının Psikolojik Etkileri

ABSTRACT

This study, conducted through a literature review, examined studies addressing the effects of peer bullying on children's psychological, social, and academic development. It was determined that peer bullying manifests in physical, verbal, relational, and cyber forms and negatively impacts the psychological well-being of both victims and perpetrators. While emotional problems such as depression, anxiety, low self-esteem, withdrawal from school, and social

isolation are common in children exposed to bullying, antisocial tendencies have been found to increase in later life in individuals who engage in bullying behavior. Psychological and environmental variables such as domestic violence, lack of empathy, the need for social acceptance, and communication problems appear to play a role in the emergence of bullying. The traumatic effects of peer bullying on children negatively impact public health. Implementing appropriate psychosocial support mechanisms is crucial for public health. In addition, in schools, where peer bullying is most frequently experienced, implementing school-based intervention programs to combat bullying, increasing teacher and family awareness, and providing training to create a supportive school climate are seen as effective strategies in reducing the prevalence of bullying.

Keywords: Child, Peer Bullying, Psychological Effects of Peer Bullying

1.GİRİŞ

Akran zorbalığı, çocukluk ve ergenlik döneminde en sık görülen şiddet biçimlerinden biri olup, günümüzde küresel bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilmektedir (Espelage, 2015). UNESCO'nun (2022) raporuna göre, dünya genelinde öğrencilerin %30'undan fazlası akran zorbalığına maruz kalmaktadır. Bu durumun, öğrencilerde akademik başarısızlık, okulu terk etme eğilimi ile fiziksel ve zihinsel sağlık üzerinde olumsuz durumların olduğu görüldüğü ifade edilmiştir (UNESCO, 2022). Güç dengesizliğine dayanan, kasıtlı ve tekrarlayıcı saldırgan davranışlar biçiminde ortaya çıkan akran zorbalığı, çocuk ve ergenler arasında önemli bir psikolojik ve sosyal sorun teşkil etmektedir (Espelage, 2015; Demir vd., 2020). Zorbalığa maruz kalan öğrencilerde travma sonrası stres bozuklukları, depresyon, anksiyete, kaygı, kendini küçük ve değersiz görmek ve sosyal dışlanma gibi psikolojik sorunlar gözlenmekte; baş ağrısı, karın ağrısı ve yorgunluk gibi beraberinde fiziksel belirtileride ortaya çıktığı görülmektedir (Hawker vd., 2000; Copeland vd., 2013). Zorbalık davranışlarını erken dönemde tanımak ve doğru şekilde değerlendirmek; ebeveynler, öğretmenler, çocuklar ve psikologlar için kritik önem taşımaktadır (Süner, 2021). Uzun süreli zorbalık deneyimleri, akademik başarısızlık, okula ilgisizlik ve ilerleyen yaşlarda antisosyal davranış riskini artırmaktadır (Olweus, 1993; Ttofi vd., 2011). Bu nedenle, çocuklarda akran zorbalığının psikolojik etkilerinin erken dönemde anlaşılması ve önleyici müdahalelerin geliştirilmesi, hem bireysel sağlığı hem de okul ortamının güvenliğini korumak açısından hayati bir gerekliliktir.

2.AKRAN ZORBALIĞI

Zorbalık, taraflar arasındaki güç dengesizliğine dayanan, güçlü olanın daha zayıf birey üzerinde fiziksel, sözel veya psikolojik baskı kurduğu; mağdurun korku ve acı yaşamasına neden olan, kasıtlı ve tekrarlayıcı saldırgan davranışlar biçiminde tanımlanmaktadır (Nansel vd., 2001). Olweus'a (2013) göre zorbalık, tek seferlik bir olaydan ziyade, bireyin karşısındakini kasıtlı olarak ve tekrarlayan biçimde incitme, acı çektirme ya da kontrol altına alma amacıyla sergilediği saldırgan davranış örüntüsüdür. Zorbalık tanımının ortak özelliklerinde, güç dengesizliği içerisinde tahrik unsurunun olmadan tekrarlanan fiziksel, zihinsel veya duygusal olarak sistematik bir şekilde zorbalık yaparak, hedef kişi üzerinde kaygı ve korkuya neden olma durumu olarak belirtilmiştir. Zorbalık, sözel (örneğin sözlü tehditler, isim takma), fiziksel (örneğin vurma, tekmeleme, mağdurun malına zarar verme) ve ilişkisel zorbalık (örneğin grup dışlama, dedikodu) gibi geleneksel biçimlerde ve internet ve elektronik cihazlar (yani siber zorbalık) gibi geleneksel olmayan biçimler yoluyla ortaya çıkabilmektedir (Menesini, 2017; Olweus, 1993). Akran zorbalığı, akranlar arasındaki çocuk ve ergenlerin, bir bireye veya gruba karşı fiziksel, sözel veya davranışsal biçimlerde saldırgan davranışlar göstermesi durumudur (Demir vd., 2020). Akran zorbalığı, çocukluk ve ergenlik dönemlerinde en yaygın görülen psikososyal sorunlardan biridir ve çocuklar üzerinde istenmeyen fiziksel, duygusal, sosyal ve akademik işlevselliği boyutu üzerinde derin etkiler yaratmaktadır (Arıca, 2011). Akran zorbalığının sürecinde etkilenen ve etkileyen taraflar bulunmaktadır. Zorbalığı yapan, uygulan kişiler "zorba", zorbalık davranışından etkilenen, zorbalığa maruz kalan "kurban" hem zorbalık davranışını uygulayan hem de mağdur olanlar "zorba/kurban", ne zorbalık yapan ne de zorbalığa uğrayanlar "izleyici/nötr/seyirci" konumunda olmak üzere akran zorbalığından etkilenenleri 4 grupta toplandığını görmekteyiz (Menesini vd., 2017; Kurt, 2019). Dünya Sağlık Örgütü'nün 2011 yılında yaptığı araştırmaya göre "43 ülkeden 10-15 yaş aralığındaki çocuk ve ergenlerden akran zorbalığı yapanların oranı %1 ile %36 ve akran zorbalığına maruz kalma oranlarının ise %2 ile %32 arasında olduğu" bildirilmiştir (Currie vd., 2012).

Akran zorbalığına maruz kalma ve zorbalık yapma davranışlarında, cinsiyet ve yaş değişkenlerinin belirleyici unsurlar arasında yer aldığı görülmektedir. Cinsiyete göre fiziksel zorbalığın erkeklerde kızlara oranla daha fazla uygulandıkları görülmektedir (Craig, vd., 2009). Yapılan başka bir meta-analiz çalışmasına göre, doğrudan saldırganlık boyutunda erkeklerde kızlara oranla daha sık rastlandığı, dolaylı saldırganlık boyutunda kızların ve erkeklerin eşit düzeyde olduğu görülmektedir (Card vd., 2008). WHO (2002) tarafından oluşturulan bir modelde akran zorbalığının sebepleri dört grupta toplanmaktadır. Bunlar;

- Bireysel faktörler (benlik saygısı, empati eksikliği, öfke kontrolü);
- Aile faktörleri (aile içi şiddet, ebeveyn tutumları);
- Okul faktörleri (disiplin politikaları, okul iklimi);
- Sosyo-kültürel faktörler (toplumsal normlar, medya etkisi) zorbalığın nedenleri olarak gösterilmiştir.

2.1.Akran Zorbalığın Türleri

Akran zorbalığın türleri literatürde farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Olweus (1993), tarafından zorbalık davranışını doğrudan ve dolaylı zorbalık olmak üzere olmak üzere iki şekilde sınıflandırmıştır. Doğrudan zorbalık türleri; karşı tarafa fiziksel ve sözel olarak istenmeyen davranışlarda bulunmaktadır. Örneğin; vurmak, itmek, tükürmek, küfür etmek, lakap takmak, hakaret etmek vb.gibi görünen ve gözlenebilir davranışlardır.

Dolaylı zorbalık; dedikodu yaymak, dışlamak, sosyal dışlama, oyundan dışlama, uzaklaşma gibi doğrudan gözlenemeyen davranışları içeren zorbalık türü olarak belirtilmektedir (Kapıcı, 2004). Elliott (1997) ise, zorbalık türlerini dört türde sınıflandırmıştır; fiziksel, sözel, duygusal ve cinsel olmak üzere dört gruba ayırmıştır.

Çizelge 1. Zorbalık Türlerinin Sınıflandırılması

| Zorbalık Türü | Türü (Doğrudan / Dolaylı) | Açıklama / Örnekler |
|-------------------------------|---------------------------|---|
| Fiziksel Zorbalık | Doğrudan | Vurma, itme, tekme atma, eşyalarını kırma veya çalma gibi fiziksel güç kullanımı. |
| Sözel Zorbalık | Doğrudan | Hakaret etme, alay etme, lakap takma, tehdit etme veya küçük düşürücü sözler söyleme. |
| Duygusal / İlişkisel Zorbalık | Dolaylı | Birini dışlama, arkadaş grubundan uzak tutma, dedikodu yapma, söylenti yayma. |
| Siber Zorbalık | Dolaylı | Sosyal medyada hakaret etme, ifşa etme, tehdit içeren mesajlar gönderme, dijital ortamda küçük düşürme. |
| Cinsel Zorbalık | Doğrudan veya Dolaylı | Uygunsuz dokunma, cinsel içerikli sözler söyleme, cinsel ima veya paylaşımında bulunma. |

*Yazar tarafından alıntı yapılarak oluşturulmuştur(Olweus, 1993; Rigby, 2002; Crick ve Bigbee(1998); Kochenderfer-Ladd ve Skinner (2002); Korkmaz(2016) ve Pişkin ve Ayas (2007).

3.ÇOCUKLARDA AKRAN ZORBALIGININ PSİKOLOJİK ETKİLERİ

Akran zorbalığı, çocukluk ve ergenlik döneminde sıkça görülen şiddet davranışlarının çocukların aile hayatları, okul koşulları ve akran zorbalığı deneyimlerinin psikolojik iyi oluş düzeylerini etkileyen önemli halk sağlığı sorunu oluşturmaktadır (Espelage, 2013; Cespedes vd., 2023). Akran zorbalığına maruz kalan çocuklarda sağlık sorunlarının daha fazla olduğu belirtilmektedir (Wang,2018). Günümüzde, zorbalığa maruz kalmak veya zorbalık yapmak, bireylerin fiziksel ve ruhsal sağlıklarını olumsuz etkileyebilmekte, yeni sorunların ortaya çıkmasına ve mevcut problemlerin daha da derinleşmesine neden olabilmektedir (Süner, 2021). Çocuklarda akran zorbalığı maruziyetinin, ileriki yaşam süreçlerinde iz bırakarak psikososyal uyumsuzluk ve daha zayıf duygusal bağ kurmanın geçmişte yaşanan zorbalıkla ilişkili olduğu görülmüştür(Vanderbilt vd., 2010). Litaratür bulguları, akran zorbalığı yaşayanların, akranlarına göre daha fazla yüksek risk taşıdığını hem fiziksel hemde psikolojik yönden hastalık belirtilerini daha çok yaşadıkları belirtilmektedir (Güvenir, 2010). Fiziksel belirtiler; baş ağrısı, karın ağrısı, yorgunluk ve yatak ıslatma gibi sorunlar görülürken; psikolojik etkiler arasında depresyon, anksiyete, düşük benlik saygısı, sosyal dışlanma ve akademik başarısızlık gibi çok sayıda olumsuz sonuçların ortaya çıkabilmektedir (Hawker vd., 2000; Copeland vd., 2013; Arseneault, 2018; Moore vd., 2017). Ayrıca,uzun süreli zorbalık deneyimlerinin travma sonrası stres bozukluğu ve intihar düşünceleriyle ilişkili olduğu belirtilmiştir(Espelage vd., 2013). Yapılan başka bir çalışmada, zorbalık yapan ve mağdur konumundaki öğrencilerin diğer akranlara kıyasla ruhsal bozukluklara daha yatkın oldukları ve ilerleyen yaşlarda suç işleme olasılıklarının arttığı bildirilmektedir (Olweus, 1993; Ttofi & Farrington, 2011). Özellikle ilkokulda dört veya daha fazla kez zorbalığa maruz kalan çocukların yetişkinlikte suç işleme riskinin yüksek olduğu; erkek çocuklar söz konusu olduğunda, 24 yaşına geldiklerinde çoğunun en az bir yasal suça karıştığı, bir kısmının ise birden fazla suça dahil olduğu belirlenmiştir (Farrington, 1993). Başka bir çalışmada, ortaokul döneminde zorbalık yapan öğrencilerin, sonraki yıllarda suça karışma ve sabıka kaydı olma oranlarının diğer öğrencilerden daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Renda vd., 2011). Zorbalık yapan bireylerin erken yaşta sigara ve alkol kullanımı, kamu malına zarar verme, olumsuz arkadaşlıklar kurma, düşük akademik performans, okuldan ayrılma ve yeteneklerinin altında işte çalışma gibi riskli davranışlar ortaya çıkmasına neden olmaktadır(Ttofi & Farrington, 2011; Espelage & Swearer, 2003). Ergenlik döneminde yaşanan akran zorbalığının, mağdurda kaygı, yalnızlaşma, depresyon ve psikosomatik belirtiler gibi içselleştirme sorunlarına; ayrıca hiperaktivite, fiziksel ve sözel şiddet davranışların ortaya çıkması ile suça yönelme gibi dışsallaştırma davranışlarına yol açtığı

belirtmiştir(Chrysanthou ve Vasilakis, 2020). Bunun yanı sıra, okula yönelik olumsuz tutumların, okulu sevmeme, okuldan kaçınma, okulda yalnız vakit geçirme, okulu bırakma ve akademik ilgisizlik gibi olumsuz davranışlarla ilişkili olduğu belirtilmektedir. (Batsche vd., 1994; akt. Pişkin, 2002, s. 542; Inamullah & Irshadullah, 2016).

4.AKRAN ZORBALIĞI ÖNLEME YAKLAŞIMLARI

Akran zorbalığının en yaygın olarak okullarda görülmesi nedeniyle, hem mağdur öğrencilerin hem de zorbalık davranışı sergileyen bireylerin kısa ve uzun vadeli duygusal ve sosyal gelişimlerinde ortaya çıkan olumsuzluklarla başa çıkabilmek amacıyla okul temelli zorbalıkla mücadele programları geliştirilmiştir. Akran zorbalığını önlemeye yönelik yaklaşımlar genel olarak bireysel, sınıf düzeyinde ve okul temelli olmak üzere üç ana grupta ele alınmaktadır.

Bireysel yaklaşımlar; Öğrencilerin empati, iletişim ve problem çözme becerilerini geliştirmeye odaklanır.

Sınıf düzeyindeki uygulamalar; Öğretmenlerin rehberliğinde pozitif sınıf iklimi oluşturulmasını hedefler.

Okul temelli yaklaşımlar ise tüm okul personelinin, öğrencilerin ve velilerin dahil edildiği bütüncül politika ve müdahale programlarını içerir (Rigby, 2002). Okul temelli yaklaşımlar: Olumlu Davranışsal Müdahale ve Destek Programları; Sosyal-Duygusal Destek Programları ; Olweus Zorbalık Önleme Programı, NoTrap!, ViSC Projesi ve KiVA'dır. Bu yaklaşımlar, akran zorbalığı mağduriyetinin azaltmakta kullanılan müdahale programlarıdır. Etkin bir önleme yaklaşımı, yalnızca öğrencilerin davranışlarını değil, aynı zamanda okulun kültürünü ve değerlerini de şekillendirmeyi amaçlamalıdır (Smith & Sharp, 1994). Literatürde, zorbalığı azaltmaya yönelik yapılan çalışmaların bireylerin ruhsal iyi oluşunu destekleyebileceği ve ruhsal hastalıkların ortaya çıkma riskini azaltabileceği öne sürülmektedir (Scott,2014). Ayrıca son yıllarda siber zorbalığın artmasıyla birlikte, dijital ortamlarda farkındalık çalışmaları ve güvenli internet kullanımı eğitimleri de önleme stratejilerinin bir parçası haline gelmiştir (Tokunaga, 2010).

5. SONUÇ

Literatür araştırmalarında, akran zorbalığının çocukların psikolojik iyi oluşlarının üzerinde olumsuz etkiler bırakan önemli bir risk faktörü olarak görülmektedir. Zorbalığa maruziyetin kısa ve uzun süreli olumsuz etkiler arasında; depresyon, kaygı, düşük benlik saygısı, sosyal dışlanma, travma sonrası stres belirtileri ve fiziksel rahatsızlıklar gözlenmektedir. Uzun süreli

zorbalık deneyimleri, akademik başarısızlık ve ilerleyen yaşlarda antisosyal davranış riskini artırmaktadır. Bu bulgular, akran zorbalığının yalnızca bireysel değil, aynı zamanda okul ortamı ve toplumsal düzeyde yaygın önemli bir sorun olduğunu görülmektedir. Öncelikle, zorbalığa maruz kalan öğrencilerin empati ve problem çözme becerilerinin geliştirilmesi ve zorbalığa yönelik bilinç ve farkındalık oluşturacak eğitim ve programların oluşturulması sağlanmalıdır. Bununla birlikte, televizyon, internet ve sosyal medya aracılığıyla akran zorbalığına ilişkin farkındalık ve bilinçlendirme çalışmalarının yürütülmesi, çocukların ruhsal sağlığının korunmasına ve dolayısıyla toplum sağlığının güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, zorbalığın en yaygın görüldüğü alanlardan biri olan okullarda, okul ikliminin olumlu ve destekleyici hâle getirilmesi, aile-okul iş birliğinin güçlendirilmesi ve öğretmen ile okul personelinin zorbalık davranışlarına uygun biçimde müdahale etmelerinin sağlanması gerekmektedir

KAYNAKÇA

- Arıcak, O.T. (2011). Siber zorbalık; Gençlerimizi bekleyen yeni tehlike. Kariyer Penceresi (Fatih Üniversitesi Aylık Bülteni), 2(6), 10-12.
- Arseneault, L. (2018). Annual Research Review: The persistent and pervasive impact of being bullied in childhood and adolescence: Implications for policy and practice. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 59(4), 405–421.
- Card, N. A., Stucky, B. D., Sawalani, G. M., & Little, T. D. (2008). Direct and indirect aggression during childhood and adolescence: A meta-analytic review of gender differences, intercorrelations, and relations to maladjustment. *Child Development*, 79(5), 1185–1229. DOI: 10.1111/j.1467-8624.2008.01184.x.
- Cespedes, C. R., Leigh González, C., Rubio, A., Valdebenito, C., Oyanedel, J., Leihy, P., & Fuentealba, S. (2023). The balancing act: How family life, school conditions, and peer bullying affect the well-being of Chilean children—An insight into gender, age, and vulnerability factors.
- Chrysanthou, G. M., & Vasilakis, C. (2020). Protecting the mental health of future adults: Disentangling the determinants of adolescent bullying victimisation. *Social science & medicine* (1982), 253, 112942. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.112942>
- Copeland, W. E., Wolke, D., Angold, A., & Costello, E. J. (2013). Adult psychiatric outcomes of bullying and being bullied by peers in childhood and adolescence. *JAMA Psychiatry*, 70(4), 419–426.
- Craig W, Harel-Fisch Y, Fogel-Grinvald H, Dostaler S, Hetland J, Morton Bs, Molcho M, Mato Mg, Overpeck M, Due P (2009). A Crossnational Profile Of Bullying And Victimization Among Adolescents In 40 Countries. *Journal Public Health*, 54: 216-224.
- Crick. N. R. ve Bigbee, M. A. (1998). Relational and overt forms of peer victimization: A multi informant approach. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*.

- Currie C, Zanotti C, Morgan A, Currie D, Looze M, Roberts C, Samdal O, Smith Orf, Barnekow V (2012). Health Behaviour In School-Aged Children (Hbsc) Study: International Report From The 2009/2010 Survey. Health Policy For Children And Adolescents, No: 6.
- Demir, K. ve Küçük, S. (2020). Akran zorbalığı önleme ve müdahale programlarında güncel yaklaşımlar ve hemşirelik rolleri. Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 3(2), 87- 102.
- Elliott, M. (Ed.). (1997). Bullying: A practical guide to coping for schools. Harlow: Longman. World Health Organization. (2002). World report on violence and health. Geneva: WHO.
- Espelage, D. L. (2015). Ecological theory: Preventing youth bullying, aggression, and victimization. Theory Into Practice, 54(4), 257–264.
- Espelage, D. L., & Holt, M. K. (2013). Suicidal ideation and school bullying experiences after controlling for depression and delinquency. Journal of Adolescent Health, 53(1), S27–S31.
- Espelage, D. L., & Swearer, S. M. (2003). Research on school bullying and victimization: What have we learned and where do we go from here? School Psychology Review, 32(3), 365–383.
- Farrington, D. P. (1993). Understanding and preventing bullying. Crime and Justice, 17, 381–458.
- Güvenir, T. (2010). Okulda akran istismarı. Ankara: Kök Yayıncılık.
- Hawker, D. S., & Boulton, M. J. (2000). Twenty years' research on peer victimization and psychosocial maladjustment: A meta-analytic review of cross-sectional studies. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 41(4), 441–455.
- Inamullah Hm, Irshadullah M, Shah J (2016). An investigation to the causes and effects of bullying in secondary schools of Khyber Pakhtunkhwa. The Sindh University Journal of Education, 45: 67-86.
- Kapıcı EG (2004). İlköğretim öğrencilerinin zorbalığa maruz kalma türünün ve sıklığının depresyon, kaygı ve benlik saygısıyla ilişkisi. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi, 37(1): 1-13.
- Kochenderfer-Ladd, B. J. Ve Skinner, K. (2002). Children's coping strategies: Moderators of the effects of peer victimization? Developmental Psychology, 38, 267-278.
- Korkmaz, A.(2016). Siber zorbalık davranışları sergileme ve siber zorbalığa maruz kalma durumlarının karşılaştırılması. TRT Akademi, 1(2), 620-639.
- Kurt, Z. (2019). İlköğretim 3, 4 ve 5. Sınıf Öğrencilerinde Akran Zorbalığı Ve Sosyal Beceri Arasındaki İlişkiyi Etkileyen Ve Bu İlişkiye Eşlik Eden Faktörler İle Birlikte İncelenmesi (Yayın No:579687) [Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Menesini E, Salmivalli C. Okullarda zorbalık: Bilgi durumu ve etkili müdahaleler. Psychol Health Med. 2017;22:240–53.
- Moore, S. E., Norman, R. E., Suetani, S., Thomas, H. J., Sly, P. D., & Scott, J. G. (2017). Consequences of bullying victimization in childhood and adolescence: A systematic review and meta-analysis. World Journal of Psychiatry, 7(1), 60–76.
- Nansel T, Overpeck M, Pilla R, Ruan W, Simons-Morton B, Scheidt P (2001). Bullying behaviors among US youth: prevalence and association with psychosocial adjustment. Journal of the American Medical Association, 285.

- Olweus, D. (1993). *Bullying at School: What We Know and What We Can Do*. Oxford: Blackwell.
- Olweus, D. (2013). School bullying: Development and some important challenges. *Annual Review of Clinical Psychology*, 9, 751–780.
- Pişkin M (2002). Okul zorbalığı: Tanımı, türleri, ilişkili olduğu faktörler ve alınabilecek önlemler. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 2 (2): 531-562.
- Pişkin, M. Ve Ayas, T. (2007). Akran Zorbalığı Belirleme Ölçeği Ergen Formunun Geliştirilmesi. IX. Ulusal Psikolojik Danışma ve Rehberlik Kongresi. (Dokuz Eylül Üniversitesi. Çeşme: 17–19 Ekim 2007).
- Rigby, K. (2002). *New Perspectives on Bullying*. London: Jessica Kingsley.
- Scott JG, Moore SE, Sly PD, Norman RE (2014) Çocuklarda ve ergenlerde zorbalık: ruhsal hastalık için değiştirilebilir bir risk faktörü. *Avustralya Yeni Zelanda Psikiyatrisi* 48(3):209–212
- Smith, P. K., & Sharp, S. (1994). *School Bullying: Insights and Perspectives*. London: Routledge.
- Süner, A. F., Alpay, E. E. & Ünal, B. (2021). Akran zorbalığına kısa bir bakış: Birinci basamak sağlık çalışanlarına tavsiyeler. *STED*, 30(6), 444-450.
- Tokunaga, R. S. (2010). Following You Home from School: A Critical Review and Synthesis of Research on Cyberbullying Victimization. *Computers in Human Behavior*, 26(3), 277–287.
- Ttofi, M. M., & Farrington, D. P. (2011). Effectiveness of school-based programs to reduce bullying: A systematic and meta-analytic review. *Journal of Experimental Criminology*, 7(1), 27–56.
- UNESCO (2022). International day against violence and bullying at school including cyberbullying. <https://www.unesco.org/en/articles/international-day-against-violenceand-bullying-school-including-cyberbullying>
- Vanderbilt, D., & Augustyn, M. (2010). The effects of bullying. *Paediatrics and child health*, 20(7), 315-320.
- Wang CC, Lin HC, Chen MH, Ko NY, Chang YP, Lin IM, Yen CF. Effects of traditional and cyber homophobic bullying in childhood on depression, anxiety, and physical pain in emerging adulthood and the moderating effects of social support among gay and bisexual men in Taiwan. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2018 May; 22(14):1309-17.

ÇOCUKLARDA BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ KULLANIM ARAŞTIRMASI, 2024

Doç. Dr. Rukiye ARSLAN

Batman Üniversitesi, rukiye.arslan@batman.edu.tr 0000 0002 2043 5664

Dr. Öğr. Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER

Batman Üniversitesi, sureyya.rencber@batman.edu.tr 0000 0003 2812 7110

ÖZET

Günümüz dünyasında bilişim teknolojilerinin kullanımı gerek Türkiye’de gerekse dünyada hızla artmaktadır. Her yaş grubundaki insanlar için bilişim teknolojilerinin kullanımı günlük hayatın vazgeçilmez ve çok kullanılan bir unsur haline gelmiş olup özellikle çocuk ve ergenlerde evde, okulda, vb. yerlerde masaüstü veya mobil cihazlarla internet kullanımının arttığı ve neredeyse her ortamda kullanımının yaygınlaştığı bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada çocuklarda bilişim teknolojileri kullanımı ve kullanma amaçlarının incelenmesi hedeflenmektedir. Çalışma, nitel analiz yöntemlerinden doküman analiz tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın verileri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) internet sitesinde yer alan “Çocuklarda Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2024” verilerinden elde edilmiştir. Elde edilen veriler frekans ve yüzde gibi betimsel istatistikler ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; 6-15 arası çocukların bilişim teknolojilerini en fazla internet kullanımında kullandıkları, erkek çocukların interneti en fazla sosyal medya, e-posta gönderme/alma, oyun oynama veya oyun indirme, internet üzerinden video izleme amacıyla kullandıkları görülmektedir. Kız çocukların ise ödev, öğrenme veya çevrimiçi derslere katılma amacıyla internete girme, mesajlaşma, müzik dinleme veya müzik indirme, mal veya hizmetler hakkında bilgi arama ya da internet üzerinden alışveriş yapma amacıyla kullandıkları görülmektedir. Hem kız hem de erkek çocukların en fazla YouTube, en az ise X isimli sosyal medya platformunu kullandıkları ayrıca daha az ders çalışıyorum ve daha az kitap okuyorum düşüncesinin erkek çocuklarda kız çocuklara oranla daha fazla olduğu ve kız çocuklarında bu iki kategoriye yönelik düşüncelerinin diğer kategorilere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çocuk, Bilişim Teknolojilerinin Kullanımı, TÜİK

ABSTRACT

In today's world, the use of information technologies is rapidly increasing both in Turkey and globally. The use of information technologies has become an indispensable and frequently used element of daily life for people of all ages, and it is known that internet use is increasing, particularly among children and adolescents, via desktop or mobile devices at home, at school, and elsewhere, and its use is becoming widespread in almost every environment. Therefore, this study aims to examine the use of information technologies and their purposes of use in children. The study was conducted using document analysis, a qualitative analysis method. Data for the study were obtained from the "Children's Information Technology Use Survey, 2024" published on the Turkish Statistical Institute (TurkStat) website. The obtained data were evaluated using descriptive statistics such as frequency and percentage. The results show that children aged 6-15 use information technologies most frequently for internet use, while boys use the internet most for social media, sending and receiving emails, playing or downloading games, and watching videos online. Girls, on the other hand, are observed using the internet for homework, learning, or attending online classes, messaging, listening to or downloading music, searching for information about goods or services, or shopping online. It was found that both girls and boys use YouTube the most, and X the least. Furthermore, boys were more likely than girls to think they study less and read less, and girls were more likely to think about these two categories than other categories.

Keywords: Child, Use of Information Technologies, TÜİK

1.GİRİŞ

Günümüz dünyasında bilişim teknolojilerinin kullanımı gerek Türkiye’de gerekse dünyada hızla artmaktadır. Bu cihazlar yaşamın her aşamasında ve çok farklı kullanım amaçları ile kullanılmaktadır. Çünkü günümüzde teknolojik cihazların kullanımı olmadan günlük yaşamı sürdürmek neredeyse imkânsız bir hal almıştır (Kaba ve Doğan, 2021).

Her yaş grubundaki insanlar için bilişim teknolojilerinin kullanımı günlük hayatın vazgeçilmez ve çok kullanılan bir unsur haline gelmiş olup özellikle çocuk ve ergenlerde evde, okulda, vb. yerlerde masaüstü veya mobil cihazlarla internet kullanımının arttığı ve neredeyse her ortamda kullanımının yaygınlaştığı bilinmektedir. Özellikle akıllı telefonlar başta olmak üzere bilişim teknolojilerine ait ürünlerin yaygınlaşmasıyla bu kullanım gün geçtikçe de artmaktadır (Gezgin, 2023; Kaba ve Doğan, 2021; Kaba ve Doğan, 2022).

Çocuklar, bilişim teknolojilerinden tablet, bilgisayar, akıllı telefon gibi cihazlara yaşadıkları çevrede (ev, okul gibi) ve neredeyse hemen hemen her yerde ulaşabilmekte ve bu cihazları oyun oynamak, ödev yapmak, sanal arkadaşlık kurmak, çevirim içi veya dışı sohbet etmek, mailleşmek, alışveriş yapmak vb. gibi pek çok amaçla kullanmaktadır (Aygün vd., 2023; Kaba ve Doğan, 2022). Bu nedenle bu çalışmada çocuklarda bilişim teknolojileri kullanımı ve kullanma amaçlarının incelenmesi hedeflenmektedir.

2.YÖNTEM

Bu çalışma nitel analiz yöntemlerinden doküman analiz tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın verileri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) internet sitesinde yer alan “Çocuklarda Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2024” verilerinden elde edilmiştir. Elde edilen veriler frekans ve yüzde gibi betimsel istatistikler ile değerlendirilmiştir.

3.TARTIŞMA ve BULGULAR

Çalışmanın bulguları; TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) tarafından 2024 yılında gerçekleştirilen “Çocuklarda Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2024” verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bulgularına TÜİK’in internet sitesinden erişilebilir istatistiklere ulaşarak değerlendirmeye alınmıştır (URL1).

Tablo 1: Cinsiyete ve Yaş Grubuna Göre Çocukların Bilişim Teknolojilerinin Kullanım Oranı

| Bilişim teknolojileri | 6-10 Yaş | | 11-15 Yaş | | 6-15 yaş | |
|---------------------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk |
| İnternet kullanımı | 88,1 | 87,7 | 96,4 | 93,0 | 92,2 | 90,3 |
| Sosyal medya kullanımı | 53,8 | 53,3 | 96,4 | 75,1 | 68,1 | 64,0 |
| Cep telefonu/akıllı telefon kullanımı | 65,8 | 66,7 | 96,4 | 84,0 | 76,9 | 75,3 |
| Bilgisayar kullanımı | 47,1 | 44,7 | 96,4 | 52,0 | 52,3 | 48,3 |
| Dijital oyun oynama | 80,6 | 70,6 | 85,0 | 58,7 | 82,8 | 64,8 |

Tablo 1 incelendiğinde; 6-15 arası çocukların bilişim teknolojilerini en fazla internet kullanımında kullandıkları, genel olarak erkek çocukların kız çocuklara göre tüm kategorilerde en fazla yüzdelerle sahip oldukları görülmektedir. Yine bu yaş grubundaki çocuklar arasında bilişim teknolojilerinin kullanımının en az bilgisayar kullanımında olduğu görülmektedir (URL1).

Tablo 2: Cinsiyete ve Yaş Grubuna Göre Düzenli İnternet Kullanan Çocukların İnternet Kullanım Amaçları

| İnternet kullanım amaçları | 6-10 Yaş | | 11-15 Yaş | | 6-15 yaş | |
|--|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk |
| Ödev, öğrenme veya çevrimiçi derslere katılma amacıyla İnternete girme | 64,7 | 68,5 | 80,1 | 86,4 | 72,7 | 77,6 |

| | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-------------|-------------|
| Sosyal medya | 60,5 | 60,8 | 85,8 | 81,6 | 73,6 | 71,4 |
| e-posta gönderme/alma | 2,6 | 2,9 | 25,8 | 20,1 | 14,6 | 11,7 |
| Mesajlaşma | 45,8 | 52,7 | 79,9 | 80,7 | 63,5 | 67,0 |
| Oyun oynama veya oyun indirme | 80,1 | 69,3 | 82,6 | 57,4 | 81,4 | 63,2 |
| Müzik dinleme veya müzik indirme | 49,6 | 58,9 | 76,6 | 86,3 | 63,6 | 72,9 |
| İnternet üzerinden video izleme | 81,1 | 79,9 | 87,3 | 87,0 | 84,3 | 83,5 |
| Mal veya hizmetler hakkında bilgi arama | 31,5 | 31,4 | 57,0 | 61,3 | 44,7 | 46,6 |
| İnternet üzerinden alışveriş yapma | 1,9 | 1,6 | 25,0 | 28,8 | 13,9 | 15,5 |

Tablo 2 incelendiğinde; 6-15 arası çocukların interneti dokuz farklı amaç ile kullandıkları, görülmektedir. Erkek çocukların interneti en fazla sosyal medya, e-posta gönderme/alma, oyun oynama veya oyun indirme, internet üzerinden video izleme amacıyla kullandıkları görülmektedir. Kız çocukların ise ödev, öğrenme veya çevrimiçi derslere katılma amacıyla internete girme, mesajlaşma, müzik dinleme veya müzik indirme, mal veya hizmetler hakkında bilgi arama ya da internet üzerinden alışveriş yapma amacıyla kullandıkları görülmektedir. 6-15 yaş arası çocuklarda oransal olarak en fazla farkın oyun oynama veya oyun indirme kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. Nitekim okul öncesi dönem çocukların yönelik gerçekleştirilen bir çalışmada çocukların %76,7'sinin oyun oynamak, %17,4'ünün video ve müzik dinlemek amacıyla bilişim teknolojilerini kullandıkları belirlenmiştir (Özyürek, 2018).

Tablo 3: Cinsiyete ve Yaş Grubuna Göre Çocukların Sosyal Medya Platformlarını Kullanma Oranı

| Sosyal medya platformları | 6-10 Yaş | | 11-15 Yaş | | 6-15 yaş | |
|---------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk |
| YouTube | 98,3 | 98,6 | 94,7 | 95,2 | 96,1 | 96,6 |
| Instagram | 10,9 | 10,5 | 68,7 | 56,5 | 45,5 | 37,1 |
| X | 0,9 | 0,4 | 9,4 | 6,1 | 6,0 | 3,7 |

| | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|-------------|-------------|
| Facebook | 4,3 | 2,9 | 19,9 | 6,2 | 13,6 | 4,8 |
| TikTok | 11,8 | 11,6 | 34,3 | 38,6 | 25,3 | 27,2 |
| Snapchat | 4,5 | 7,5 | 22,5 | 43,3 | 15,3 | 28,2 |
| Pinterest | 1,6 | 4,3 | 9,7 | 34,3 | 6,5 | 21,6 |

Tablo 3 incelendiğinde; 6-15 arası çocukların yedi farklı sosyal medya platformu kullandıkları görülmektedir. Hem kız hem de erkek çocukların en fazla YouTube, en az ise X isimli sosyal medya platformunu kullandıkları görülmektedir. Bu yaş çocukları arasında dikkat çeken bir diğer bulgu ise kızların erkek çocuklara oranla neredeyse üç kat daha fazla Pinterest isimli sosyal medya platformunu kullandıkları tespit edilmiştir.

Tablo 4: Cinsiyete ve Yaş Grubuna Göre Düzenli Cep Telefonu/Akıllı Telefon Kullanan Çocukların Telefonu Kullanım Amaçları

| Cep telefonu/akıllı telefon kullanım amaçları | 6-10 Yaş | | 11-15 Yaş | | 6-15 yaş | |
|---|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk |
| Konuşma (görüntülü/görüntüsüz) | 62,9 | 66,2 | 87,3 | 87,1 | 76,8 | 77,8 |
| Mesajlaşma | 41,1 | 47,5 | 86,0 | 88,1 | 66,6 | 69,9 |
| Sosyal medya | 60,5 | 60,0 | 86,5 | 81,5 | 75,3 | 71,9 |
| Oyun oynama (çevrimiçi/dışı) | 83,1 | 72,3 | 78,9 | 56,6 | 80,7 | 63,6 |
| Film/dizi/TV yayınları/video izleme | 71,3 | 71,2 | 77,0 | 79,0 | 74,6 | 75,5 |
| Müzik dinleme | 48,6 | 58,7 | 77,4 | 88,1 | 65,0 | 75,0 |
| İnternette gezinme | 66,0 | 62,0 | 90,2 | 87,3 | 79,8 | 76,0 |
| Ders çalışma, ödev/sunum hazırlama | 59,1 | 64,4 | 72,9 | 84,9 | 66,9 | 75,8 |
| Çevrimiçi derse katılma | 11,3 | 12,7 | 18,3 | 18,5 | 15,3 | 15,9 |

Tablo 4 incelendiğinde; 6-15 arası çocukların düzenli cep telefonu/akıllı telefon kullanım amaçları incelendiğinde; erkek çocukların en fazla çevrimiçi/dışı oyun oynamak, kız çocukların ise en fazla görüntülü ve görüntüsüz konuşma amacıyla kullandıkları görülmektedir.

Tablo 5: Cinsiyete ve Yaş Grubuna Göre Çocukların Sadece Kendi Kullanımında Olan Bilişim Teknolojileri Ürünlerinin Oranı

| Bilişim teknolojileri ürünleri | 6-10 Yaş | | 11-15 Yaş | | 6-15 yaş | |
|---|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk |
| Bilgisayar (masaüstü, dizüstü veya tablet) | 35,4 | 32,4 | 38,1 | 36,8 | 36,7 | 34,6 |
| Masaüstü bilgisayar | 5,7 | 3,8 | 14,4 | 8,4 | 10,0 | 6,1 |
| Dizüstü bilgisayar (laptop, netbook vb.) | 9,0 | 7,7 | 16,3 | 15,7 | 12,6 | 11,7 |
| Tablet bilgisayar | 28,8 | 27,3 | 16,3 | 21,7 | 22,7 | 24,6 |
| Cep telefonu/akıllı telefon | 25,1 | 22,2 | 69,0 | 60,2 | 46,7 | 40,9 |
| Akıllı saat | 13,9 | 13,2 | 16,2 | 13,7 | 15,1 | 13,5 |
| Oyun konsolu | 6,4 | 1,8 | 8,6 | 1,4 | 7,5 | 1,6 |
| En az bir bilişim teknolojileri ürünü | 54,0 | 50,2 | 80,1 | 71,1 | 66,9 | 60,5 |

Tablo 5 incelendiğinde; 6-15 arası çocukların sadece kendi kullanımında olan bilişim teknolojileri ürünlerinin oranı incelendiğinde; bu ürünlerin 8 farklı kategoride ele alındığı ve erkek çocukların neredeyse tüm kategorilerde oransal olarak kız çocuklarından yüksek oranlara sahip oldukları görülmektedir. Sadece tablet bilgisayar kategorisinde kız çocukların erkek çocuklara oranla daha yüksek bir orana sahip oldukları görülmektedir. Özyürek (2018), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada okul öncesi dönem çocuklarının %31,4'ünün kendine ait bilgisayarının bulunduğu, %53,5'inin cep telefonu, %34,9'unun tablet bilgisayar ve %11,6'sının bilgisayar kullandığı belirlenmiştir.

Tablo 6: Cinsiyete ve Yaş Grubuna Göre Çocukların Ekran Başında Geçirdiği Sürelerin Neden Olduğu Durumlar Konusundaki Düşünceleri

| Çocukların düşünceleri | 6-10 Yaş | | 11-15 Yaş | | 6-15 yaş | |
|--|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk | Erkek çocuk | Kız çocuk |
| Daha az ders çalışıyorum | 31,4 | 24,3 | 40,5 | 36,8 | 35,9 | 30,5 |
| Ailemle daha az vakit geçiriyorum | 25,0 | 19,7 | 29,6 | 27,8 | 27,3 | 23,7 |
| Daha az kitap okuyorum | 34,8 | 25,4 | 43,2 | 34,0 | 38,9 | 29,6 |
| Daha az uyuyorum | 14,5 | 11,9 | 22,6 | 20,1 | 18,5 | 15,9 |
| Arkadaşlarımla yüz yüze daha az görüşüp daha az oyun oynuyorum | 20,6 | 17,4 | 19,3 | 16,8 | 20,0 | 17,1 |

Tablo 6 incelendiğinde; 6-15 arası çocukların ekran başında geçirdiği sürelerin neden olduğu durumlar konusundaki düşünceleri incelendiğinde; bu düşüncelerin beş farklı kategoride ele alındığı görülmektedir. Bunlar; “Daha az ders çalışıyorum, ailemle daha az vakit geçiriyorum, daha az kitap okuyorum, daha az uyuyorum ve arkadaşlarımla yüz yüze daha az görüşüp daha az oyun oynuyorum” şeklindedir. Erkek çocukların bu kategorilerin hepsinde kız çocuklara oranla daha yüksek oranlara sahip oldukları görülmektedir. Özellikle daha az ders çalışıyorum ve daha az kitap okuyorum düşüncesi erkek çocuklarda kız çocuklara oranla daha fazla olduğu ancak kız çocuklarında bu iki kategoriye yönelik düşüncelerinin diğer kategorilere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmanın bulgular bu araştırmayı destekler nitelikte olup çocuk ve ergenlerin sadece eğlenmek, sosyalleşmek ya da bilgi edinmek amacıyla kullandıkları bilişim teknolojilerinin bu amaçların dışında kalan siber zorbalık gibi bazı olumsuz durumlarla da karşılaşmalarına neden olduğunu ortaya koymuştur (Burnukara ve Uçanok, 2010).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sonuç olarak; 6-15 arası çocukların bilişim teknolojilerini en fazla internet kullanımında kullandıkları, erkek çocukların interneti en fazla sosyal medya, e-posta gönderme/alma, oyun oynama veya oyun indirme, internet üzerinden video izleme amacıyla kullandıkları görülmektedir. Kız çocukların ise ödev, öğrenme veya çevrimiçi derslere katılma amacıyla internete girme, mesajlaşma, müzik dinleme veya müzik indirme, mal veya hizmetler hakkında bilgi arama ya da internet üzerinden alışveriş yapma amacıyla kullandıkları görülmektedir. Hem kız hem de erkek çocukların en fazla YouTube, en az ise X isimli sosyal medya platformunu kullandıkları ayrıca daha az ders çalışıyorum ve daha az kitap okuyorum düşüncesinin erkek çocuklarda kız çocuklara oranla daha fazla olduğu ve kız çocuklarında bu iki kategoriye yönelik düşüncelerinin diğer kategorilere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda ebeveynlere ve eğitimcilere şunlar önerilmektedir:

- Ebeveynlerin ve eğitimcilerin çocukların bilişim teknolojilerini kullanma sürelerini ve amaçlarını göz önünde bulundurarak mevcut teknolojilerin doğru kullanımı için onları bilgilendirmeler,
- Bilişim teknolojilerinin yaşlarına uygun olanları doğru amaçla kullanmaları için denetleme mekanizmaları oluşturmalar,
- Çevrimiçi ve dışı kullanım sürelerini ve amaçlarını inceleyerek onların yaş ve gelişim düzeyine uygun filtreleme yöntemleri kullanmaları önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aygün, A., Ulu, E. & Pekşen Akça, R. (2023). “A Research on Nomophobia: High School Students Example” International Social Sciences Studies Journal, (e-ISSN:2587-1587) Vol:9, Issue:116; pp:8649-8656. DOI: <http://dx.doi.org/10.29228/sss.72778>
- Burnukara, P., & Uçanok, Z. (2010). Ergenlerin Bilgi ve İletişim Teknolojileri Kullanım Olanakları İle Sanal Ortamda Meydana Gelen Zorbalığa İlişkin Betimsel Bir İnceleme. Toplum ve Sosyal Hizmet, 21(2), 47-62.
- Gezgin, D. M. (2023). Çocuklarda Problemlili Teknoloji Kullanımı, Olumsuz Etkileri ve Çözüm Önerileri. Paradigma Akademi Basın Yayın Dağıtım.
- Kaba, İ., & Doğan, T. (2021). Bilişim Teknolojileri Kullanım Ölçeği: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. Turkish Studies-Educational Sciences, 16(3).
- Kaba, İ. & Doğan, T. (2022). Ergenlerde bilişim teknolojileri kullanımının öz-belirleme kuramı perspektifinde incelenmesi. TEBD, 20(3), 701-729. <https://doi.org/10.37217/tebd.1079665>
- Özyürek, A. (2018). Okul öncesi çocukların bilgisayar teknolojileri kullanımının annelerin görüşlerine göre incelenmesi. Çocuk ve Gelişim Dergisi, 2(2), 1-12.
- URL1: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Cocuklarda-Bilisim-Teknolojileri-Kullanim-Arastirmasi-2024-53638> Erişim tarihi: 21.10.2025

KOR KUVVETİ VE FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ: AEROBİK EGZERSİZLERİN SEDANter BİREYLERDEKİ ROLÜ

Prof. Dr., Umut CANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/Spor Bilimleri Fakültesi,
ucanli@nku.edu.tr - 0000-0001-8603-3492

ÖZET

Bu araştırmada sedanter bireylere yönelik uygulanan aerobik temelli egzersiz programının katılımcıların kor kuvveti ve fonksiyonel hareket kapasitesine etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Araştırmaya gönüllü olarak 40 sedanter birey (yaş = 48,42±6,44; boy uzunluğu = 169,25±5.68) katılmıştır. Araştırma grupları randomize olarak iki gruba ayrılmıştır. Araştırma grupları içerisinde eşit sayıda kadın ve erkek katılımcılar bulunmaktadır. Her iki grupta da 10 erkek ve 10 kadın olmak üzere toplam 20 katılımcı bulunmaktadır. Bir grup kontrol grubu, bir grup ise aerobik grup olarak isimlendirilmiştir. Kontrol grubu normal standart yaşamına devam ederken, aerobik grup ise haftada 3 gün ortalama 50-60 dakika arası süren aerobik egzersizlere katılım göstermiştir. Araştırmada ön test-son test model kullanılmıştır. Araştırma 8 hafta boyunca devam etmiştir. Araştırmada katılımcıların kor kuvveti dayanıklılığı yaş düzeylerine uygun uluslararası bir test ile belirlenmiştir. Katılımcıların fonksiyonel hareket kapasitesi değerlerinin belirlenmesinde ise FMS test bataryası kullanılmıştır. Gruplar arasındaki değişimin belirlenmesi bağımsız örneklem t-testi kullanılmıştır ve test öncesinde değişkenlere fark testi yapılmıştır. Araştırma bulgularında ise; hem kor kuvveti dayanıklılığı hem de fonksiyonel hareket kapasitesi değerlerindeki değişimin aerobik grup lehine olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Buradan hareket ile aerobik temelli egzersiz uygulamalarının sedanter bireylerde kor kuvveti dayanıklılığı ve fonksiyonel hareket kapasitesinde önemli gelişmeler sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: FMS, kuvvet, egzersiz

1. GİRİŞ

Düzenli egzersizin sağlığı geliştirdiği ve kronik hastalıklara ilişkin birçok risk faktörünü azalttığı iyi bilinmektedir (7). Genellikle egzersiz katılımı, direnç (ağırlık) egzersizleri ile aerobik egzersizlerin ayrı ayrı yapıldığı geleneksel bir yaklaşıma dayanır. Bu egzersiz yöntemlerinin kombinasyonu, hem sedanter hem de fazla kilolu bireylerde vücut kompozisyonunu ve kardiyovasküler uygunluğu geliştirmektedir (20,21,34,36). Bu sağlık yararlarına rağmen, Kanadalı yetişkinlerin yaklaşık %47'si haftada bir günden fazla fiziksel aktiviteye katılmamakta ve %85'i Kanada'nın yeni fiziksel aktivite önerilerini karşılamamaktadır (12). Fiziksel aktiviteye katılımın düşük olmasının olası nedenleri arasında; spor salonu ekipmanlarına veya tesislerine erişim zorlukları ve zaman yetersizliği gibi engeller yer almaktadır (18,23).

Ayrıca birçok insan, fiziksel aktivitenin kendisini zaman alıcı bir uğraş olarak görmektedir; buna ek olarak spor salonuna gidiş-geliş süresi gibi ek zaman harcamaları da caydırıcı olmaktadır. Bu tür engeller, bireylerin fiziksel aktivitede bulunmalarını zorlaştırmakta ve bu nedenle egzersizin olumlu sağlık faydalarından yararlanmalarını engellemektedir (10,22). Zaman açısından verimli olmasa da, kondisyonu geliştirmek amacıyla kullanılan alternatif egzersiz türlerinden biri devre antrenmanıdır. Tipik bir devre antrenmanı, direnç egzersizlerinin dış yükler kullanılarak, egzersizler arasında çok kısa dinlenme aralıklarıyla ardışık biçimde yapılmasını içerir (31). Ancak bu antrenman tarzı, zaman faktörünü tam anlamıyla çözümlenmemektedir; çünkü egzersiz seanslarının süresi, direnç ve aerobik antrenmanların birlikte uygulandığı seanslara benzerdir. Son yıllarda yüksek yoğunluklu aralıklı antrenman (HIIT), zaman açısından verimli ve etkili bir yöntem olması nedeniyle, aerobik/anaerobik kapasiteyi ve genel sağlığı geliştirmedeki başarısı sayesinde popülerlik kazanmıştır (15,24,25). Ancak bu zaman açısından verimli fakat yoğun antrenmanlar, genellikle koşu veya bisiklet gibi egzersiz türlerinde maksimalin üzerindeki eforları (supramaksimal) içermektedir. Buna karşın, çok az ya da hiç dinlenme verilmeden yapılan, vücut ağırlığına dayalı direnç egzersizlerinin benzer şekilde zaman açısından verimli bir antrenman biçiminde uygulanmasının, hem kardiyovasküler uygunluğu hem de kas kuvveti ve dayanıklılığını geliştirip geliştirmediği henüz tam olarak anlaşılmamıştır.

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, tek setten oluşan tüm vücut aerobik direnç antrenmanının (her biri 20 saniyelik 8 set, setler arasında 10 saniye dinlenme — Tabata protokolü) hafif dış yüklerle birlikte vücut ağırlığı egzersizleri kullanılarak uygulanmasının, rekreatif olarak aktif kadınlarda kardiyovasküler uygunluğu geleneksel dayanıklılık antrenmanına benzer şekilde geliştirdiği, ancak yalnızca interval (aralıklı) grup üyelerinin kas dayanıklılığında artış gösterdiği ortaya konmuştur (27). Bu yüksek yoğunluklu egzersiz formatı, birçok farklı antrenman protokolüne uyarlanabilir ve özel fitness ekipmanları kullanılmadan, yalnızca vücut ağırlığına dayalı egzersizler (örneğin squat, lunge ve burpee) ardışık olarak, egzersizler veya setler arasında kısa dinlenme aralıkları verilerek uygulanabilir.

Bununla birlikte, söz konusu önceki çalışma, interval antrenmanını direnç ve aerobik egzersizlerin kombinasyonu ile karşılaştırmamıştır. Dolayısıyla, tüm vücut aerobik direnç antrenmanının, geleneksel direnç + aerobik antrenman kombinasyonuna benzer biçimde aerobik/anaerobik kapasiteyi ve kas kuvveti ile dayanıklılığını geliştirip geliştirmediği halen bilinmemektedir.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Tasarımı ve Katılımcılar

Çalışmaya başlamadan önce etik kurul onayı alınmıştır. Bu çalışma için etik onay, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan alınmıştır. Çalışma, Helsinki Bildirgesi ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür (Shrestha ve Dunn, 2019).

Üniversitede çalışan akademik ve idari personel ile Tekirdağ ilinde yaşayıp dahil edilme kriterlerini karşılayan her birey gönüllü olarak çalışmaya katılmıştır.

Dahil edilme kriterleri şunlardı:

- 40–60 yaş aralığında olmak,
- Fiziksel olarak bağımsız olmak,
- Kardiyak, ortopedik veya kas-iskelet sistemi disfonksiyonu bulunmamak,
- Çalışma başlamadan önceki son 5 ay içinde haftada birden fazla düzenli fiziksel aktiviteye katılmamış olmak.

Hariç tutulma kriterleri ise şunlardı:

- Son 6 ay içinde kronik ayak bileği instabilitesi veya alt ekstremitte kas-iskelet yaralanması geçirmiş olmak,
- Hormon replasman tedavisi almak,
- Kontrolsüz diyabet veya hipertansiyon tanısına sahip olmak.

Tüm bu koşulları sağlayan ve araştırma sürecini tamamlayan örneklem grubu, yaş ortalaması $48,42 \pm 6,44$ olan toplam 40 gönüllü bireyden oluşmuştur. Bu katılımcıların 20'si erkek, 20'si kadındır.

2.2. Veri Toplama

2.2.1. Araştırma modeli

Araştırma deneysel model türlerinden gerçek deneysel modeldir. Gerçek Deneme Modelleri, bilimsel değeri en yüksek araştırmalar, gerçek deneme modelleri ile yapılan araştırmalardır. Gerçek deneme modellerinin ortak özellikleri: Birden çok grup kullanılması, grupların yansız atanmasıdır. Bundan dolayı da her deneme modelinde en az bir deney, bir de kontrol grubu bulunur. Kendi içerisinde 3'e ayrılır; Ön test-Son test Kontrol Gruplu Model: Bu modelde yansız atama ile oluşturulmuş iki grup bulunur. Bunlardan biri deney, diğeri kontrol grubu olarak kullanılır. Her iki gruptan da hem deney öncesinde, hem de sonrasında ölçüm alınır. Bu modelde en önemli nokta, deney öncesi ölçümler arasında anlamlı farklar bulunması durumunda önlemler alınması gerekliliğidir (28).

2.2.2. Fonksiyonel Hareket Tarama Ölçüm Protokolü

Gray Cook, Lee Burton ve Keith Fields tarafından geliştirilen Fonksiyonel Hareket Tarama (FMS)TM sistemi, sporcularda potansiyel yaralanma riskinin ve bireylerin hareket paterni kalitesini belirlenmesinde, nöromüsküler kontrolün zayıflığının değerlendirilmesinde ve atletik performansın geliştirilmesinde kullanılan sistemdir. Uzman eşliğinde, bir bireyin temel hareket modellerini değerlendirmesine izin vermeye çalışan bir tarama sistemidir. Böyle bir tarama sistemi ayrıca, yaralanmayı öngörebilmesi veya ameliyattan sonra rehabilitasyonun tamamlanmasının ardından spora dönmeye hazır olup olmadığını belirlenmesine yardımcı olacak çok önemli bir araç sağlayabilir (29).

Hareket taramasının amacı, aşağıdakiler dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, bireylerin çeşitli şekillerde eğitim ve rehabilite etme yöntemlerini değerlendirmede yol gösteren bir araç olabilir;

- Fiziksel aktivite seviyesini korumaya veya arttırmaya çalışan risk altındaki bireylerin belirlenmesi.
- Temel hareket kalıplarını normalleştirmek veya iyileştirmek için düzeltici egzersizi sistematik olarak kullanarak program tasarımına yardımcı olmak.
- Değişen yaralanma durumu veya kondisyon seviyeleri varlığında ilerlemeyi ve hareket modeli gelişimini izlemek için sistematik bir araç sağlamak.
- İstatistiksel gözlem için derecelendirme ve sıralama hareketine izin verecek fonksiyonel bir hareket temel çizgisi oluşturmak (Cook ve diğ., 2014).

Fonksiyonel Hareket Tarama testi 7 farklı temel hareketten oluşmaktadır (derin çömelme, engelli adım alma, tek çizgide adım alma, omuz mobilitesi, aktif düz bacak kaldırma, gövde stabilitesi şınav, rotasyon stabilitesi). FMS için puanlama dört farklı olasılıktan oluşur. Puanlar sıfırdan üçe kadar değişir, üç mümkün olan en iyi puandır. FMS testinden alınacak en yüksek puan 21'dir. 14 puanın altında bulunan bireyler sakatlık riski taşıyabilmektedirler (29).

2.2.3. Kor Stabilite Performans Ölçümü

Kor stabilite performans ölçümünde Mackenzie (30) tarafından geliştirilen protokolden yararlanılmıştır. Spora özgü kor kas kuvvet ve stabilite plank testinin geçerlilik ve güvenilirlik (%95, 0,94-0,99) çalışması Tong ve ark. (2014) tarafından yapılmıştır. 180 saniyelik süreyi kapsayan bu test sporcuların kor kuvvet ve kor stabilite gelişimini gözlemlemek amacıyla kullanılır. Testin yapılabilmesi için düz bir zemin, mat, kronometre ve bir yardımcı gereklidir. Yardımcının görevi sporcuyu yapılacak bir sonraki hareket için ikaz etmektir. Test 60 saniye plank vaziyetinde durarak başlar ve 15 saniyelik kısımlarda eş zamanlı kol ve bacaklarını kaldırarak (sağ kol-sol bacak gibi) pozisyonunu korumaya çalışır. Sporcu son 30 saniyelik bölümde başlangıç pozisyonuna (plank) geçerek 180 saniyelik testi tamamlar.

2.2.4. Prosedür

Örneklem grubunun 20 erkek, 20 kadın katılımcıdan oluşmaktadır. Katılımcılar randomize olarak 2 grubu ayrılmıştır. Bu gruplar; Aerobik egzersiz grubu ve kontrol grubu olarak isimlendirilmiştir. Aerobik egzersiz grubuna 8 hafta boyunca haftada 3 gün ortalama 1 saat bireysellik ilkesi dikkate alınarak aerobik egzersizler uygulanmıştır. Ön testlerden elde edilen veriler neticesinde egzersiz programları tasarlanmıştır. İki gruba da 8 hafta sonunda son testler uygulanmıştır.

2.2.5. İstatistiksel Analiz

Veriler, SPSS v.18.0 istatistik programı (SPSS Inc., Chicago, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir. Anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlenmiştir. Herhangi bir analiz yapılmadan önce, tüm veriler, Normallik açısından Shapiro-Wilk testi ile, kontrol edilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler, ortalama (mean) ve standart sapma (SD) olarak sunulmuştur. Değişkenler arasında farklılığın belirlenmesinde bağımsız örneklem t-testi analizi kullanılmıştır.

3.BULGULAR

Tablo 1. Değişkenlere ait tanımlayıcı veriler

| Değişkenler | Gruplar | N | Ortalama | Ss |
|-----------------|---------|----|----------|-------|
| Ön FMS | Kontrol | 20 | 12,58 | 2,71 |
| | Aerobik | 20 | 10,93 | 2,32 |
| Son FMS | Kontrol | 20 | 12,94 | 3,49 |
| | Aerobik | 20 | 12,75 | 2,67 |
| Ön Kor kuvveti | Kontrol | 20 | 86,52 | 53,56 |
| | Aerobik | 20 | 53,00 | 40,81 |
| Son Kor kuvveti | Kontrol | 20 | 76,43 | 53,88 |
| | Aerobik | 20 | 102,99 | 51,68 |

Tablo 2. Değişkenler arasındaki farklılığı gösteren veriler

| Değişkenler | Gruplar | N | Ortalama | Ss | t | p |
|------------------|---------|----|----------|-------|--------|------|
| Kor kuvveti (sn) | Kontrol | 20 | -10,09 | 29,37 | -4,923 | 0,00 |
| | Aerobik | 20 | 49,99 | 40,21 | | |
| FHT toplam | Kontrol | 20 | 0,35 | 1,76 | -2.201 | 0,03 |
| | Aerobik | 20 | 1.81 | 2.04 | | |

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sedanter kadınlarda, yalnızca vücut ağırlığı egzersizleri kullanılarak uygulanan tüm vücut aerobik direnç antrenmanının zaman açısından etkili olduğunu gösteren kanıtlardan biri, 5 haftalık vücut ağırlığıyla yapılan devre (circuit) antrenmanı sonrasında kardiyorespiratuvar (kalp-solunum) uygunlukta %11'lik bir artış gözlemlenmesidir. Katılımcılarımız, egzersizler ve setler arasında çok az veya hiç dinlenme vermeden ağırlıklı olarak direnç egzersizleri (örneğin squat, lunge, şnav vb.) uygulamış ve buna rağmen, önceki devre antrenmanı araştırmalarında da bildirildiği üzere, kardiyorespiratuvar uygunlukta belirgin bir gelişme göstermiştir (6,14,27,28,37).

Dikkat edilmelidir ki, katılımcılarımız düşük yoğunluklu kardiyovasküler egzersizleri (örneğin geleneksel dayanıklılık egzersizleri) büyük ölçüde uygulamamışlardır; ancak supramaksimal yoğunlukta kısa süreli egzersizler gerçekleştirmişlerdir. Bu tür egzersizlerin, literatürde kardiyovasküler ölçümlerde artış sağladığı sürekli olarak gösterilmiştir (16,25).

Buna karşın, kombine antrenman (COMBINED) grubunda VO_2 peak değerinde artış gözlenmemiştir; bu durum, aslında şaşırtıcı değildir. Haftada üç kez, 5 hafta boyunca maksimum kalp atım hızının %80'inde 15 dakikalık aerobik egzersiz yapmak, daha önce sedanter olan kadınlarda bile kardiyorespiratuvar uygunlukta olumlu adaptasyonları tetiklemek için yetersiz olabilir. Daha önce yapılan bir çalışma, aerobik ve direnç antrenmanlarının kombinasyonunun kardiyorespiratuvar adaptasyonları olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir (17); ancak diğer bazı araştırmalar, daha yüksek yüklerle yapılan düşük tekrar sayılı setlerde (29) ve bu çalışmayla benzer tekrar ve ağırlık aralıklarında (34) böyle bir olumsuz etkinin görülmediğini rapor etmiştir. Dolayısıyla, mevcut çalışmamızda kombine antrenman grubunda aerobik adaptasyon eksikliğinin, büyük olasılıkla yetersiz antrenman uyarımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Alemdaroglu U. The relationship between muscle strength, anaerobic performance, agility, sprint ability and vertical jump performance in professional basketball players. *J Hum Kinet* 31: 149–158, 2012.
2. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.
3. Anderson FC, Pandy MG. Individual muscle contributions to support in normal walking. *Gait Posture* 17: 159–169, 2003.
4. Babcock L, Escano M, D'Lugos A, Todd K, Murach K, Luden N. Concurrent aerobic exercise interferes with the satellite cell response to acute resistance exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 302: R1458–R1465, 2012.
5. Bar-Or O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med* 4: 381–394, 1987.
6. Beckham SG, Earnest CP. Metabolic cost of free weight circuit weight training. *J Sports Med Phys Fitness* 40: 118–125, 2000.
7. Blair SN, Kohl HW III, Paffenbarger RS Jr, Clark DG, Cooper KH, Gibbons LW. Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA* 262: 2395–2401, 1989.
8. Brzycki M. Assessing strength. *Fitness Manage* 16: 34–37, 2000.
9. Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, Ragg KE, Ratamess NA, Kraemer WJ, Staron RS. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: Specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 88: 50–60, 2002.
10. Chao D, Foy CG, Farmer D. Exercise adherence among older adults: Challenges and strategies. *Control Clin Trials* 21: 212S–217S, 2000.

11. Chtara M, Chaouachi A, Levin GT, Chaouachi M, Chamari K, Amri M, Laursen PB. Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res* 22: 1037–1045, 2008.
12. Colley RC, Garriguet D, Janssen I, Craig CL, Clarke J, Tremblay MS. Physical activity of Canadian adults: Accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep* 22: 7–14, 2011.
13. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, Nieman DC, Swain DP; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1334–1359, 2011.
14. Gettman LR, Ward P, Hagan RD. A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc* 14: 229–234, 1982.
15. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, Raha S, Tarnopolsky MA. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 575: 901–911, 2006.
16. Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: A little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev* 36: 58–63, 2008.
17. Glowacki SP, Martin SE, Maurer A, Baek W, Green JS, Crouse SF. Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Med Sci Sports Exerc* 36: 2119–2127, 2004.
18. Godin G, Desharnais R, Valois P, Lepage L, Jobin J, Bradet R. Differences in perceived barriers to exercise between high and low intenders: Observations among different populations. *Am J Health Promot* 8: 279–285, 1994.
19. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 45: 255–263, 1980.
20. Ho SS, Dhaliwal SS, Hills AP, Pal S. The effect of 12 weeks of aerobic, resistance or combination exercise training on cardiovascular risk factors in the overweight and obese in a randomized trial. *BMC Public Health* 12: 704, 2012.
21. Ho SS, Radavelli-Bagatini S, Dhaliwal SS, Hills AP, Pal S. Resistance, aerobic, and combination training on vascular function in overweight and obese adults. *J Clin Hypertens (Greenwich)* 14: 848–854, 2012.
22. Jaffee L, Lutter JM, Rex J, Hawkes C, Bucaccio P. Incentives and barriers to physical activity for working women. *Am J Health Promot* 13: 215–218, 1999.
23. Kimm SY, Glynn NW, McMahon RP, Voorhees CC, Striegel-Moore RH, Daniels SR. Self-perceived barriers to activity participation among sedentary adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 38: 534–540, 2006.
24. Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, Jung ME, Gibala MJ. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol* (1985) 111: 1554–1560, 2011.

25. MacPherson RE, Hazell TJ, Olver TD, Paterson DH, Lemon PW. Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* 43: 115–122, 2011.
26. Marx JO, Ratamess NA, Nindl BC, Gotshalk LA, Volek JS, Dohi K, Bush JA, Gomez AL, Mazzetti SA, Fleck SJ, Hakkinen K, Newton RU, Kraemer WJ. Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med Sci Sports Exerc* 33: 635–643, 2001.
27. McRae G, Payne A, Zelt JG, Scribbans TD, Jung ME, Little JP, Gurd BJ. Extremely low volume, whole-body aerobic-resistance training improves aerobic fitness and muscular endurance in females. *Appl Physiol Nutr Metab* 37: 1124–1131, 2012.
28. Monteiro AG, Alveno DA, Prado M, Monteiro GA, Ugrinowitsch C, Aoki MS, Picarro IC. Acute physiological responses to different circuit training protocols. *J Sports Med Phys Fitness* 48: 438–442, 2008.
29. Nelson AG, Arnall DA, Loy SF, Silvester LJ, Conlee RK. Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys Ther* 70: 287–294, 1990.
30. Niewiadomski W, Laskowska D, Gasiorowska A, Cybulski G, Strasz A, Langfort J. Determination and prediction of one repetition maximum (1RM): Safety considerations. *J Hum Kinet* 19: 109–120, 2008.
31. Paoli A, Pacelli F, Bargossi AM, Marcolin G, Guzzinati S, Neri M, Bianco A, Palma A. Effects of three distinct protocols of fitness training on body composition, strength, and blood lactate. *J Sports Med Phys Fitness* 50: 43–51, 2010.

AEROBİK EGZERSİZLERİN SEDANTER BİREYLERİN VÜCUT KOMPOZİSYONUNA ETKİSİ

Prof. Dr., Umut CANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/Spor Bilimleri Fakültesi,
ucanli@nku.edu.tr - 0000-0001-8603-3492

ÖZET

Bu araştırmada sedanter bireylere yönelik uygulanan aerobik temelli egzersiz programının katılımcıların vücut kompozisyonu değerlerinde nasıl bir değişim olacağını belirlemek amaçlanmıştır. Araştırmaya gönüllü olarak 40 sedanter birey (yaş = 48,42±6,44; boy uzunluğu = 169,25±5,68) katılmıştır. Araştırma grupları randomize olarak iki gruba ayrılmıştır. Araştırma grupları içerisinde eşit sayıda kadın ve erkek katılımcılar bulunmaktadır. Her iki grupta da 10 erkek ve 10 kadın olmak üzere toplam 20 katılımcı bulunmaktadır. Bir grup kontrol grubu, bir grup ise aerobik grup olarak isimlendirilmiştir. Kontrol grubu normal standart yaşamına devam ederken, aerobik grup ise haftada 3 gün ortalama 50-60 dakika süren aerobic egzersizlere katılım göstermiştir. Araştırmada ön test-son test model kullanılmıştır. Araştırma 8 hafta boyunca devam etmiştir. Araştırmada katılımcıların vücut kompozisyonu değişkenleri BIA yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Gruplar arasındaki değişimin belirlenmesi bağımsız örneklem t-testi kullanılmıştır ve test öncesinde değişkenlere fark testi yapılmıştır. Araştırma bulgularında ise; vücut ağırlığı değişkeninde gruplar arası bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Diğer vücut kompozisyonu parametrelerinde ise gruplar arasında anlamlı bir değişiklik tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Ancak, bulguların yorumlanması noktasında, aerobik gruba kıyasla kontrol grubunun vücut ağırlığı değerlerinde daha fazla artış olduğu belirlenmiştir. Aerobik grubun ise vücut ağırlığı değerlerini egzersiz süresi boyunca koruduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: vücut ağırlığı, yağ yüzdesi, antrenman, egzersiz

1. GİRİŞ

Bebeklikten yaşlılık sürecine kadar organizmada meydana gelen değişiklikler nedeniyle, kuvvet ve dayanıklılık gibi bazı motor özellikler, yaşadığımız yaşam standartlarına ve yaşam kalitesine bağlı olarak gerileyebilir veya gelişebilir. İnsan organizması uzun süre hareketsiz kaldığında, vücudun fonksiyonel özelliklerinin giderek azaldığı ve bu fonksiyonel yetersizlikler nedeniyle birçok hastalığa maruz kalabileceği bildirilmektedir (Çolakoğlu ve Karacan, 2006). İnsan vücudunun her zaman sağlıklı kalabilmesi için düzenli olarak egzersiz yapılması gerekmektedir. Bu nedenle egzersiz yapmak, sağlık risklerini azaltır ve özellikle osteoporozun önlenmesinde önemli bir rol oynar; bununla birlikte, günümüzün en önemli sağlık sorunları arasında yer alan obezite, kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet, inme ve kanser gibi hastalıkların azaltılmasına da katkı sağlar (Yiğit, 2018). Yaş ilerledikçe düzenli egzersizle

birlikte kan basıncında düşüş, kas ve kemik kütlesinde kaybın önlenmesi, esneklik ve dengenin artması, düşme ve yaralanma riskinin azalması, ideal kilonun korunması, uyku düzeni ve stresin iyileşmesi, uzun ve sağlıklı bir yaşamın sağlanması mümkündür. Düzenli ve uygun egzersizler, orta yaşlı ve ileri yaştaki bireylerin sağlıklı ve dinç kalmalarına, daha kaliteli bir yaşam sürmelerine, ruhsal ve sosyal açıdan güçlü olmalarına ve toplumsal yaşama katılmalarına katkı sağlar (Aksoydan, 2010). Ayrıca egzersiz, stres, kaygı ve depresyon üzerinde olumlu etkiler göstererek ruhsal ve sosyal sağlığın korunmasına yardımcı olur; bu nedenle egzersiz bir yaşam biçimi olarak benimsemek ve uygulamak büyük önem taşır (Özden, 2016).

Sedanter davranış, Latince kökenli bir kelimedir ve “sedere” fiili “oturmak” anlamına gelir (Gibbs ve ark., 2018). Sedanter davranış; oturma, uyuma, televizyon izleme, bilgisayar kullanma, kısa mesafeler için ulaşım araçlarını tercih etme gibi, enerji harcamasını artırmadan dinlenme düzeyinde enerji tüketimiyle yapılan aktiviteleri kapsar (Pate, Neill ve Lobelo, 2008). Spor literatüründe “sedanter” terimi, orta düzeyde fiziksel aktivite yapmayan veya önerilen düzeyde fiziksel aktivite gerçekleştirilmeyen bireyleri ifade etmek için kullanılır. Sedanter yaşam tarzı, tüm yaş gruplarında çeşitli sağlık sorunlarına yol açarken, bu olumsuzluklardan kurtulmak için organizmanın daha formda ve sağlıklı olması gerekir. Bu nedenle yaşam boyu spor, sağlıklı yaşam için spor, step-aerobik ve fitness faaliyetleri giderek artmaktadır. Bu egzersizlerin bireylere sağladığı faydaları öğrenebilmek için vücut kompozisyonu ölçümleri takip edilebilir. Vücut kompozisyonu, kişilerin fiziksel yapılarını tanımlamada, sınıflandırmada veya karşılaştırmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Genetik faktörler insanların vücut yapılarını etkilediği gibi, ilgilendikleri spor dalları veya fiziksel aktivite düzeyleri de bu durumu etkiler.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Tasarımı ve Katılımcılar

Çalışmaya başlamadan önce etik kurul onayı alınmıştır. Bu çalışma için etik onay, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu’ndan alınmıştır. Çalışma, Helsinki Bildirgesi ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür (Shrestha ve Dunn, 2019).

Üniversitede çalışan akademik ve idari personel ile Tekirdağ ilinde yaşayıp dahil edilme kriterlerini karşılayan her birey gönüllü olarak çalışmaya katılmıştır.

Dahil edilme kriterleri şunlardı:

- 40–60 yaş aralığında olmak,
- Fiziksel olarak bağımsız olmak,
- Kardiyak, ortopedik veya kas-iskelet sistemi disfonksiyonu bulunmamak,
- Çalışma başlamadan önceki son 5 ay içinde haftada birden fazla düzenli fiziksel aktiviteye katılmamış olmak.

Hariç tutulma kriterleri ise şunlardı:

- Son 6 ay içinde kronik ayak bileği instabilitesi veya alt ekstremitte kas-iskelet yaralanması geçirmiş olmak,
- Hormon replasman tedavisi almak,

- Kontrolsüz diyabet veya hipertansiyon tanısına sahip olmak.

Tüm bu koşulları sağlayan ve araştırma sürecini tamamlayan örneklem grubu, yaş ortalaması $48,42 \pm 6,44$ olan toplam 40 gönüllü bireyden oluşmuştur. Bu katılımcıların 20'si erkek, 20'si kadındır.

2.2. Veri Toplama

2.2.1. Araştırma modeli

Araştırma deneysel model türlerinden gerçek deneysel modeldir. Gerçek Deneme Modelleri, bilimsel değeri en yüksek araştırmalar, gerçek deneme modelleri ile yapılan araştırmalardır. Gerçek deneme modellerinin ortak özellikleri: Birden çok grup kullanılması, grupların yansız atanmasıdır. Bundan dolayı da her deneme modelinde en az bir deney, bir de kontrol grubu bulunur. Kendi içerisinde 3'e ayrılır; Ön test-Son test Kontrol Gruplu Model: Bu modelde yansız atama ile oluşturulmuş iki grup bulunur. Bunlardan biri deney, diğeri kontrol grubu olarak kullanılır. Her iki gruptan da hem deney öncesinde, hem de sonrasında ölçüm alınır. Bu modelde en önemli nokta, deney öncesi ölçümler arasında anlamlı farklar bulunması durumunda önlemler alınması gerekliliğidir (Karasar, 2013).

2.2.2. Vücut Kompozisyonu Ölçümü

Katılımcıların tüm vücut bileşimleri biyoelektrik impedans analiz (BİA) cihazı kullanılarak belirlenecektir. BİA cihazı; 8 elektrotlu, 50 kHz sabit akımla (hand to hand, foot to foot) çalışan, 5 ayrı akım dalgası ile beş ayrı bölge için (sağ ve sol kol, sağ ve sol bacak, gövde) yağ oranı, kas kütlesi ve yağsız kütle değerlerini ölçen bir cihazdır. Ölçümler, BİA cihazının çalışma prensipleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Saritaş ve ark., 2011).

2.2.3. Prosedür

Örneklem grubunun 20 erkek, 20 kadın katılımcıdan oluşmaktadır. Katılımcılar randomize olarak 2 grubu ayrılmıştır. Bu gruplar; Aerobik egzersiz grubu ve kontrol grubu olarak isimlendirilmiştir. Aerobik egzersiz grubuna 8 hafta boyunca haftada 3 gün ortalama 1 saat bireysellik ilkesi dikkate alınarak aerobik egzersizler uygulanmıştır. Ön testlerden elde edilen veriler neticesinde egzersiz programları tasarlanmıştır. İki gruba da 8 hafta sonunda son testler uygulanmıştır.

2.2.5. İstatistiksel Analiz

Veriler, SPSS v.18.0 istatistik programı (SPSS Inc., Chicago, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir. Anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlenmiştir. Herhangi bir analiz yapılmadan önce, tüm veriler, Normallik açısından Shapiro-Wilk testi ile, kontrol edilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler, ortalama (mean) ve standart sapma (SD) olarak sunulmuştur. Değişkenler arasında farklılığın belirlenmesinde bağımsız örneklem t-testi analizi kullanılmıştır.

3.BULGULAR

Tablo 1. Değişkenler arasındaki farklılığı gösteren veriler

| Değişkenler | Gruplar | N | Ortalama | Ss | t | p |
|--------------------------|---------|----|----------|------|-------|-------|
| Vücut ağırlığı (kg) | Kontrol | 20 | 1,27 | 1,55 | 2,391 | 0,023 |
| | Aerobik | 20 | 0,04 | 1,38 | | |
| BKİ (kg/m ²) | Kontrol | 20 | 0,46 | 0,60 | 2,027 | 0,051 |
| | Aerobik | 20 | 0,05 | 0,54 | | |
| Vücut yağı (%) | Kontrol | 20 | 1,16 | 1,48 | 1,062 | 0,296 |
| | Aerobik | 20 | 0,43 | 2,37 | | |
| Kas kütlesi (kg) | Kontrol | 20 | 0,11 | 0,79 | 0,246 | 0,807 |
| | Aerobik | 20 | 0,05 | 0,70 | | |

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Biçer ve ark. (2009), yetişkin kadınlarda 8 haftalık aerobik dans egzersizlerinin bazı fizyolojik parametreler üzerindeki etkisini incelemiş ve katılımcıların vücut ağırlıklarında anlamlı bir azalma tespit etmiştir. Benzer şekilde, Kafkas ve ark. (2009) tarafından kalp hastası, 40–60 yaş aralığındaki kadınlar üzerinde yürütülen 12 haftalık düzenli yürüyüş egzersizleri sonucunda, vücut ağırlığı ve vücut kitle indeksi değerlerinde azalma meydana geldiği bulunmuştur. Gönül Ateş ve ark. (2010) ile Elmacı ve ark. (1993) tarafından yapılan ve 8 kadın ile 2 erkekten oluşan (toplam 10 kişi) deney grubunu kapsayan çalışmada, 8 haftalık egzersiz programı sonunda katılımcıların ortalama 5 kg'lık anlamlı bir kilo kaybı yaşadıkları gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, Karacan ve Çolakoğlu (2003) da yürüttükleri çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Araştırmada, bulguların yorumlanması noktasında, aerobik gruba kıyasla kontrol grubunun vücut ağırlığı değerlerinde daha fazla artış olduğu belirlenmiştir. Aerobik grubun ise vücut ağırlığı değerlerini egzersiz süresi boyunca koruduğu belirlenmiştir. Bu noktada, aerobik egzersiz stratejilerinin vücut ağırlığının korunmasında etkili olabilecek bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aksoydan, E. (2010). Health and nutrition status of elderly in Turkey and other eastern European countries, *Turkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 30(2), 674-683.
- Amano, M., Kanda, T., UE, H., Maritani, T. (2001). Exercise training and autonomic nervous system activity in obese individuals. *Medicine Science In Sports Exercise*, 33(8), 1287 –1291.
- Ballor, D. L., Keeseey, R. E. (1991). A meta-analysis of the factors affecting exercise-induced changes in body mass, fat mass and fat-free mass in males and females. *International Journal of Obesity*, 15(11), 717-26.
- Biçer, B., Yüқтаşır, B., Yalçın, H.E., Kaya, F. (2009). The effect of 8 -week aerobic dance on some physiological parameters of adult women, *Atabesbd*, 11(3), 1-14.
- Chapek, C.L., (1994). Physical fitness programs microform, publications in state for sport and human performances institute, Univ. of Oregon, Eugene
- Christa M, Ambrose A. Dunn-Meynell E, Barry L. (2008). Resistance in DIO rats after exercise cessation Three weeks of early-onset exercise prolongs obesity. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 290-301.
- Çolakoğlu, F.F., Karacan, S. (2006). The effects of aerobic exercise in some physiological parameters in young and middle aged women. *Kastamonu Education Journal*, 14(1), 277-284.
- Gibbs B.B., Hergenroeder A.L., Katzmarzyk P.T., Lee, I.M., Jakicic, J.M. (2015). Definition, measurement, and health risks associated with sedentary behavior. *Med Sci Sports Exerc.*, 47(6), 1295-300.
- Gönülateş, S., Saygın, Ö., Babayığit İrez, G. (2010). The effect of regular exercise programme on health related physical fitness parameters and blood lipids of women aged between 40-55 years. *International Journal of Human Sciences*, 7 (2), 961-970.
- Kafkas, M.E., Açak, M., Karademir, T. (2009). The effects of 12-week regular aerobic and resistance exercises on the body composition of middle-aged men and women. *Journal of Physical Education and Sport Science*, 3 (3), 178-183.
- Karacan, S., Çolakoğlu, F. F. (2003). The effects of aerobic exercise on the body composition and blood lipids in middle aged and young women. *Sportmetre The Journal of Physical Education and Sport Sciences*, 1(2), 83-88.
- Özden, A. (2016). Psikososyal sağlık ve egzersiz. *Turkiye Klinikleri Journal of Physiotherapy and Rehabilitation Special Topics*, 2(1), 122-126.
- Pate RR, O'Neill JR, Lobelo F. (2008). The evolving definition of "sedentary". *Exerc Sport Sci Rev.*; 36(4):173-8.

Pınar Ö.Y., Çetin E., Aktop A., (2017). The effects of step-aerobic exercises on aerobic capacity and body composition in women at different ages. *Sportmetre The Journal of Physical Education and Sport Sciences*, 16 (1), 49-54.

Ransdell, L.B., Robertson, L., Ornes, L., Moyer-Mileur, L. (2004). Generationsexercising together to improve fitness (GET FIT): a pilot study designed to increase physical activity and improve health related fitness in three generations of women. *Women Health*, 40(3): 77-94.

KOYUNLARDA ÇİÇEK HASTALIĞINDA PATOLOJİK DEĞERLENDİRMELER

Dr. Nihat YUMUŞAK

Harran Üniversitesi, nihatyumusak@harran.edu.tr - 0000-0002-9299-2902

ÖZET

Çiçek hastalığı özellikle koyun ve keçilerde deride dökülmeler, papül ve kabuklanma şeklinde lezyonlarla karakterize olan oldukça bulaşıcı viral bir hastalıktır. Hastalık etkeni epiteliotropik yani epitel dokusuna affinitesi olan poxviruslardır. Bu viruslar koyun, sığır, keçi ve kanatlı gibi birçok türde hastalığa neden olur. Hastalık hayvanlar arasında özellikle enfekte ciltle temas sonucu olurken solunum yoluyla da hastalık bulaşabilmektedir. Ayrıca burun akıntısı, böcekler ve dışkı ile kontaminasyon da hastalığın bulaşmasına neden olabilir. Vücuda giren virüs bölge lenf yumrularına ve ordan lenf dolaşımı ile vücuda yayılır. Hasta hayvanlarda solunumda artış, ateş, burun ve gözyaşı akıntısı görülür. Makroskobik olarak deride farklı devrelere ait deri lezyonları ile karşılaşılır. Erken dönemde makul ile başlayan lezyonlar zamanla püstül ve son olarak kabuklanmaya dönüşür. Histolojik olarak yapılan incelemelerde ise epitel tabakasında dejeneratif değişiklikler, hiperkeratoz ve sitoplazmik inklüzyon cisimcikleri görülür. Bu çalışmada ile ülkemizde de yaygın olarak görülen koyun çiçeği hastalığının patomorfolojisi hakkında değerlendirmeler amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Koyun, çiçek hastalığı, patoloji

1. ETİYOPATOGENEZ

Koyun çiçeği hastalığı deride veziküllerin yada nodüller lezyonların oluşması ile karakterize viral ölümcül bir hastalıktır. Hastalık genç hayvanlarda yüksek ölüm oranına sahiptir. Yetişkinlerde ise verim kaybına neden olur. Etken sadece deride değil ayrıca akciğerlerde şiddetli pnömoniye neden olur. Hastalığın etkeni Poxvirus ailesinde bulunan sheeppox ve goatpox genotipinde yer alan Capripox virustur. Çiçek hastalığı dünyanın birçok bölgesinde salgınlar ya da endemik olarak görülür. Etkenin genotipik yapısı keçi çiçek hastalığı virüsü ve sığırlarda görülen lumpy skin hastalığı etkenlerine çok yakın olup ayrımının yapılması oldukça güçtür. Etken hastalıklı deride yıllarca kalabilir. Ayrıca yünde ve bulaşık alanlarda aylarca kalarak hastalığın yayılmasına neden olabilir. Hastalığın klinik bulguları koyun ve keçilerde çok benzer olsa da keçilerde daha hafif lezyonlar görülür. Hastalığın inkübasyon süresi koyunlarda 4-8, keçilerde ise 5-14 gün arasındadır (1-10).

2. BULAŞMA

Hastalığın bulaşması çoğunlukla enfekte hayvanların derileri ile direk temas ile olmaktadır. Akciğerlere yerleşen etkenler solunum yoluyla hastalığın damlacık yoluyla yayılmasına neden olur. İnekler yoluyla bulaşma nadir olsa da görülebilir (9, 10, 12, 13).

3. KLİNİK BULGULAR

Hastalıkta görülen klinik bulgular genç hayvanlarda oldukça şiddetlidir ve çoğunlukla ölümlerle sonuçlanır. İnkübasyon periyodundan sonra ilk görülen klinik bulgular genellikle gözyaşı akıntısı, burun akıntısı, halsizlik ve yüksek ateştir. Genç hayvanlarda deri lezyonlarından önce iç organlar etkilenir solunum güçlüğü şekillenir. Yetişkin hayvanlarda ise klinik bulguları takip eden 3-5 gün sonra özellikle az yünlü skrotum, perineum, koltuk altı, kulak ve burun çevresi gibi bölgelerde daha belirgin görülen çiçek lezyonları görülmeye başlar. Görülen lezyonlar hastalığın süresine bağlı olarak makul den kabuklanmaya kadar değişkenlik gösterir (10-14).

4. MAKROSKOBİK BULGULAR

Çiçek hastalığında görülen en belirgin makroskobik bulgular hastalık için tipik olan deri lezyonlarıdır. Hastalığın erken deri formunda vücudun tamamına yayılmış küçük kızartılar şeklinde görülen eritematöz lezyonlar dikkati çeker. Daha sonra bu lezyonlar papül formuna ve ilerleyen dönemde çiçek hastalığı için tipik içleri şeffaf sıvı ile dolu taşkın veziküller şekillenir. Hastalık ilerledikçe bu veziküller yerini püstül ve son olarak kabuklanmaya bırakır. Bu süreçte sekonder bakterilerin kontaminasyonu durumunda lezyonların şiddeti değişebilir. Ölen hayvanların nekropsilerinde, lenf yumrularının şiddetli ödemi ve şişkin olduğu görülür. Üst solunum ve sindirim sistemi organlarında ülserli papüller vardır. Böbrek ve karaciğerde küçük solgun alanlar görülür. Özellikle genç hayvanların akciğerlerinde gri-beyaz nekrotik odaklar patognomiktir. Ayrıca prepisyum ve vulvada da benzer lezyonlarla karşılaşılır (12-17).

5. MİKROSKOBİK BULGULAR

Hastalığın histolojik bulguları hastalığın dönemine göre farklılıklar gösterir. Makul ve papül aşamasındaki lezyonlarda daha çok parakeratozis ya da hiperkeratozis vardır. Veziküler aşamada ise şiddetli yangısal reaksiyon ile farklı büyüklüklerde vakuol dikkati çeker. Noduler

lezyonlarda ise proliferatif değişikliklerle ön plandadır. Hastalığın patognomik mikroskopik bulgusu ise Borrel hücreleri ile sitoplazmik inklüzyon cisimcikleridir (12-17).

6. TANI

Hastalık ektima, PPR, uyuz, paraziter pnömoniler ve mavi dil hastalığı ile karıştırılabilir. Kesin tanı amacıyla deriden alınacak biyopsilerde histopatoloji, virus izolasyonu ve ELISA gibi yöntemlerden yararlanılır (18-20).

7. KORUNMA

Hastalıktan korunmanın başlıca yolu sürülerin düzenli olarak aşılması ile olur. Ülkemizde yapılan aşılamalar ile hayvanlar 6-8 ay süreyle bağışık olurlar. Ayrıca enfeksiyonun görüldüğü bölgelerde karantina önlemleri oldukça önemlidir (21-23).

KAYNAKÇA

- [1] House, JA., *Sheep and goat pox*. In: Veterinary Diagnostic Virology: Practitioners Guide, Mosby Year Book, 1992.
- [2] Babiuk, S.; Bowden, T.R.; Boyle, D.B.; Wallace, D.B.; Kitching, R.P. *Capripoxviruses: An emerging worldwide threat to sheep, goats and cattle*. Transbound. Emerg. Dis. 55, 2008.
- [3] Yeraham I, Yadin H, Van Ham M, Bumbarov V, Soham A, et al., *Economic and epidemiological aspects of an outbreak of sheeppox in a dairy sheep flock*. Vet Rec 160, 2007.
- [4] Buller, RM, Arif, BM, Black, DN., *Poxviridae*. In: Virus Taxonomy: Eight Report of the International Committee on the Taxonomy of Viruses. Elsevier Academic Press, Oxford; 2005.
- [5] Kitching RP, Taylor WP., *Clinical and antigenic relationship between isolates of Sheep and goatpox viruses*. Trop Anim Health Prod 17, 1985.
- [6] Hosamani M, Mondal B, Tembhurne., *Differentiation of Sheep Pox and Goat Poxviruses by Sequence Analysis and PCR-RFLP of P32 Gene*. Virus Genes, 29, 2004.
- [7] Bhanuprakash V, Indrani BK, Hosamani M., *The current status of sheep pox disease. Comparative Immunology, Microbiology & Infectious Diseases*, 29, 2006.
- [8] Rao TV, Bandyopadhyay SK., *A comprehensive review of goatpox and sheeppox and their diagnosis*. Anim Health Res Rev 1, 2000.
- [9] Bhanuprakash V, Indrani BK, Hosamani M, Singh RK., *The current status of sheep pox disease*. Comp Immunol Microbiol Infect Dis 29, 2006.
- [10] Davies FG., *Sheeppox and goatpox in virus diseases of food animals*. Academic Press, London, 1981.
- [11] Lafar, S.; Zro, K.; Haegeman, A.; Khayli, M.; De Clercq, K.; Lancelot, R.; Ennaji, M., *Clinical and epidemiological evolution of sheep pox in Morocco*. J. Agric. Sci. Technol. 2019.
- [12] Namdari I., *Clinicopathological study of natural outbreaks of sheep pox in Fars province of IRAN*. Iranian J Vet Research , 1, 2000.
- [13] Reddy, G.B.; Sumana, K.; Babu, S.; Yadav, J.; Balamuragan, V.; Hemadri, D.; Patil, S.S.; Suresh, K.P.; Gagendragud, M.R.; Rahman, H., *Pathological and molecular characterization of Capripox virus outbreak in sheep and goats in Karnataka*. Indian J. Vet. Pathol. 39, 2015.

- [14] Manjunatha Reddy, G.B.; Krishnappa, V.K.; Siddalingaiah, C.D.; Rao, S.; Nayakvadi, S.; Harlipura Basavarajappa, C.K.; Gualti, B.R. *Epidemiological, Pathological, and Molecular Studies on Sheeppox Disease Outbreaks in Karnataka, India*. Microorganisms 12, 2024.
- [15] Radostits OM, Gay CC, Hinchcliff KW., *Veterinary Medicine*. 10th Edn. SAUNDERS; 2006.
- [16] Sharma, S.; Nashiruddullah, N.; AHMED, J.A. *Pathology of Spontaneous Pox Virus Infection of Sheep and Goat in Jammu Region*. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 9, 2020.
- [17] Kitching RP., *Sheeppox and goatpox*. In: Coetzer JAW, *Infectious Diseases of Livestock*. (2nd edn), Oxford University Press Southern Africa, Capetown, South Africa, 2004.
- [18] Babiuk S, Wallace DB, Smith SJ, Bowden TR, Dalman B, et al., *Detection of antibodies against capri poxviruses using an inactivated sheeppox virus ELISA*. Transbound Emerg Dis 56, 2009.
- [19] Ireland DC, Binopal YS., *Improved detection of capripoxvirus in biopsy samples by PCR*. J Virol Methods 74, 1998.
- [20] Hurisa, T.T.; Jing, Z.; Jia, H.; Chen, G.; He, X.B. *A Review on Sheeppox and Goatpox: Insight of Epidemiology, Diagnosis, Treatment and Control Measures in Ethiopia*. J. Infect. Dis. Epidemiol. 4, 2018.
- [21] Webbs G., *Sheeppox and goatpox, transmission of Capri pox viruses by various flies indicated the need for a reassessment of the methods of controlling this disease*. Annual Report, Institute for Animal Health, Pirbright, UK, 1980.
- [22] Bhanuprakash V., *Prospects of control and eradication of capripox from the Indian subcontinent: A perspective*. Antiviral Research, 91, 2011.
- [23] Carn VM., *Control of capripoxvirus infections*. Vaccine, 11, 1993.

DRAG REDUCTION PERFORMANCE OF PHPA POLYMER IN SMOOTH PIPES

Res. Assistant, PELİN İLKER

Izmir Katip Celebi University, pelin.ilker@ikcu.edu.tr-0000-0001-7933-4772

Prof. Dr., MEHMET SORGUN

Izmir Katip Celebi University, mehmet.sorgun@ikcu.edu.tr-0000-0003-2323-2499

BATUHAN SEVEN

Izmir Katip Celebi University, batuseven35@gmail.com

ABSTRACT

In hydraulic engineering, friction losses in pipelines significantly increase pumping power and operating costs. In this study, the drag reduction performance of partially hydrolyzed polyacrylamide (PHPA) additive in smooth pipes was investigated experimentally.

Experiments were conducted with three different PHPA solutions (0.04%, 0.06%, and 0.08%) in a horizontal smooth pipe with a diameter of 80 mm, and differential pressure measurements were carried out. The Fanning friction factors were calculated from the obtained data, and the results were compared with both the Blasius correlation for Newtonian flow and the Virk asymptote for turbulent flows with polymer additives. The results show that the friction factor decreased significantly as the PHPA concentration increased, and the measurements approached the Virk asymptote at a concentration of 0.08%. Drag reduction percentage (%DR) reached a maximum of 37% for 0.04%, 48% for 0.06%, and 59% for 0.08%. Evaluations in Prandtl–Kármán coordinates ($1/\sqrt{f}-Re\sqrt{f}$) also confirmed that increasing polymer concentration corresponded to lower drag and more stable flow behavior. Consequently, PHPA offered the potential to increase the energy efficiency of in-pipe flows by providing significant drag reduction over a wide range of Reynolds numbers in smooth pipes.

Keywords: Drag reduction, Smooth pipes, Polymers, Pressure drop, Friction coefficient, Experimental study

1. INTRODUCTION

The transportation of fluids through pipes is a fundamental process in many engineering systems. However, especially in turbulent flow, the interaction between the fluid and the pipe wall causes significant frictional energy losses. These losses increase pumping costs and reduce the overall efficiency of the system. Therefore, reducing drag, particularly in smooth pipes, has become an important topic to improve energy efficiency in industrial applications [1-3].

In 1948, the phenomenon known as the "Toms Effect" was discovered by Toms [4], who observed that adding very small amounts of high molecular weight polymers could greatly reduce friction in turbulent flow. In later studies, Virk [5] explained that these polymers create an elastic sublayer in the flow, changing the structure of turbulence near the wall. In his

subsequent works, he introduced the concept of a maximum drag reduction asymptote (MDRA), which is a universal limit independent of polymer type or concentration [6,7].

Drag reduction depends not only on the polymer but also on pipe geometry, surface roughness, temperature, and concentration. For example, Karami and Mowla [8] conducted 648 experiments with three different polymers and showed that friction could be reduced by up to 44%. They also developed a mathematical model to predict this effect. In another study, Kamel and Shah [9] found that increasing temperature and salinity reduce the drag-reducing performance of polymers.

Shah et al. [10] conducted experiments in both straight and coiled pipes and found that drag was higher in curved pipes, reducing the effectiveness of polymer additives. Similarly, Allahvirdizadeh et al. [11] tested PHPA polymers in horizontal annular pipes and observed up to 38% drag reduction, with the optimal polymer concentration being 0.07%. Escudier et al. [12] showed that drag reduction is closely related to the velocity fluctuations in the buffer layer of the flow. They tested different types of polymers and explained how the velocity profile changes with polymer concentration. Tiederman et al. [13] experimentally showed that if the polymer is injected only into the viscous sublayer, drag reduction does not occur. The effect starts only when the polymer reaches the buffer region. A related study showed that polymers reduce burst frequency and increase streak spacing in the near-wall region.

Chen et al. [14] tested a 20 ppm polyacrylamide solution using a low-Reynolds $k-\epsilon$ model and confirmed that drag reduction occurs mainly in the buffer and logarithmic layers, not in the viscous layer. Yang and Dou [15] also developed an eddy viscosity-based model to describe drag reduction in rough pipes with polymers. Besides polymers, surfactants are also effective in reducing drag. Rózański et al. [16] tested CAPB and Cocamide DEA solutions and found that they work best at low temperatures, but their effectiveness drops as temperature increases. Jia and Lei [17] studied the effect of adding bentonite and quartz sand to xanthan gum solutions and found that high solid content reduces drag reduction performance. Zakin et al. [18] proposed new drag reduction limits for non-polymeric additives like surfactants and aluminum soaps. Their results showed that micellar structures formed by surfactants suppress turbulence more effectively than polymers. Kadivar et al. [19] provided a detailed literature review on how turbulence changes over rough surfaces and how this affects drag reduction.

Recent studies have shown that using additives such as polymers and nanoparticles can effectively reduce drag in pipe flows. Dhiaa et al. [20] conducted an experimental study using Poly Acrylic Acid (PAA) and Zinc Oxide (ZnO) nanoparticles in water flow through horizontal pipes. Their results indicated a drag reduction of up to 47% at 500 ppm PAA concentration with 0.6% ZnO, especially in smaller pipe diameters and higher flow rates. These findings support the use of chemical additives to improve flow efficiency and reduce energy consumption in pipeline systems. In studies aimed at reducing drag in high-temperature flow systems, new-generation surfactants have attracted attention. In the experimental study by Liu et al. [21] it was found that the additive BTAC provided up to 56% drag reduction at temperatures up to 80°C. Additionally, it was observed that this additive caused up to 36% reduction in heat

transfer. These results indicate that additives like BTAC can be used to improve efficiency in high-temperature systems.

This project focuses on the experimental investigation of drag reduction by polymer additives in smooth pipes. The effect of different polymer concentrations on frictional pressure losses is examined and compared with widely accepted literature correlations.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, the effect of PHPA (partially hydrolyzed polyacrylamide) polymer additive on drag reduction in smooth pipes was experimentally investigated. The experiments were conducted at the Hydraulics Laboratory of the Civil Engineering Department at Izmir Katip Celebi University (Figure 1).



Figure 1. Izmir Katip Celebi University Civil Engineering Department Flow Loop, smooth pipe.

A smooth pipe with an inner diameter of 80 mm was used in the experiments. The solutions used in the study were prepared by mixing PHPA polymer with water at varying concentrations. PHPA solution was prepared and tested at three different concentrations (0.04%, 0.06%, and 0.08%). With the addition of the polymer, the fluid exhibited non-Newtonian behavior.

The experimental setup consisted of a water tank, water pump, flow control valve, flow meter, pressure transmitter, and a horizontal pipeline. The energy loss during the flow process was determined by measuring the pressure difference between two points. In each experiment, flow rate (Q) remained constant at a specific value and pressure loss (ΔP) data were recorded.

To determine the friction factor, the Reynolds number was first calculated. N_{reg} is the generalized Reynolds number for Power-Law fluid and can be calculated as

$$N_{Reg} = \frac{\rho V^{2-n} D^n}{K 8^{n-1}} \quad (2.1)$$

where K is the consistency index, n is the flow behavior index, ρ is the fluid density (lbm/gal), V is the fluid velocity (ft/s), and D is the pipe diameter (ft).

Based on the data obtained, the friction factor for each test was calculated using the Darcy-Weisbach equation:

$$f_D = \frac{2\Delta P}{u^2 \rho} \frac{D}{L} \quad (2.2)$$

According to standard Fanning friction factor formula,

$$f_D = 4 f_F \quad (2.3)$$

To ensure the experimental results are comparable, two different models commonly used in the literature were applied.

The Blasius [22] correlation (for water) was used as follows:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.0 \log_{10}(Re\sqrt{f}) - 0.4 \quad (2.4)$$

Virk's [6] asymptotic model (for turbulent flow with polymer additives) was also used:

$$f = 0.59 \cdot N^{-0.58} \quad (2.5)$$

The drag reduction ratio for each polymer concentration was calculated using the following equation:

$$\%DR = \left(\frac{\Delta P_s - \Delta P_p}{\Delta P_p} \right) * 100 \quad (2.6)$$

Here:

- ΔP_s : is the pressure drop when using water only
- ΔP_p : is the pressure drop when using water with polymer.

This method allowed the comparison of the drag-reducing effects of polymers at different concentrations.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In Figure 2, the Fanning friction factor values are examined against the Reynolds number based on the results obtained from experiments with a PHPA solution with a concentration of 0.04%. The Blasius correlation is used as the standard Newtonian reference for smooth pipes, and the Virk Maximum Drag Reduction Asymptote (MDRA), which characterizes the upper limit of drag reduction for polymer solutions. The Fanning friction factor decreases as the Reynolds number increases. The experimental results lie significantly below the Blasius curve and above Virk's MDRA. This indicates that significant drag reduction is achieved with the polymer additive, but the maximum drag reduction limit has not been achieved.

Figure 3 shows that, with 0.06% PHPA, the Fanning friction factor decreased significantly over the entire Reynolds-number range, the experimental values approach Virk's MDRA while becoming far below the Blasius curve.

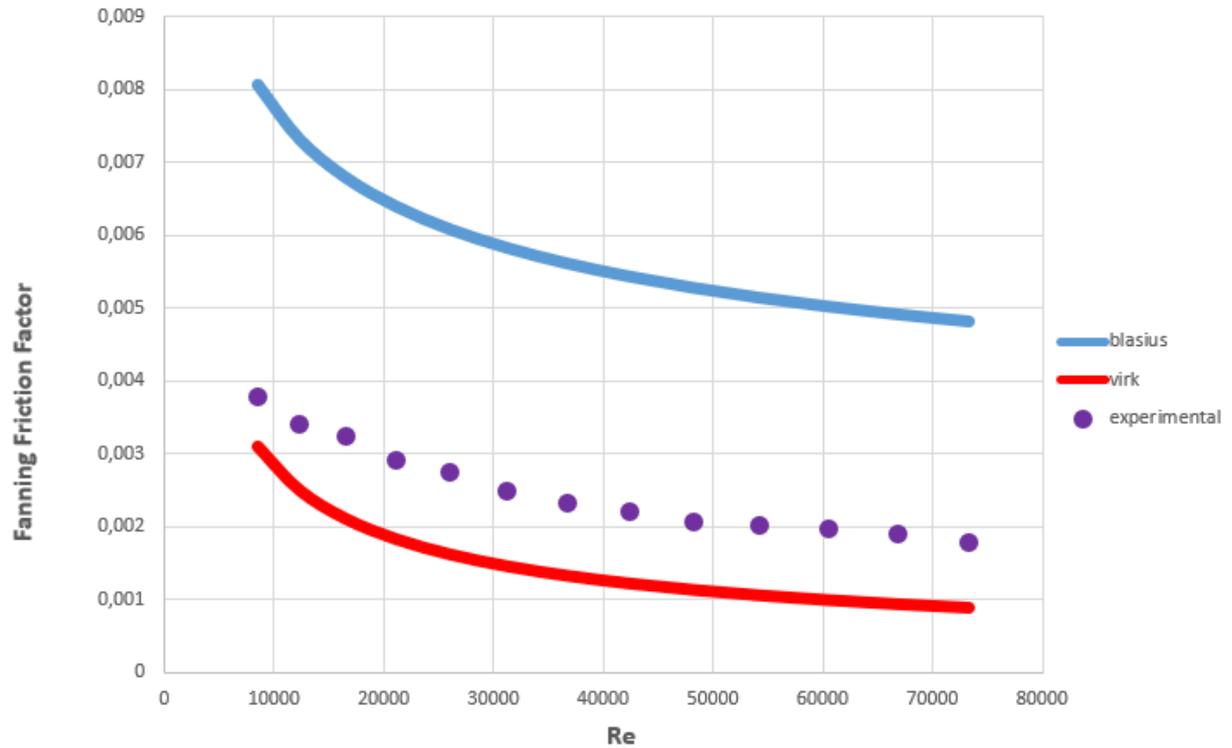


Figure 2: Reynolds number vs Fanning friction factor, 0.04% PHPA

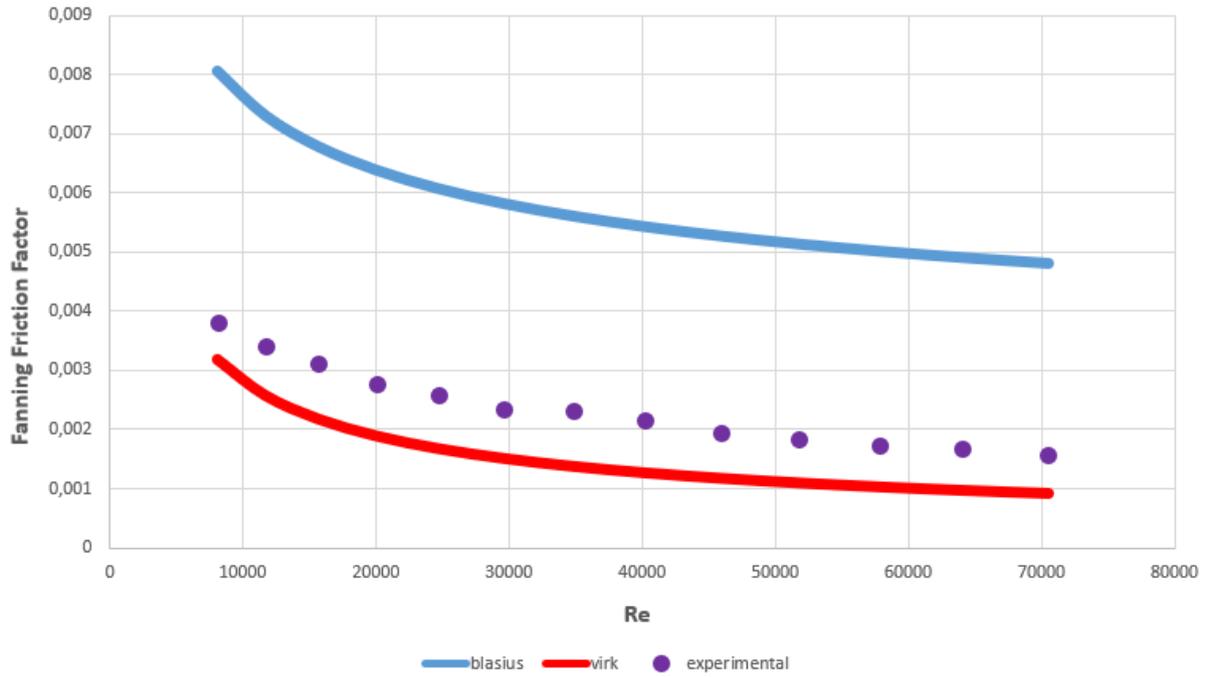


Figure 3: Reynolds number vs Fanning friction factor, 0.06% PHPA

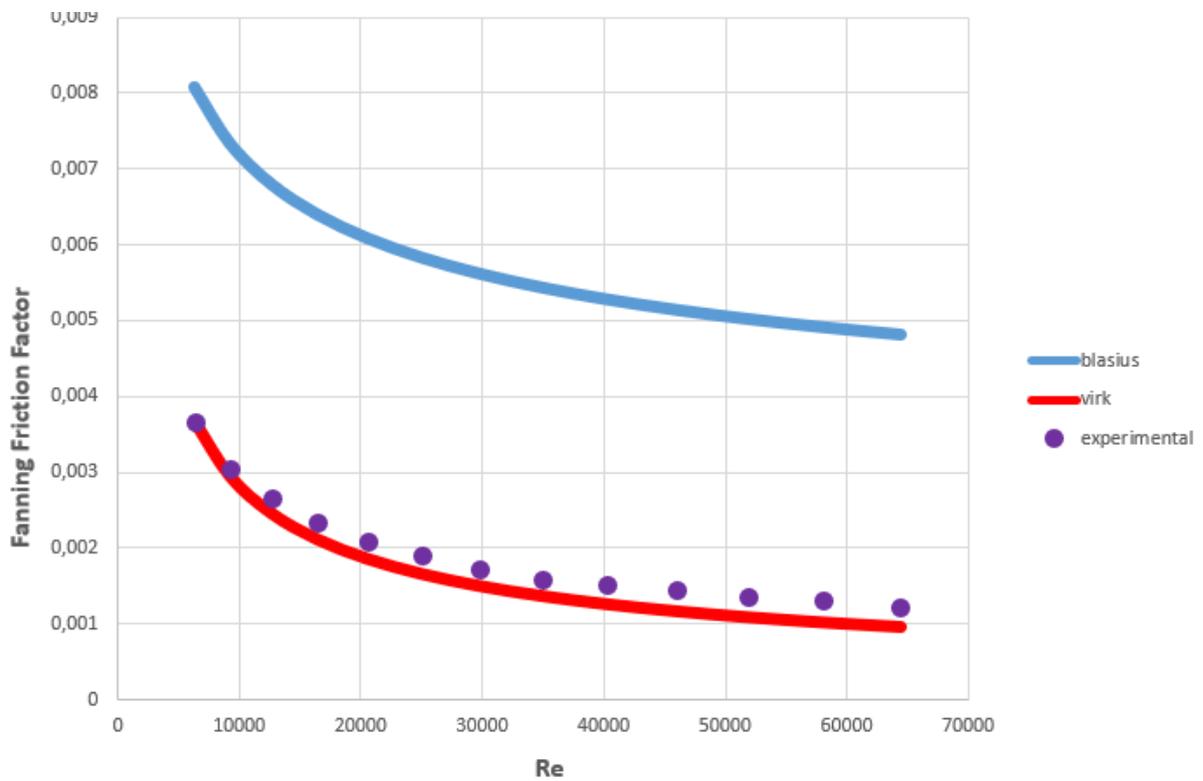


Figure 4: Reynolds number vs Fanning friction factor, 0.08% PHPA

Figure 4 shows that increasing the PHPA concentration to 0.08% shifts the data downward, approaching Virk’s MDR asymptote. At this concentration, the friction factors are the lowest among all cases and remain quite below the Blasius curve, confirming a strong polymer effect. Overall, the 0.08% PHPA solution provides near-maximum drag reduction within the examined range.

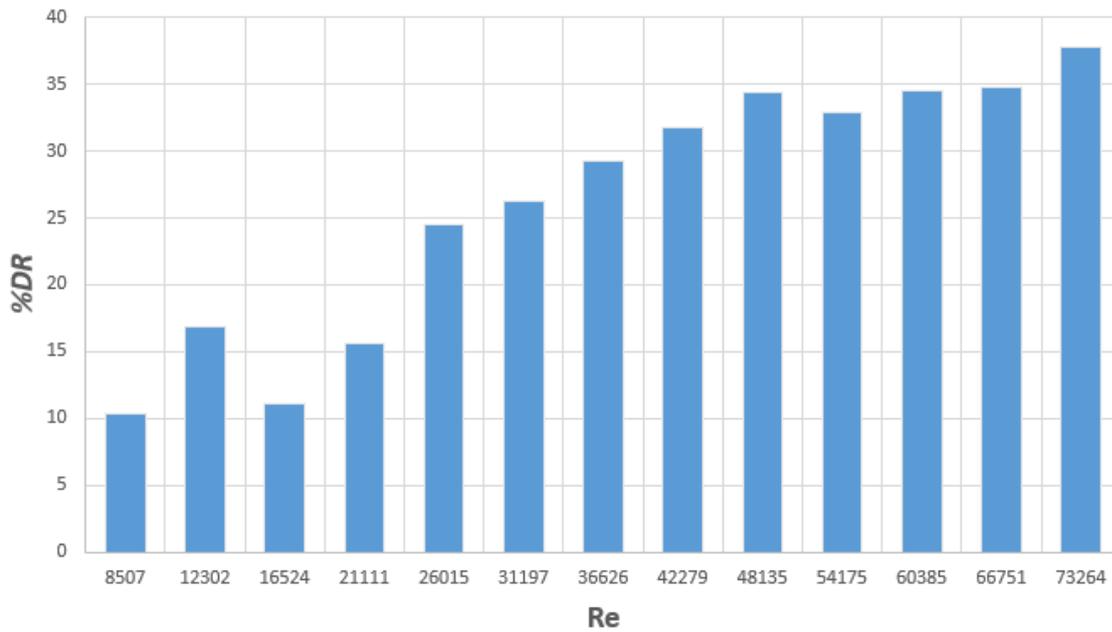


Figure 5: Drag reduction (%DR) with 0.04% PHPA

Figure 5 demonstrates that, the solution with 0.04% PHPA, the drag reduction varied between 10% and 37%, and the %DR value increased significantly as the Reynolds number increased. This shows that the energy loss can be reduced even with low additive ratio.

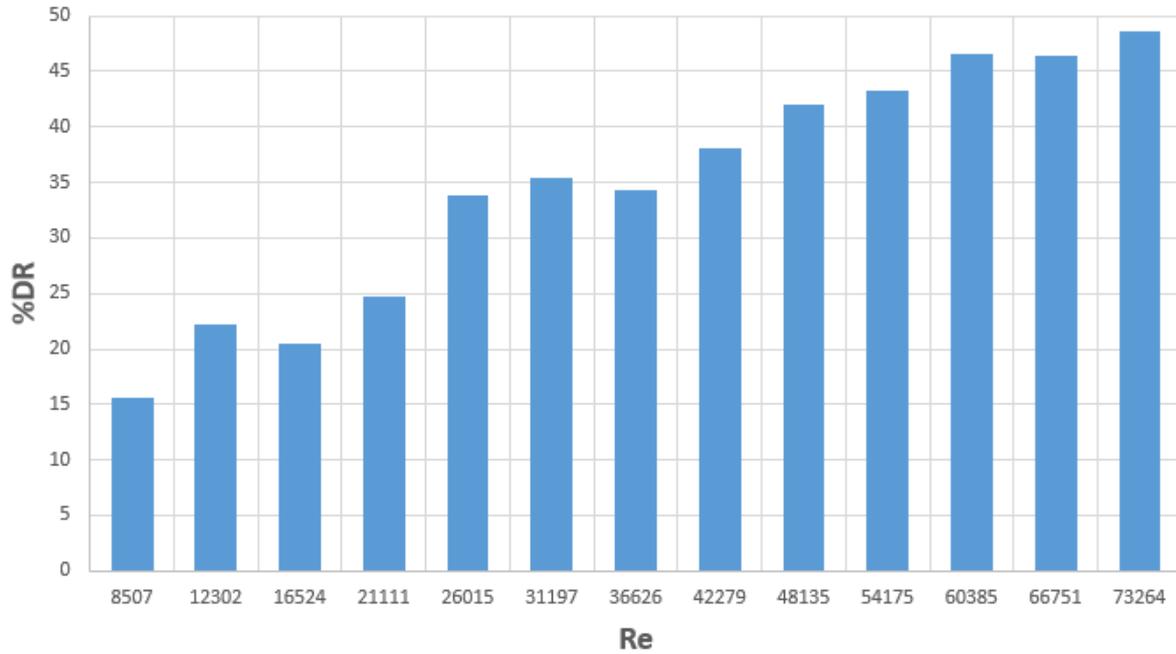


Figure 6: Drag reduction (%DR) with 0.06% PHPA

In the experiments conducted with 0.06% PHPA, the drag reduction increased even more, the %DR value started from 15% and reached 48%. It was observed that the effect of the polymer on the flow became stronger as the additive ratio increased as shown in Figure 6.

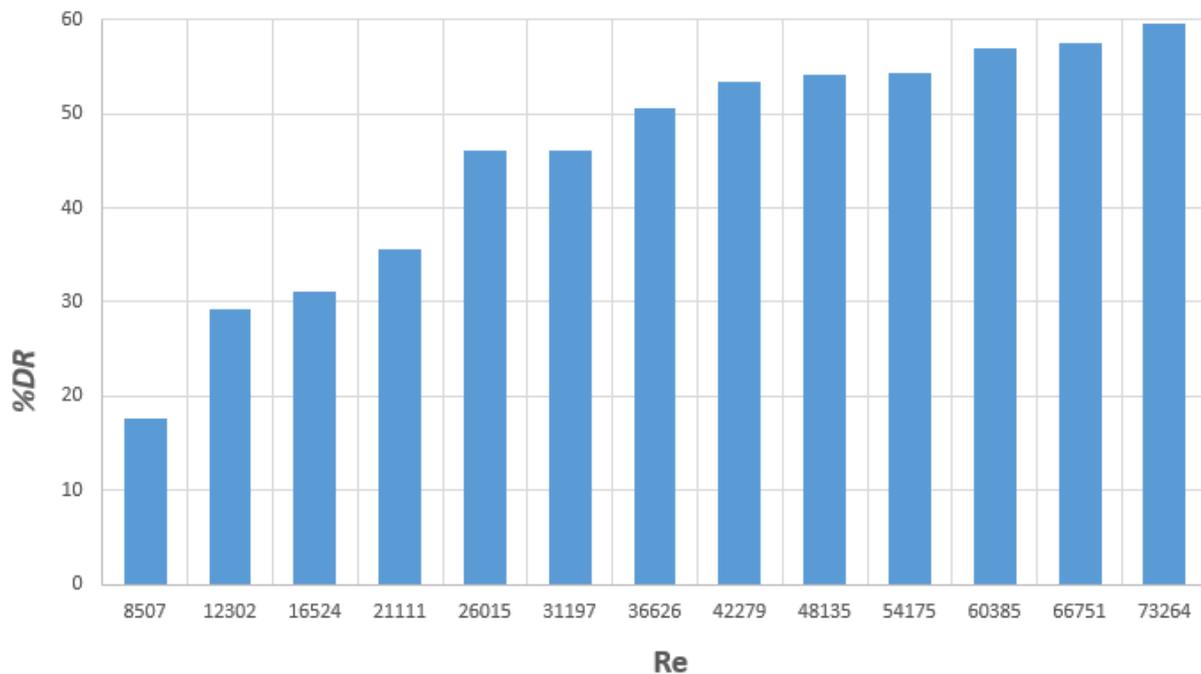


Figure 7: Drag reduction (%DR) with 0.08% PHPA

In Figure 7, the highest drag reduction can be observed with the highest additive rate of 0.08% PHPA, with the %DR value starting from 18% and increasing to 59%. This rate shows that the additive is approaching maximum effectiveness.

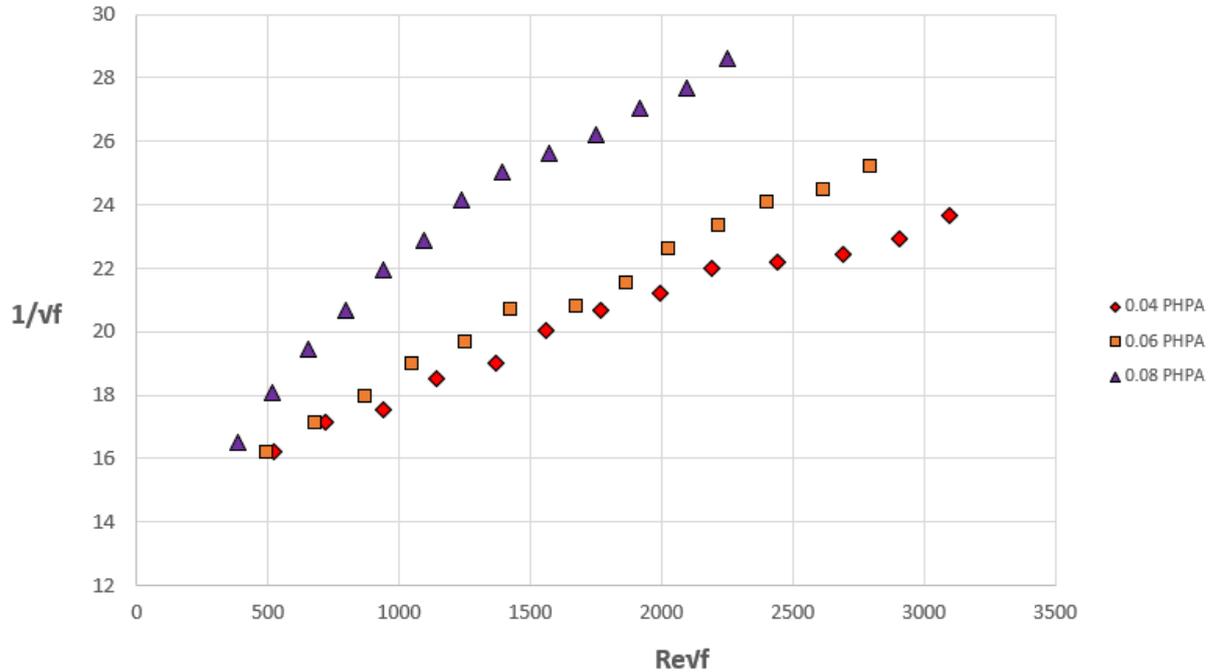


Figure 8: $1/\sqrt{f}$ - $Re\sqrt{f}$ Relationship

In Figure 8, showing the $1/\sqrt{f}$ – $Re\sqrt{f}$ graph, obtained for different PHPA concentrations, it was observed that the $1/\sqrt{f}$ value increased with the increase in the amount of additive. This shows that the friction factor decreases as the additive concentration increases. Especially at 0.08% PHPA additive, the system reached the lowest friction values, and the highest drag reduction was achieved.

4. CONCLUSION

This research focused on examining how PHPA polymer additives affect frictional pressure losses in smooth pipe flow under experimental conditions. Three concentrations—0.04%, 0.06%, and 0.08%—were tested and evaluated by comparing the results with commonly used Blasius and Virk curves.

The results revealed that increasing the PHPA concentration caused a noticeable decrease in the Fanning friction factor. In particular, at 0.08% concentration, the measured values came close to the theoretical Virk's maximum drag reduction limit, suggesting a strong drag reduction effect. Additionally, it was observed that drag reduction percentage (%DR) increased as Reynolds number rose. The findings show that the maximum %DR values recorded were:

- 37% with 0.04% PHPA
- 48% with 0.06% PHPA
- 59% with 0.08% PHPA

Furthermore, the relationship between $1/\sqrt{f}$ and $Re\sqrt{f}$ supported these findings by indicating that higher polymer concentrations contribute to lower friction levels. Overall, PHPA proved to be a promising drag reducing agent in turbulent flows, especially under high Reynolds number conditions.

These findings suggest that polymer-based additives such as PHPA may offer an efficient way to minimize energy loss in fluid transport systems and help improve the performance and cost-efficiency of pipelines.

REFERENCES

- [1] Brown, G. O. (2002). The history of the Darcy-Weisbach equation for pipe flow resistance. In *Environmental and water resources history* (pp. 34-43).
- [2] Xi, L. (2019). Turbulent drag reduction by polymer additives: Fundamentals and recent advances. *Physics of Fluids*, 31(12).
- [3] Asidin, M. A., Suali, E., Jusnukin, T., & Lahin, F. A. (2019). Review on the applications and developments of drag reducing polymer in turbulent pipe flow. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(8), 1921-1932.
- [4] Toms, B. A. (1948). Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers. In *Proc. 1st Intl Congr. Rheol.* (Vol. 2, pp. 135-141).
- [5] Virk, P. S., Mickley, H. S., & Smith, K. A. (1970). The ultimate asymptote and mean flow structure in Toms' phenomenon.
- [6] Virk, P. S. (1971). Drag reduction in rough pipes. *Journal of fluid mechanics*, 45(2), 225-246.
- [7] Virk, P. S. (1975). Drag reduction fundamentals. *AIChE Journal*, 21(4), 625-656.
- [8] Karami, H. R., & Mowla, D. (2013). A general model for predicting drag reduction in crude oil pipelines. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 111, 78-86.
- [9] Kamel, A., & Shah, S. N. (2009). Effects of salinity and temperature on drag reduction characteristics of polymers in straight circular pipes. *Journal of petroleum Science and Engineering*, 67(1-2), 23-33.
- [10] Shah, S. N., Kamel, A., & Zhou, Y. (2006). Drag reduction characteristics in straight and coiled tubing—An experimental study. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 53(3-4), 179-188.
- [11] Allahvirdizadeh, P., Kuru, E., & Parlaktuna, M. (2016). Experimental investigation of solids transport in horizontal concentric annuli using water and drag reducing polymer-based fluids. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 35, 1070-1078.
- [12] Escudier, M. P., Presti, F., & Smith, S. (1999). Drag reduction in the turbulent pipe flow of polymers. *Journal of non-newtonian fluid mechanics*, 81(3), 197-213.
- [13] Tiederman, W. G., Luchik, T. S., & Bogard, D. G. (1985). Wall-layer structure and drag reduction. *Journal of Fluid Mechanics*, 156, 419-437.

- [14] Chen, Y., Zhang, M., Valeev, A. R., Li, C., Nechval, A. M., & Yang, P. (2024). A low-Reynolds-number $k-\epsilon$ model for polymer drag-reduction prediction in turbulent pipe flow. *Korea-Australia Rheology Journal*, 36(2), 131-143.
- [15] Yang, S. Q., & Dou, G. (2010). Turbulent drag reduction with polymer additive in rough pipes. *Journal of Fluid Mechanics*, 642, 279-294.
- [16] Róžański, J., Róžańska, S., Mitkowski, P. T., Szaferski, W., Wagner, P., & Frankiewicz, A. (2021). Drag reduction in the flow of aqueous solutions of a mixture of cocamidopropyl betaine and cocamide DEA. *Energies*, 14(9), 2683.
- [17] Jia, Y., & Lei, J. (2024). Experimental Study on the Performance of Frictional Drag Reducer with Low Gravity Solids. *Innovations in Applied Engineering and Technology*, 1-22.
- [18] Zakin, J. L., Myska, J., & Chara, Z. (1996). New limiting drag reduction and velocity profile asymptotes for nonpolymeric additives systems. *AIChE Journal*, 42(12), 3544-3546.
- [19] Kadivar, M., Tormey, D., & McGranaghan, G. (2021). A review on turbulent flow over rough surfaces: Fundamentals and theories. *International Journal of Thermofluids*, 10, 100077.
- [20] Dhiaa, A. H., Shubbar, S. D. A., Mahdi, F. K., Mahmoud, K. A., & Diwan, A. A. (2024). Experimental Study for Enhancement of Water Flow in Horizontal Pipelines by Using Nanoparticles of Zinc Oxide and Poly Acrylic Acid. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 31(3), 212–220.
- [21] Liu, Z.-B., Wu, T., Wang, C.-Y., & He, Y.-L. (2025). Experimental study on surfactant drag reducer rheological property and turbulent drag reduction characteristic of pipe flow at high temperature conditions. *Applied Thermal Engineering*.
- [22] Blasius, H. (1908). The Boundary Layers in Fluids. *Zeitschrift für Mathematik und Physik* 56.1

DETERMINATION OF MONTHLY STREAMFLOW THROUGH CINE STREAM USING DATA-DRIVEN MODELS

Res. Assistant, PELİN İLKER

Izmir Katip Celebi University, pelin.ilker@ikcu.edu.tr-0000-0001-7933-4772

Prof. Dr., MEHMET SORGUN

Izmir Katip Celebi University, mehmet.sorgun@ikcu.edu.tr 0000-0003-2323-2499

SERHAT KAPTAN

Izmir Katip Celebi University, srhtkptn21@gmail.com

ABSTRACT

Reliable prediction of river streamflow is critically important for the sustainable management of water resources. These predictions are essential for a wide range of applications, including drinking water supply, agricultural irrigation, hydroelectric energy production, and flood control. In today's world, where water regimes have become increasingly unpredictable due to climate change, the value of accurate streamflow forecasting has grown even more significant. In this context, the development of high-accuracy forecasting methods plays an important role in supporting regional development and reducing disaster risks. Because river streamflows are complex and nonlinear, traditional statistical approaches cannot sufficiently capture these characteristics. Therefore, in recent years, Machine Learning (ML)-based models have become more popular in this field.

In this study, monthly streamflow data obtained from observation stations in Turkey are used to compare the prediction performance of four different ML models: Regression Tree, Bagged Trees, Linear Regression and Lasso. The results show that tree-based models, led by Regression Tree and followed by Bagged Trees, most effectively capture monthly streamflow variability, offering practical accuracy for planning and management, whereas linear models are inadequate for this purpose.

Keywords: River Streamflow Prediction, Machine Learning, Regression Tree, Bagged Trees, Linear Regression, Lasso, Water Resources Management, Monthly forecasting

1. INTRODUCTION

Rivers and riverbeds have provided significant benefits to humans for centuries, being essential components of both ecological and human systems. They provide vital water resources for domestic consumption, agriculture, industry and energy production. In recent years, challenges such as rapid population growth, increasing urbanization and the intensifying effects of climate change have increased the need for ecological and sustainable water resources management. Especially in countries such as Turkey, where hydrological conditions are highly variable and water resources are unequally distributed, efficient management practices are essential for regional stability and development. Reliable flow forecasts support flood risk reduction, irrigation planning, reservoir operation and water allocation, while also improving energy efficiency and environmental protection [1-3].

Traditional hydrological predictive models, usually based on physical measurements and empirical equations, often struggle to predict the complex, nonlinear dynamics of natural river systems. To address these limitations, data-driven approaches based on Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) have become increasingly popular with the expansion of technological possibilities. These methods offer adaptable and highly effective solutions for modeling hydrological processes under various environmental conditions [4,5].

Kisi and Cimen [6] investigated the accuracy of wavelet and support vector machine conjunction model in the prediction of monthly streamflow. They combined discrete wavelet transform and support vector machine methods, and compared with the single support vector machine. They expressed that results show that the conjunction model could increase the prediction accuracy of the support vector machine model. De'ath and Fabricius [7] showed that classification and regression trees (CART) are well suited to complex ecological data. They handled nonlinear relationships, higher-order interactions, and missing values while still giving interpretable results. They also showed that spatial predictors can substitute for physical variables when the latter are unavailable, and that linear models failed to reveal patterns captured by the trees. Supporting tree-based models, Gaussian Process regression offers probabilistic forecasts with principled uncertainty quantification, which is valuable for hydrological decision-making [8]. Solomatine and Ostfeld [9] provided an overview of data-driven modelling in river-basin management. They summarized widely used machine-learning and computational-intelligence methods, reported practical experiences, and highlighted recent trends. The authors noted typical pitfalls—such as overfitting and data limitations—and emphasized that robust validation and adequate data are essential when complementing physically based models.

Chen and Guestrin [10] employed XGBoost, a highly effective and widely used gradient-boosting framework. They stated that its sparsity-aware learning and weighted quantile sketch, together with cache-friendly and distributed implementations, enable training on billions of examples with modest resources. These properties make XGBoost useful for hydrological prediction tasks involving nonlinearities, missing data, and mixed predictors. El-Shafie et al. [11] developed an ANFIS model for monthly rainfall on the Klang River using 1997–2008 data from the Klang Gates Dam. They optimized inputs and structure by trial-and-error and evaluated performance with RMSE, R^2 , NSE, gamma, and Spearman coefficients. The ANFIS model outperformed a standard ANN, yielding closer agreement with observations.

Sarigol et al. [12] investigated monthly streamflow prediction at two gauges in the Konya Closed Basin using Emotional Neural Network (EmNN), Long Short-Term Memory (LSTM), Elman Neural Network (ENN), Nonlinear AutoRegressive with eXogenous inputs (NARX), Recurrent Neural Network (RNN), and the Group Method of Data Handling (GMDH). Using partial autocorrelation (PACF) to select lagged inputs, they reported that GMDH achieved the best scores. Their results highlight the value of soft-computing models for semi-arid hydrology and provide guidance for operational model selection. Okkan and Dalkilic [13] compared feedforward neural networks (FFNN) and generalized regression neural networks (GRNN) for monthly reservoir inflow prediction at Kemer Dam (Buyuk Menderes Basin, Turkey). They found that GRNN performed better during training whereas FFNN generalized better in testing. Seasonal analyses (box plots; Mann–Whitney U) indicated FFNN excelled in summer/autumn

and GRNN in winter/spring. The study confirmed both FFNN and GRNN as viable “black-box” tools for inflow modeling without explicit process descriptions.

Al-Juboori [14] investigated monthly streamflow estimation for the Adhaim River. Because using only SVM gave weak results, he proposed a hybrid approach consisting of three machine learning models: K-means clustering, Bayesian networks, and Support vector machine, and obtained significantly better results. Pramanik and Panda [15] studied daily barrage outflow to reduce downstream flood risk during the rainy season. They compared artificial neural networks (ANN) and an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) using reservoir release data from the Hirakud Dam with 1–3 days of lags as inputs. They tested five input sets and three ANN training algorithms (conjugate gradient, Levenberg–Marquardt, gradient descent). Using three lagged inputs with the conjugate-gradient trainer produced the best results, and overall ANFIS performed better than ANN.

This study investigates the predictive performance of tree-based and linear models for monthly streamflow. Using observed discharge data obtained from flow monitoring stations managed by the General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) in Turkey, we evaluate four algorithms and find that tree-based models provide the most reliable accuracy for water resources planning and management.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Working Area

The Cine Stream is a medium-sized stream located in the south-east of the Buyuk Menderes Basin, originating in the Madran Mountains on the Muğla-Aydın border and flows in a north-west direction between approximately 37°28'-37°47' N and 28°05'-28°22' E and joins the Buyuk Menderes River (Figure 1). With a drainage area of 1 620 km², Cine Stream flows for ~90 km from its mountainous source section with an average elevation of 905 m to 100 m in the Aydın plain.

The climate of the region shows micro-variations due to elevation differences along with the general Mediterranean characteristics of the basin: in the coastal plains winters are mild-rainy, summers hot-dry; in the upper basin winters are cooler and total annual precipitation tends to increase. According to the 1981-2010 normals of Aydın (57 m) and Cine (72 m) stations of the Turkish State Meteorological Service (MGM), the average annual precipitation is 730 mm, with January and December being the wettest and July and August being the driest months.



Figure 1. Buyuk Menderes Basin

In this study, monthly average flow data covering the period from October 1946 to September 2005 on the Cine Stream operated by the State Hydraulic Works (DSI) were used. Since the data are based on 59 years of hydrometric observations, they are suitable for evaluating both the long-term behavior of the natural regime and the reflection of climate/land use variability on the flow. Flow records are presented in Table 1.

Flows averaged $5.89 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ for the period 1946-2005, with a maximum monthly average of $15.18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (February) and a minimum of $0.99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (August). On the basis of hydrological year (October-September), in accordance with the typical Mediterranean regime of the basin, the highest flows occur in December-March and the lowest in July-September.

Table 1. Chronological list of monthly mean streamflows ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) of Cine Stream (1946 – 2005)

| Months | Streamflow |
|-----------|------------|
| October | 1.36 |
| November | 2.82 |
| December | 8.24 |
| January | 14.33 |
| February | 15.19 |
| March | 11.29 |
| April | 7.14 |
| May | 4.18 |
| June | 2.60 |
| July | 1.55 |
| August | 0.99 |
| September | 1.03 |

2.2.Data Collection and Model Implementation

In this study, monthly average flow data from Cine Stream covering the period from October 1946 to September 2005 were used. The data were obtained from the General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) and are suitable for long-term hydrological analyses since they include 59 years of continuous observations.

To predict monthly streamflow, three machine learning algorithms were applied:

- **Regression Tree (RT):**

Regression Tree (RT) is a supervised learning technique used for predicting continuous values through a hierarchical tree structure. It works by recursively splitting the data into subsets based on the feature that minimizes the error in each node, typically using the mean squared error (MSE) criterion. RT models are particularly useful for handling nonlinear relationships and interactions between variables without the need for data transformation or complex preprocessing. In the context of hydrological forecasting, regression trees offer a simple yet powerful way to model streamflow behavior, especially when the underlying physical processes are difficult to quantify. Their transparency and interpretability make them suitable for decision-making in environmental applications.

- **Bootstrap Aggregated Trees (Bagged Trees):**

Bagged Trees, or Bootstrap Aggregated Trees, is an ensemble learning method that constructs multiple regression trees using different random samples of the training data and then averages their predictions. This technique reduces model variance and mitigates the sensitivity of individual decision trees to small changes in the dataset. By aggregating the outcomes of diverse trees, Bagged Trees often yield more stable and accurate predictions. In hydrological applications, Bagged Trees are advantageous when dealing with noisy or sparse data, as they increase the robustness and reliability of streamflow forecasting. The ensemble approach also helps capture the variability and complexity inherent in river discharge processes.

- **Linear Regression (LR):**

Linear Regression (LR) is one of the most widely used and foundational statistical modeling techniques for predicting a continuous dependent variable based on one or more independent variables. It assumes a linear relationship between the inputs and the target variable. Despite its simplicity, LR can provide meaningful insights into the relationship between hydrological variables and serve as a baseline for more advanced models. In this study, Linear Regression is utilized to establish a comparative benchmark for evaluating the performance of more complex models. While it may not fully capture nonlinear behaviors in river systems, its interpretability

and low computational cost make it a useful tool in early-stage model development.

- **Lasso Regression (Lasso):**

Lasso Regression, short for Least Absolute Shrinkage and Selection Operator, is a linear regression model that incorporates L1 regularization to prevent overfitting and enhance model interpretability. Unlike traditional linear regression, Lasso can shrink some coefficients exactly to zero, effectively performing feature selection during model training. This makes it particularly beneficial in datasets with a large number of predictors or multicollinearity among input variables. In hydrological modeling, Lasso is valuable for identifying the most influential factors affecting streamflow while eliminating noise from less relevant variables. This results in a more parsimonious model that maintains accuracy and generalization capability.

The models were developed and trained using MATLAB's Regression Learner App. For each model, the dataset was divided into training (80%) and testing (20%) sets to evaluate the model's generalization performance. The input variable for each prediction was the streamflow values of the previous months, allowing the models to capture temporal dependencies and seasonality patterns inherent in hydrological time series.

Model performance was assessed using three commonly adopted error metrics:

- **R-squared (R²):** Proportion of variance in the observations explained by the model.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

where y_i are observations, \hat{y}_i predictions, \bar{y} the mean of y_i , and n the sample size.

- **Root Mean Square Error (RMSE):** Average magnitude of the prediction errors, expressed in the same units as the target.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

- **Average Absolute Percentage Error (AAPE):** Mean absolute error expressed as a percentage of the observed values.

$$AAPE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

All models were compared based on these metrics, and their prediction results were visualized through scatter plots comparing observed and predicted streamflow values. This allowed for a comprehensive evaluation of how well each machine learning method captured the underlying patterns in the historical data.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the streamflow data of the Cine Stream between the years 1946 and 2005 are used implementing four different machine learning algorithms: Regression Tree, Bagged Trees, Linear Regression, and Lasso. Model performances were evaluated using R-squared (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and Average Absolute Percentage Error (AAPE) metrics. The results are summarized in Table 2.

Table 2. R-squared, RMSE and AAPE values for the models

| Model | R^2 | RMSE (m ³ /s) | AAPE (%) |
|---|--------|--------------------------|----------|
| Regression Tree | 0.8994 | 0.9161 | 7.5880 |
| Bootstrap Aggregated Trees (Bagged Trees) | 0.8116 | 1.2538 | 13.0406 |
| Linear Regression | 0.3069 | 2.4050 | 21.2775 |
| Lasso Regression | 0.1866 | 2.6054 | 23.6972 |

As shown in Table 2, the Regression Tree model provided the best performance with an R^2 of 0.8994, an RMSE of 0.9161 m³/s, and AAPE of 7.588% while the Lasso Regression model showed the lowest prediction accuracy.

Scatter plots of actual versus predicted values for each model are shown in Figures 2-5. The diagonal dashed line represents the ideal prediction line (1:1 line). Among the tested algorithms, Regression Tree yielded the best overall performance, achieving the highest R^2 and the lowest RMSE. Bagged Trees also performed well, while Linear Regression and Lasso Regression showed relatively lower accuracy.

As seen in Figure 2, the actual and predicted values are quite close, with little scatter. The Regression Tree model captured the general trend well across the data range. While there is occasionally a slight underestimation at higher values, overall performance is strong ($R^2 \approx 0.90$; low error).

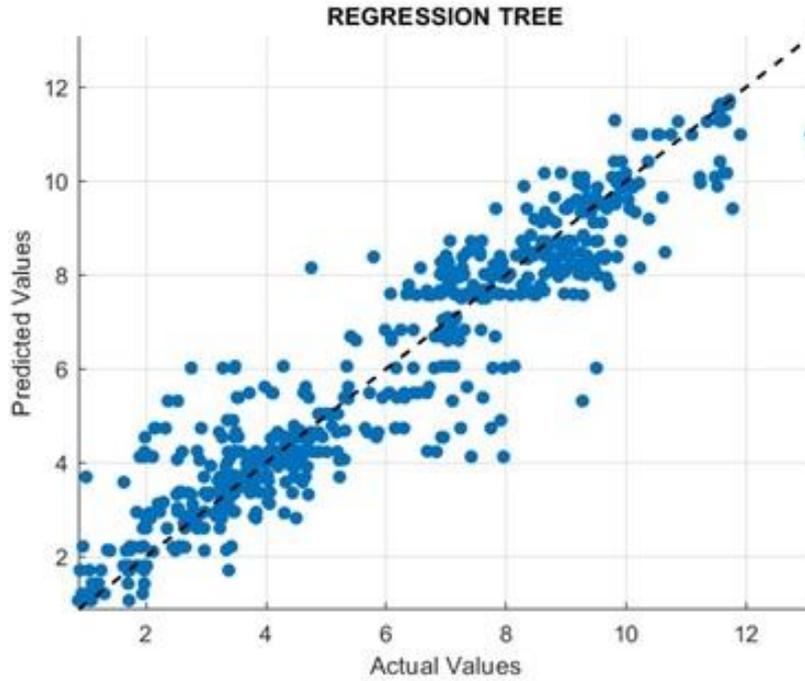


Figure 2. Observed vs Predicted Scatter Plot- Regression Tree

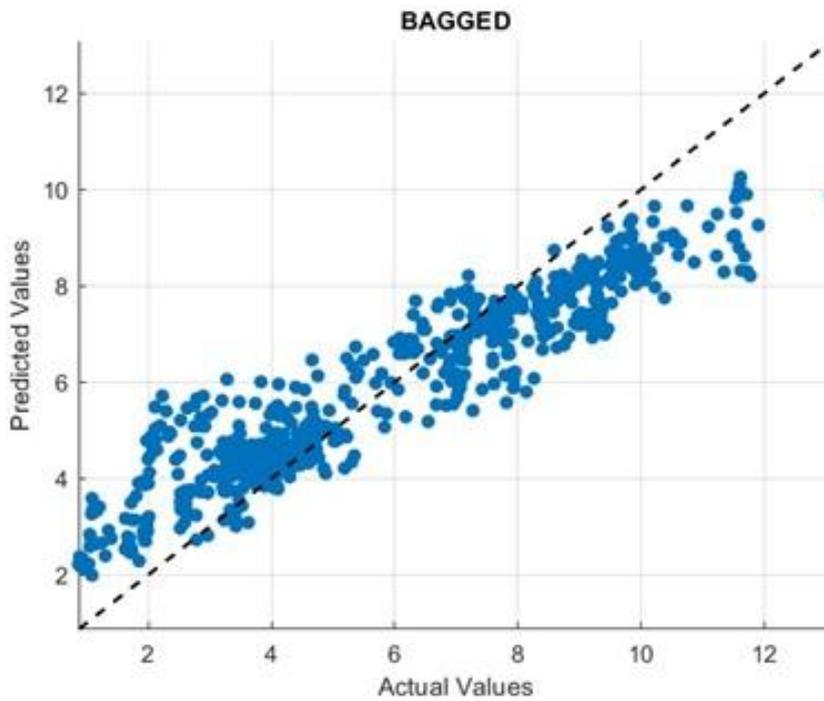


Figure 3. Observed vs Predicted Scatter Plot- Bagged Trees

In Figure 3, the general trend appears correct; the points are again clustered around the reference line. However, especially at higher values, the model tends to be a bit conservative, biasing predictions towards the mean. Despite this, the results are satisfactory and stable ($R^2 \approx 0.81$).

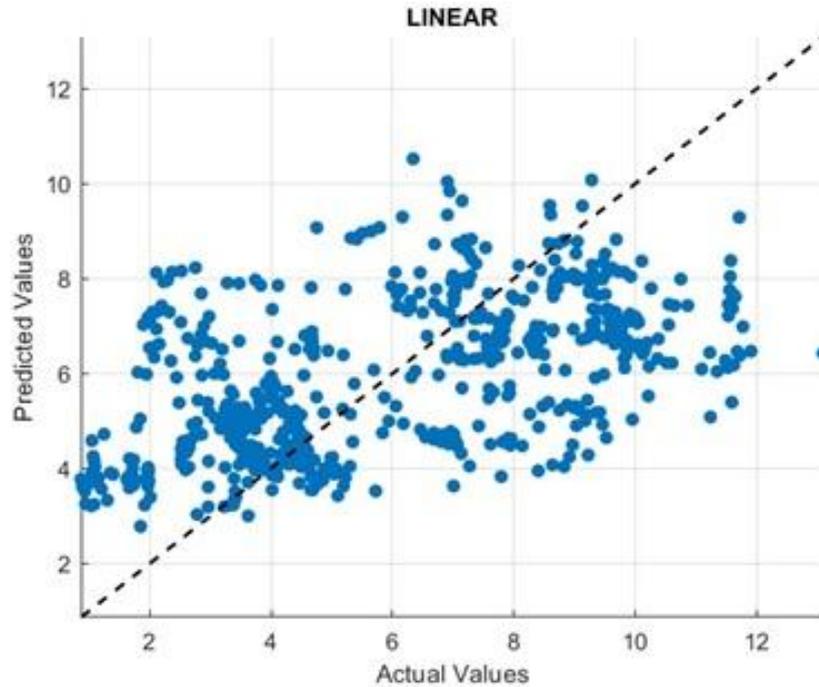


Figure 4. Observed vs Predicted Scatter Plot- Linear Regression

When examining Figure 4, it appears that the points deviate widely from the perfect line. The model cannot adequately represent the relationships in the data; there is a tendency to overestimate low values and underestimate high values. It is clear that the errors are serious, and the model performance is low ($R^2 \approx 0.31$).

Figure 5 shows that the results are similar to the linear model, but due to further simplification, it captures the relationship even more poorly. In particular, it significantly underestimates the higher values; the estimates are concentrated in a narrow band, increasing the error and reducing the prediction power ($R^2 \approx 0.19$).

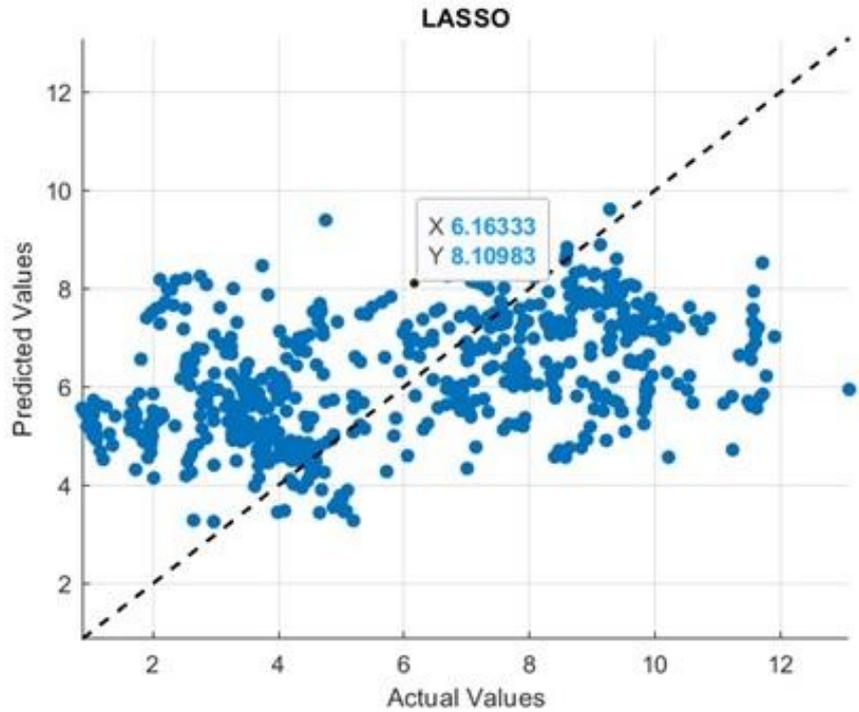


Figure 5. Observed vs Predicted Scatter Plot- Lasso Regression

4. CONCLUSION

This study focused on predicting monthly streamflow using four different machine learning models, Regression Tree, Lasso Regression, Bagged Trees, and Linear Regression, by utilizing long-term observed discharge data from the Cine Stream in the Buyuk Menderes Basin, Turkey.

The models were trained and tested using MATLAB's Regression Learner environment, and their performances were evaluated using three key statistical indicators: R-squared (R^2), Root Mean Square Error (RMSE), and Average Absolute Percentage Error (AAPE).

The findings revealed that the Regression Tree model achieved the highest predictive accuracy, with an R^2 of 0.8994, RMSE of 0.9161 m^3/s , and AAPE of 7.588%, indicating strong agreement between predicted and actual values. Bagged Trees followed RT in performance, offering more stability compared to Linear Regression and Lasso Regression, though with slightly reduced accuracy. On the other hand, LR and LASSO underperformed significantly, suggesting that these linear models were less capable of capturing the nonlinear patterns in the streamflow data.

From a practical perspective, the results suggest that tree-based models, particularly Regression Tree, are better suited for river systems like Cine Stream that exhibit seasonal variability and nonlinear hydrological behavior. Overall, the study provides a systematic comparison of machine-learning techniques for hydrological modeling and shows that regression-based ensemble approaches (e.g., bagged trees) can be effectively employed for operational flow

prediction. In semi-arid basins, these models offer reliable decision support for water-resources management, drought planning, and flood-risk control.

REFERENCES

1. Heidari, H., Arabi, M., Warziniack, T., & Sharvelle, S. (2021). Effects of urban development patterns on municipal water shortage. *Frontiers in Water*, 3, 694817.
2. The Nature Conservancy. (2017, May). *The power of rivers: A business case*. The Nature Conservancy.
3. World Bank. (2024, March 12). *Türkiye's climate-smart future*. World Bank.
4. Yaseen, Z. M., & El-Shafie, A. (2015). Artificial intelligence based models for streamflow forecasting: 2000–2015. *Journal of Hydrology*, 530, 829–844.
5. He, Z., & Wu, Z. (2014). Comparative study of ANN, ANFIS and SVM models for river flow forecasting in semi-arid mountainous region. *Journal of Hydroinformatics*, 16(3), 695–709.
6. Kisi, O., & Cimen, M. (2011). A wavelet-support vector machine conjunction model for monthly streamflow forecasting. *Journal of Hydrology*, 399(1–2), 132–140.
7. De'Ath, G., & Fabricius, K. E. (2000). Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81(11), 3178–3192
8. Rasmussen, C. E., & Williams, C. K. I. (2006). *Gaussian Processes for Machine Learning*. MIT Press.
9. Solomatine, D. P., & Ostfeld, A. (2008). Data-driven modelling: some past experiences and new approaches. *Journal of Hydroinformatics*, 10(1), 3–22.
10. Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794.
11. El-Shafie, A., Noureldin, A., Taha, M. R., & Basri, H. (2007). Adaptive neuro-fuzzy inference system for rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 362(1–2), 1–13.
12. Sarıgöl, M., Katipoğlu, O. M., & Dalkilic, H. Y. (2024). Applying Data-Driven Modeling for Streamflow Prediction in Semi-Arid Watersheds: A Comparative Evaluation of Machine Learning and Deep Learning Methodologies. *Pure and Applied Geophysics*, 181(12), 3561-3589.
13. Okkan, U., & Dalkilic, H. Y. (2011). Reservoir inflow modeling with artificial neural networks: the case of Kemer Dam in Turkey.
14. Al-Juboori, A. (2023). Modeling monthly streamflow of intermittent rivers in semi-arid regions using a hybrid forecasting model.
15. Pramanik, N., & Panda, R. K. (2009). Application of neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system for river flow forecasting. *Hydrological Sciences Journal*, 54(2), 247–260.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TERNARY BLENDED MORTARS

İnş. Müh., Yasin DURMAZ

yasin.durmaz@gmail.com - 0009-0004-3738-4412

Dr. Öğr. Üyesi, Şevket Onur KALKAN

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr - 0000-0003-0250-8134

Prof. Dr., Lütfullah GÜNDÜZ

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr - 0000-0003-2487-467X

ABSTRACT

Cement production is one of the major sources of CO₂ emissions, contributing significantly to global warming and environmental degradation. Therefore, the partial replacement of cementitious materials with industrial by-products has become an essential strategy to promote sustainability in construction materials. Studies conducted in recent years have yielded positive results in reducing the use of cement in ternary and quaternary binder systems. However, in these studies, it is observed that the most important component of the ternary and quaternary binder system is still cement. In this study, the combined use of blast furnace slag (BFS) and mill scale (MS) as partial substitutes for silica fume (SF) in ternary blended (gypsum + lime + silica fume) mortars was investigated to assess their effects on workability, unit weight, mechanical strength, and water absorption. The results revealed that the replacement of SF with BFS and MS generally decreased the flowability of mortars due to the rougher and more angular particle morphology of these materials. Both BFS and MS increased the fresh and hardened unit weights of the mortars, reflecting their higher specific gravities compared to SF. Water absorption tests demonstrated that both BFS- and MS-modified mortars exhibited reduced permeability compared to the reference mixture, indicating a denser and less porous matrix. In addition, it was observed that both the compressive strength and splitting tensile strength of the mortars improved when both materials were used.

Anahtar Kelimeler: Blast furnace slag, mill scale, ternary blended mortar, industrial waste utilization, physical and mechanical properties.

1. INTRODUCTION

Concrete is the most widely used construction material in the building industry due to its versatility and availability [1]. Its excellent compressive strength, durability, and adaptability to various structural forms make it an essential component of modern infrastructure and architecture. This widespread utilization underscores its critical role in construction, encompassing buildings, bridges, roads, and various other structures. The production of concrete involves the use of significant binders, primarily cement and aggregates, which are essential for achieving the desired structural integrity and performance characteristics of concrete.

The cement industry stands as a cornerstone in the realm of construction materials. Cement's unique properties make it indispensable for providing the binding strength required in concrete mixtures. However, the production process of cement is not without substantial environmental concerns. One of the most pressing issues is the high level of carbon emissions associated with cement manufacturing. The cement industry is responsible for approximately 5-10% of global anthropogenic CO₂ emissions every year [2–4]. This significant contribution to the global carbon footprint is largely due to the chemical processes involved in producing cement, specifically the calcination of limestone, which releases large quantities of CO₂.

Cement related CO₂ emissions, these emissions stem directly from the essential chemical reactions that occur during cement production. The calcination process, where calcium carbonate (limestone) is heated to produce calcium oxide (lime), results in the release of CO₂. Additionally, the energy-intensive nature of cement production, which often relies on fossil fuels, further exacerbates its environmental impact. Beyond carbon emissions, cement manufacturing also entails the extensive consumption of natural resources, including raw materials such as limestone, clay, and sand, as well as significant amounts of water and energy [5].

Given these environmental challenges, there is a growing imperative to explore sustainable alternatives that can reduce the reliance on traditional cement. This includes the development of innovative materials and methods that not only maintain the performance standards of concrete but also mitigate its environmental footprint [6–11]. The exploration of such alternatives is crucial for advancing sustainable construction practices and addressing the global environmental concerns associated with the cement industry.

Products with ternary and quaternary binder systems are sometimes designed with generally lower amounts of cement and have been tried in recent years as binders to reduce the environmental damage caused by cement.

Hassan & Ibrahim [12], investigated the performance of high-strength flowable concrete (HSFC) with up to 70% of Portland cement replaced by SCMs, testing 16 mixes under normal and high-temperature conditions. The results showed that HSFC with high SCM content performed similarly or even better than normally cured concrete, even under hot climate conditions.

Dave et al. [13] developed quaternary binder and mortar systems with Portland cement partially replaced by SCMs (FA, SF, GGBS, MK, LP) at 30–50%. Tests on binders and mortar mixes showed that quaternary binders, particularly those with GGBS and MK, achieved higher compressive strength and better permeability than lime-based mixes, demonstrating suitability for industrial applications.

Dave et al. [14] studied quaternary binders with 30–50% OPC replaced by SCMs (FA, GGBS, MK, SF) at a constant water-to-binder ratio and binder content. Tests on mechanical properties and durability showed that certain quaternary mixes outperformed control and binary concretes, demonstrating enhanced strength, durability, and sustainability compared to 100% OPC concrete.

Zhang et al. [15] developed a quaternary binder using GGBS, red mud, steel slag, and flue gas desulfurization gypsum to recycle solid wastes. Tests and ANN predictions showed synergistic interactions among components, with certain additives enhancing hydration and compressive strength, and a genetic algorithm identified the optimal binder composition.

Golewski [16] investigated plain concretes using a quaternary binder with SCMs (FA, SF, nanosilica) and explored nanotechnology applications. Results showed the quaternary concrete had high mechanical performance, well-developed microstructure, and significantly reduced CO₂ emissions, making it a sustainable and effective alternative to conventional OPC concrete.

Vignesh and Rahim [17] developed a high-strength quaternary binder with 30–40% GGBS, 5–15% MK, and 5% lime powder to reduce cement-related CO₂ emissions. Compressive strength and microstructure analyses showed the mix with highest GGBS content achieved 54.13 MPa at 28 days.

Han et al. [18] studied the optimal design of quaternary cement paste with cement, limestone, clay, and slag, focusing on 28-day strength, electrical resistivity, and cost. Results showed that increasing limestone, clay, and slag decreased strength, increased resistivity, and lowered cost, and the proposed optimization method effectively balances these factors for sustainable structural material design.

Shetty et al. [19] studied a high-strength quaternary binder with CSSP, FFA, GGBS, and OPC. Among six mixes, the optimum M2 (10% CSSP, 20% GGBS) achieved 48.5 MPa at 90 days, showed minimal strength and mass losses in aggressive environments, and reduced CO₂ emissions by 68.58% and cost by 22.78%, proving it a sustainable and economical alternative to OPC.

In light of the pressing need to mitigate these environmental impacts, the development and adoption of environmentally friendly alternative materials are paramount. This study focuses on one such innovative approach which is the production of cementless mortar using waste materials, specifically blast furnace slag and mill scale. The literature review reveals that cement is always used in ternary and quaternary binder systems. This application limits the environmental concerns of these products.

Proper management of waste materials is critical in large-scale activities like the construction industry. Repurposed by industrial by-products, this study aims to address the dual challenges of waste management and environmental sustainability. The research presented in this study investigates the physical and mechanical properties of cementless concrete, emphasizing the use of blast furnace slag and mill scale as alternative binders. In this study, blast furnace slag

and scale were compared as waste materials in the design of the ternary binder system. The study examines key characteristics such as unit weight, flowability, compressive and splitting tensile strength, and water absorption, providing a comprehensive assessment of the performance of these eco-friendly mortar formulations.

The significance of this study lies in its potential to promote sustainable construction practices by utilizing waste materials, thereby removing the reliance on cement and mitigating its environmental impacts. The findings are expected to contribute to the development of policies and strategies aimed at enhancing sustainability in the construction sector. Ultimately, this research underscores the importance of innovative solutions in addressing the environmental challenges posed by the cement industry, paving the way for greener and more sustainable building practices.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

In this study, blast furnace slag and mill scale were compared as waste materials in the design of the ternary binder system. In other words, the triple system was produced by mixing gypsum, lime, silica fume and blast furnace slag, also gypsum, lime, silica fume and mill scale separately in certain proportions.

Gypsum (Figure 1) is a widely used mineral in the construction industry, primarily composed of calcium sulfate dihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). It boasts properties such as rapid setting, workability, and fire resistance. It finds common application in interior wall and ceiling finishes, as a cement additive, and in decorative elements. Additionally, it offers sustainability benefits such as low energy consumption and recyclability. However, attention is needed regarding its sensitivity to moisture and mechanical strength. In this study, gypsum was used to harden the mortar in a suitable time and form a solid form.



Figure 1. Gypsum

CL90 lime (Figure-2) is a type of lime used in construction and various industrial applications. It is also known as high-calcium lime or Type S lime. CL90 lime is characterized by its high calcium oxide content, typically exceeding 90%, and low impurity levels. It has excellent plasticity and workability, making it suitable for applications such as mortar production, soil stabilization, and chemical manufacturing. In construction, CL90 lime is often used in masonry mortars, plastering, and as a binder in traditional lime-based renders and coatings. Its use can improve the workability and durability of mortars, as well as enhance the performance of lime-based materials in heritage conservation projects. Overall, CL90 lime is a versatile and valuable material in construction, offering a range of benefits including plasticity, workability,

durability, and hydraulicity, and it plays a significant role in both traditional and modern building practices. Lime was used in this study to react with the pozzolans in the ternary binder system to initiate the pozzolanic reaction.



Figure 2. CL-90 Lime

In this study, the last component of the ternary binder system is silica fume (Figure 3). Silica fume is commonly used as a supplementary cementitious material (SCM) in high-performance concrete mixtures, particularly in applications where strength, durability, and resistance to aggressive environments are critical, such as in bridge decks, marine structures, high-rise buildings, and industrial flooring. Its use contributes to the development of high-performance and sustainable concrete mixtures, addressing the evolving demands of modern construction practices.



Figure 3. Silica Fume

In this study, in the ternary binder system, silica fume as a pozzolan was partially replaced with mill scale (Figure 4) at certain proportions. Mill scale is the layer of iron oxide formed on the surfaces of steel, slabs, and billets during annealing in rolling mills, continuous casting plants, and reheating furnaces due to oxidation [20]. Containing more than 70% iron, this material has long been considered a waste product in iron and steel plants and was sold as such. In recent years, facilities in Turkey have been established to directly produce reduced iron from tufal, enabling its recycling back into the iron and steel industry.



Figure 4. Mill Scale

In this study, in the ternary binder system, silica fume as a pozzolan was also partially replaced with blast furnace slag (Figure 5) at certain proportions in a separate series. Blast furnace slag is a by-product generated during the iron-making process in blast furnaces. It's primarily composed of silicates and aluminosilicates, along with smaller amounts of other compounds such as calcium oxides and magnesium oxides. Blast furnace slag forms when iron ore, coke, and limestone are heated in a blast furnace to produce molten iron. During this process, impurities in the raw materials combine with fluxing agents to form slag, which floats on top of the molten iron and is tapped off separately.



Figure 5. Blast Furnace Slag

In this study, PVA fiber was used as reinforcement. Polyvinyl alcohol (PVA) fiber (Figure 6) is a synthetic material prized for its exceptional strength, high modulus, and resistance to chemicals, finding versatile applications across industries. Its outstanding tensile strength makes it perfect for reinforcing materials like concrete, while its chemical resistance allows for use in environments with diverse chemical exposure. Notably, its water solubility enables temporary support in water-soluble films and binders in certain concretes.



Figure 6. PVA Fibers

The oxide composition of the materials used in the study determined by XRF analysis is given in Table 1.

Table 1. Chemical composition of gypsum, lime, silica fume, mill scale and blast furnace slag.

| | Gypsum (%) | Lime (%) | SF (%) | MS (%) | BFS (%) |
|--------------------------------|------------|----------|--------|--------|---------|
| SiO ₂ | 2.81 | 2.58 | 95.12 | 0.23 | 34.87 |
| Al ₂ O ₃ | 0.67 | 0.35 | 0.24 | 0.03 | 13.24 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.41 | 0.24 | 0.35 | 68.00 | 0.47 |
| MgO | 2.57 | 1.76 | 0.37 | 0.15 | 6.45 |
| CaO | 31.2 | 71.08 | 0.27 | 1.08 | 41.95 |
| Na ₂ O | 0.01 | 0.01 | 0.26 | 0.17 | 0.28 |
| K ₂ O | 0.11 | 0.02 | 0.54 | - | 0.33 |
| SO ₃ | 40.3 | 0.05 | 0.29 | - | 1.22 |
| LOI | 21.94 | 23.87 | 2.53 | 0.01 | 0.35 |

2.2. Methods

In this study, the mixture design shown below in Table 2 has been used.

Table 2. Mixture design

| | Gypsum (g) | Lime (g) | SF (g) | Sand (g) | PVA Fiber (g) | BFS (g) | MS (g) | Water (g) |
|------|------------|----------|--------|----------|---------------|---------|--------|-----------|
| R | 250 | 125 | 62.5 | 750 | 2.5 | 0 | 0 | 450 |
| BFS1 | 250 | 125 | 56.25 | 750 | 2.5 | 6.25 | 0 | 450 |
| BFS2 | 250 | 125 | 50.00 | 750 | 2.5 | 12.50 | 0 | 450 |
| BFS3 | 250 | 125 | 43.75 | 750 | 2.5 | 18.75 | 0 | 450 |
| BFS4 | 250 | 125 | 37.50 | 750 | 2.5 | 25.00 | 0 | 450 |
| BFS5 | 250 | 125 | 31.25 | 750 | 2.5 | 31.25 | 0 | 450 |
| MS1 | 250 | 125 | 56.25 | 750 | 2.5 | 0 | 6.25 | 450 |
| MS2 | 250 | 125 | 50.00 | 750 | 2.5 | 0 | 12.50 | 450 |
| MS3 | 250 | 125 | 43.75 | 750 | 2.5 | 0 | 18.75 | 450 |
| MS4 | 250 | 125 | 37.50 | 750 | 2.5 | 0 | 25.00 | 450 |
| MS5 | 250 | 125 | 31.25 | 750 | 2.5 | 0 | 31.25 | 450 |

In this study, eleven mortar mixes were prepared, including a reference mix (R) and two series in which silica fume (SF) was partially replaced by either blast furnace slag (BFS) or tufal (MS). The reference mix contained 250 g of gypsum, 125 g of lime, 62.5 g of SF, 750 g of sand, 2.5 g of PVA fiber, and 450 g of water, with no BFS or MS. In the BFS series, SF was gradually

replaced by BFS in five mixes: 6.25 g, 12.50 g, 18.75 g, 25.00 g, and 31.25 g, with the remaining SF adjusted accordingly, while the quantities of gypsum, lime, sand, PVA fiber, and water were kept constant and MS was not added. Similarly, in the MS series, SF was partially replaced by MS in the same proportions, with BFS absent and other components unchanged. This mix design enabled the investigation of the effects of partially replacing SF with BFS or MS on the fresh and hardened properties of the ternary binder mortars. Mortars produced with these design values were placed in cylindrical molds with a diameter of 50 mm and a height of 50 mm. The mortars were removed from the molds after 24 hours and cured in water at 20 ± 1 °C until the test date.

Determination of fresh and hardened mortar unit weights was carried out on fresh and hardened composite samples in accordance with TS EN 1015–6 [21] and TS EN 1015–10 [22] standards, respectively. Flowability of fresh mortar specimens were determined by using flow table apparatus in accordance with TS EN 1015–3 [23]. Water absorption tests were carried out in accordance with ASTM C642-13 [24]. Compressive strengths of mortars were determined in accordance with ASTM C39 [25]. Splitting tensile strengths of mortars were determined in accordance with ASTM C496 [26].

3. EXPERIMENTAL TEST RESULTS

3.1. Flowability

The flow diameters of the mortars determined by the flow table test are shown in Figure 7.

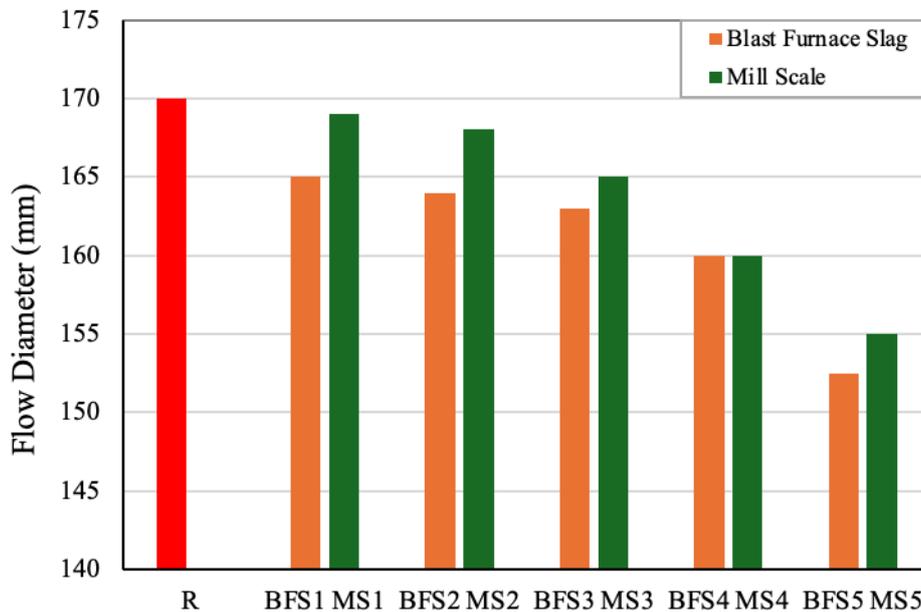


Figure 7. Flowability of Ternary Blended Mortars

Figure 7 illustrates the effect of replacing silica fume with varying amounts of blast furnace slag and mill scale on the flowability of mortar mixtures. The reference mixture (R), which contains only gypsum, lime and silica fume, exhibited the highest flow diameter of approximately 170 mm. When silica fume was partially replaced by BFS and MS, the flowability of the mortars decreased progressively with increasing replacement levels. From

BFS1/MS1 to BFS5/MS5, a noticeable reduction in flow diameter was observed. Silica fume particles are spherical in shape, which positively influences the fluidity of mortars by enhancing particle packing and reducing internal friction. In contrast, the BFS and MS particles, which have rougher surfaces and more angular geometries [27, 28], replaced silica fume in the mortars and increased internal friction within the mixture, thereby negatively affecting the overall fluidity. These characteristics increased internal friction within the mixture, thereby negatively affecting the flowability of the mortars. When comparing mixtures with the same replacement ratios, mortars containing MS consistently showed higher flow diameters than those containing BFS. This behavior can be attributed to the higher specific surface area and water absorption capacity of BFS, which increase the viscosity of the mixture and reduce its flowability. In contrast, MS, being finer and less water-demanding, helped to maintain a relatively higher workability. Consequently, the partial replacement of silica fume with either BFS or MS reduced the overall flowability of the mortars; however, MS replacement provided better flow performance compared to BFS. It has also been observed in literature studies that as the BFS and MS ratio in mortars increases, the workability of mortars decreases [27, 29].

3.2. Unit Weight

Fresh and hardened unit weights of the reference mortar and all test mortars are given in Table 3. When the table is examined, the results of both fresh and hardened unit weight measurements indicate that the replacement of silica fume with BFS and MS generally increased the density of the mortars. The reference mixture (R) exhibited the lowest unit weights, with 1610 kg/m³ in the fresh state and 1308 kg/m³ after hardening. As the replacement ratio of BFS and MS increased, a consistent rise in both fresh and hardened unit weights was observed. This trend suggests that both BFS and MS possess higher specific gravities compared to silica fume, resulting in denser mixtures. Among the two materials, MS-containing mortars exhibited slightly higher unit weights than those with BFS at equivalent replacement ratios. This difference can be attributed to the denser structure of MS particles. Overall, the substitution of silica fume with BFS and MS led to an increase in both fresh and hardened densities of the mortars, with BFS replacements yielding the highest unit weight values. In light of this information, it can be predicted that the mechanical properties of mortars with increasing unit weight may also increase. BFS is a well-known pozzolanic material. It can be said that its pozzolanic properties will both make the mortar microstructure denser and, because it is heavier than SF, will increase the unit weight of the mortar. However, as can be seen from Table 1, MS is not considered a pozzolanic material due to its chemical and mineralogical characteristics. Pozzolanic materials are typically rich in amorphous silica (SiO₂) and alumina (Al₂O₃), which can react with calcium hydroxide [Ca(OH)₂] in the presence of moisture to form additional calcium silicate hydrate (C–S–H) phases. However, mill scale primarily consists of iron oxides such as Fe₂O₃, Fe₃O₄, and FeO, while its contents of reactive SiO₂ and Al₂O₃ are extremely low. Furthermore, the crystalline structure of MS limits its chemical reactivity. As a result, MS does not exhibit any significant pozzolanic activity. Instead, it acts mainly as an inert filler material that may contribute to the densification of the microstructure and, to a limited extent, enhance mechanical properties through physical effects rather than chemical reactions.

Table 3. Unit Weight Values of Mortars

| | Fresh Unit Weight (kg/m ³) | Hardened Unit Weight (kg/m ³) |
|------|--|---|
| R | 1610 | 1308 |
| BFS1 | 1630 | 1353 |
| BFS2 | 1660 | 1356 |
| BFS3 | 1665 | 1364 |
| BFS4 | 1715 | 1392 |
| BFS5 | 1745 | 1406 |
| MS1 | 1650 | 1366 |
| MS2 | 1660 | 1384 |
| MS3 | 1685 | 1390 |
| MS4 | 1732 | 1399 |
| MS5 | 1748 | 1425 |

3.3. Compressive Strength

Compressive strength values of the reference mortar and all test mortars are given in Figure 8.

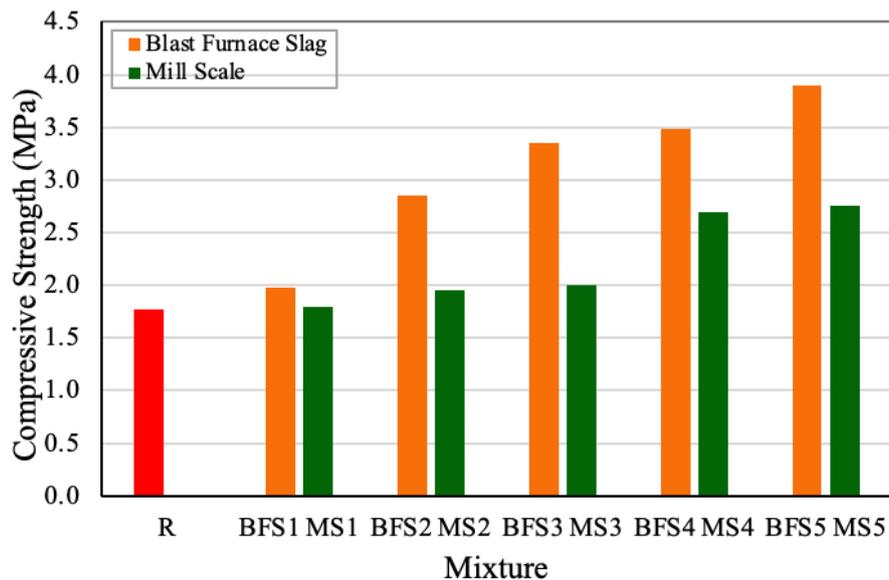


Figure 8. Compressive Strength Values of Ternary Blended Mortars

The graph presents the variation of compressive strength for mortars in which silica fume was partially replaced with blast furnace slag and mill scale. The reference mixture (R), containing only gypsum, lime and silica fume, exhibited the lowest compressive strength, approximately 1.76 MPa. When silica fume was substituted with BFS and MS, a consistent increase in compressive strength was observed, particularly with BFS replacement. The BFS-containing mortars showed a clear upward trend, reaching a maximum strength of nearly 4.0 MPa at the BFS5 level. This improvement can be attributed to the latent hydraulic activity of BFS, which contributes to additional calcium silicate hydrate (C–S–H) formation and densification of the microstructure. In contrast, MS-containing mortars also exhibited an increase in strength compared to the reference mixture; however, their values remained lower than those of BFS mixtures at corresponding replacement ratios. This behavior is consistent with the non-

pozzolanic nature of MS, as its high Fe_2O_3 content provides limited chemical reactivity. The slight strength improvement in MS mixtures can be explained by the filler effect of fine MS particles, which enhance packing density rather than participating in chemical bonding. The increase in both fresh and hardened unit weights observed in the mixtures containing BFS and MS is directly reflected in the improvement of their compressive strengths. As the density of the mortars increased with higher replacement levels of BFS and MS, the internal porosity of the mixtures decreased, leading to a denser and more compact microstructure. This densification contributed to more effective stress transfer within the hardened matrix, thereby enhancing the compressive strength. The effect was more pronounced in the MS-containing mortars, where the higher density in greater strength gains. In contrast, although BFS primarily acted as pozzolanic material, its contribution to the packing density of the mixture also supported an improvement in strength. The correlation between higher unit weight and increased compressive strength indicates that the incorporation of BFS and MS not only increased the physical density of the mortars but also improved their mechanical performance by reducing voids and enhancing structural compactness. Overall, the replacement of silica fume with BFS significantly improved the compressive strength of mortars due to its hydraulic and pozzolanic contributions, while MS provided moderate enhancement mainly through physical densification. Additionally, the TS EN 998-1 standard specifies that the minimum compressive strength of mortars should be 0.4 MPa. Compared to this value, both the reference mortar and the test mortars are observed to have values at least 4 times and at most 10 times higher. According to the TS EN 13279-1 standard, gypsum-lime-based mortars must have a minimum compressive strength of 2 MPa. Compared to this, the test mortars produced in this study, ranging from BFS2 to BFS5 and MS3 to MS5, meet this criterion.

3.4. Splitting Tensile Strength

Splitting tensile strength values of the reference mortar and all test mortars are given in Figure 9.

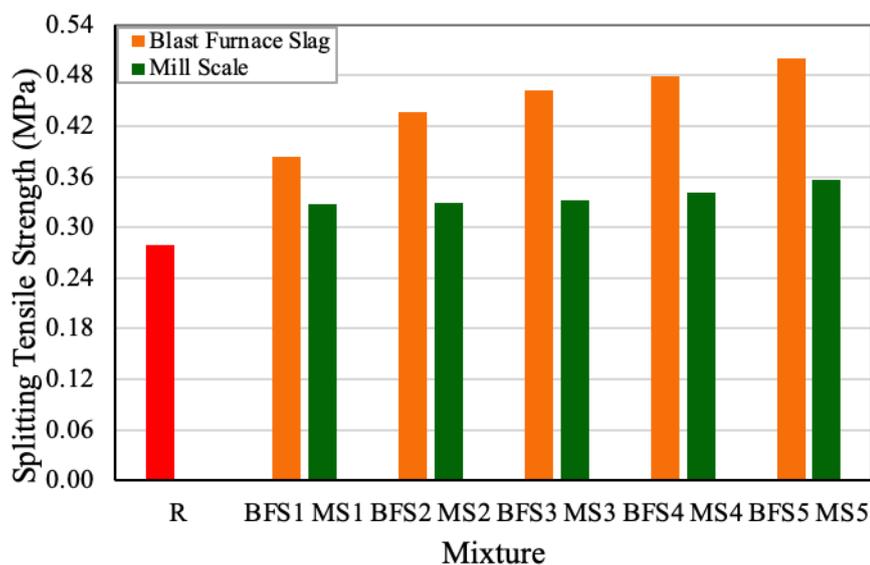


Figure 9. Splitting Tensile Strength Values of Ternary Blended Mortars

Figure 9 illustrates the variation in splitting tensile strength of mortars in which silica fume was partially replaced by blast furnace slag and mill scale. The reference mixture (R), containing only gypsum, lime and silica fume, exhibited the lowest tensile strength, approximately 0.28 MPa. With the incorporation of BFS and MS, the splitting tensile strength of the mortars increased noticeably. Similar to the trend observed in compressive strength, BFS-containing mortars achieved higher splitting tensile strength values than those containing MS at equivalent replacement levels. The maximum splitting tensile strength, around 0.50 MPa, was obtained in the BFS5 mixture. This enhancement in tensile strength can be attributed to the denser microstructure resulting from the higher specific gravity and fine particle distribution of BFS and MS, which reduced internal voids and improved the interfacial bond between binder and aggregates. The latent hydraulic activity of BFS further contributed to additional C–S–H formation, strengthening the internal matrix and improving tensile resistance. On the other hand, MS-containing mixtures showed relatively lower tensile strengths, primarily due to the inert nature of MS and its limited chemical reactivity. Nonetheless, the filler effect of MS particles contributed to some degree of improvement compared with the reference mixture. Overall, the results indicate that the increase in density and microstructural compactness achieved by BFS and MS replacements positively influenced not only compressive but also tensile strength, with BFS providing the most significant enhancement.

3.5. Water Absorption

Water absorption values of the reference mortar and all test mortars are given in Figure 10.

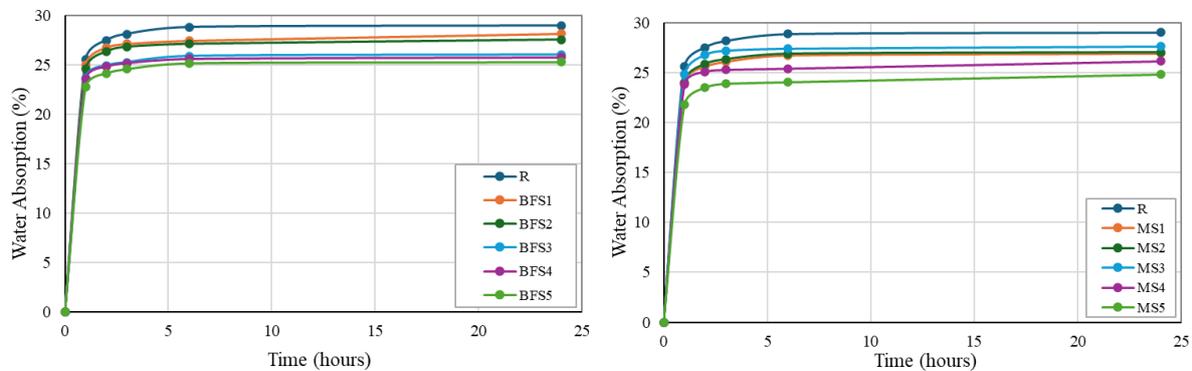


Figure 10. Water Absorption Values of Ternary Blended Mortars

When the results from all figures are evaluated together, a clear relationship can be observed between the density, mechanical properties, and water absorption behavior of the mortars. The replacement of silica fume with BFS and MS led to an increase in both fresh and hardened unit weights, which was reflected in the enhanced compressive and tensile strengths. The denser microstructure formed by the inclusion of these materials not only improved the mechanical performance but also reduced the permeability of the mortars.

As shown in Figure 10, the reference mixture (R) exhibited the highest absorption rate, indicating a more porous structure. In contrast, mixtures containing BFS and MS demonstrated a significant reduction in water absorption, particularly at higher replacement levels (BFS5 and MS5). This reduction can be attributed to the hydraulic and pozzolanic reactivity of BFS, which

results in the formation of additional C–S–H gels that fill the capillary pores and enhance microstructural compactness. The improved compactness is consistent with the observed increases in unit weight and strength. A similar trend was also observed in the mortars containing mill scale (MS). The water absorption of MS-modified mortars decreased compared to the reference mixture, indicating a denser internal structure. Although MS does not exhibit pozzolanic reactivity, the reduction in water absorption can be attributed to its filler effect, where fine and angular iron oxide particles occupy void spaces within the matrix, leading to improved particle packing and reduced pore connectivity. As the MS replacement ratio increased, a gradual decline in water absorption was recorded, suggesting enhanced compactness and lower permeability. Interestingly, the mortars containing MS exhibited lower water absorption values than those containing BFS, despite the lack of pozzolanic activity in MS. This behavior can be attributed to the hydrophobic nature of mill scale. The high iron oxide content and the surface characteristics of MS particles reduce their affinity for water, thereby limiting capillary suction within the mortar matrix. In addition, the fine and dense structure of MS contributes to improved particle packing, which decreases pore continuity and further hinders water penetration. Therefore, although BFS enhances compactness primarily through chemical reactions leading to additional C–S–H formation, MS appears to reduce water absorption mainly through its physical filling effect and inherent hydrophobic surface properties. This combination results in a less permeable and more water-resistant mortar structure compared to both the reference and BFS-containing mixtures.

4. CONCLUSIONS

Based on the experimental findings, the following conclusions can be drawn:

1. The partial replacement of silica fume (SF) with blast furnace slag (BFS) and mill scale (MS) reduced the flowability of mortars due to the angular morphology and rough surface texture of these materials. However, MS-incorporated mortars exhibited slightly higher flow diameters than BFS counterparts, mainly because of the lower water demand of MS.
2. Both fresh and hardened unit weights increased with BFS and MS incorporation, owing to their higher specific gravity compared to SF. Among them, MS-containing mortars exhibited marginally higher densities than BFS mixtures at the same replacement levels.
3. The compressive strength of mortars improved with increasing BFS and MS content. The enhancement was more pronounced in BFS mixtures due to the latent hydraulic and pozzolanic activity of BFS, whereas MS contributed primarily through a filler effect, leading to microstructural densification rather than chemical bonding.
4. The splitting tensile strength followed a similar trend to compressive strength, with BFS mixtures achieving the highest values as a result of additional C–S–H formation. MS mixtures also showed moderate improvements attributed to enhanced particle packing and reduced porosity.
5. Water absorption decreased significantly with BFS and MS replacement, indicating the formation of a denser and less permeable structure. BFS reduced permeability mainly through the generation of secondary C–S–H gels, while MS, despite its non-pozzolanic nature, exhibited even lower absorption due to its hydrophobic surface characteristics and compact particle structure.

6. Overall, the incorporation of BFS and MS improved the physical and mechanical performance of the ternary blended mortars by increasing density, reducing porosity, and enhancing strength. BFS contributed chemically through pozzolanic and hydraulic reactions, while MS enhanced performance physically through filler and hydrophobic effects.

REFERENCES

- [1] Khan S, Maheshwari N, Aglave G, Arora R. Experimental design of green concrete and assessing its suitability as a sustainable building material. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1126–1130, 2020.
- [2] Belaïd F. How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges? *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15, 200084, 2022.
- [3] Cheng D, Reiner D.M, Yang F, et al. Projecting future carbon emissions from cement production in developing countries. *Nature Communications*, 14, 8213, 2023.
- [4] Soomro M, Tam V.W.Y, Evangelista A.C.J. Production of cement and its environmental impact. *Recycled Concrete*, Elsevier, 11–46, 2023.
- [5] Fode T.A, Jande Y.A.C, Kivevele T. Effects of different supplementary cementitious materials on durability and mechanical properties of cement composite – Comprehensive review. *Heliyon*, 9, 2023.
- [6] Kalkan Ş.O, Gündüz L. Effect of porous aggregate size on the techno-mechanical properties of cementless lightweight mortars. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5, 168–175, 2018.
- [7] Gündüz L, Kalkan Ş.O. Anhidrit III katkısının çimento esaslı harcın performansına etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37, 959–972, 2022.
- [8] Kalkan Ş.O, Gündüz L. The influence of anhydrite III as cement replacement material in production of lightweight masonry blocks for unreinforced non-load bearing walls. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 7, 322–338, 2022.
- [9] Kabay N, Tufekci M.M, Kizilkanat A.B, Oktay D. Properties of concrete with pumice powder and fly ash as cement replacement materials. *Construction and Building Materials*, 85, 1–8, 2015.
- [10] Torkaman J, Ashori A, Momtazi A.S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. *Construction and Building Materials*, 50, 432–436, 2014.

- [11] Duan P, Shui Z, Chen W, Shen C. Enhancing microstructure and durability of concrete from ground granulated blast furnace slag and metakaolin as cement replacement materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 2, 52–59, 2013.
- [12] Hassan E-C, Ibrahim A. The performance of high-strength flowable concrete made with binary, ternary, or quaternary binder in hot climate. *Construction and Building Materials*, 47, 245–253, 2013.
- [13] Dave N, Misra A.K, Srivastava A, Kaushik S.K. Experimental analysis of strength and durability properties of quaternary cement binder and mortar. *Construction and Building Materials*, 107, 117–124, 2016.
- [14] Dave N, Misra A.K, Srivastava A, et al. Study on quaternary concrete micro-structure, strength, durability considering the influence of multi-factors. *Construction and Building Materials*, 139, 447–457, 2017.
- [15] Zhang J, Li S, Li Z. Investigation of synergistic effects in quaternary binder containing red mud, blast furnace slag, steel slag and flue gas desulfurization gypsum based on artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122972, 2020.
- [16] Golewski G.L. Green concrete based on quaternary binders with significant reduction of CO₂ emissions. *Energies*, 14, 4558, 2021.
- [17] Vignesh R, Rahim A.A. Mechanical and microstructural properties of quaternary binder system containing OPC-GGBS-Metakaolin-Lime. *Materials Today: Proceedings*, 64, 970–975, 2022.
- [18] Han Y, Lin R, Kim T, et al. Optimum design of the quaternary composite binder considering strength, cost, and electrical resistivity. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02623, 2023.
- [19] Shetty P.P, Rao A.U, Blesson S. Synergic effect of sustainable quaternary binder on quantitative and qualitative aspects of high strength mortar. *Emergent Materials*, 1–28, 2025.
- [20] Yeşiltepe S, Şeşen M.K. Production of composite pellets from waste coffee grounds, mill scale and waste primary battery to produce ferromanganese; a zero waste approach. *Acta Metallurgica Slovaca*, 26, 45–48, 2020.
- [21] Turkish Standards Institution. TS EN 1015-6, Methods of test for mortar for masonry – Part 7: Determination of air content of fresh mortar. Ankara, 2000.
- [22] Turkish Standards Institution. TS EN 1015-10, Methods of test for mortar for masonry – Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar. Ankara, 2001.

- [23] Turkish Standards Institution. TS EN 1015-3, Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Ankara, 2000.
- [24] ASTM C642-13. Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [25] ASTM C39/C39M-05. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
- [26] ASTM C496. Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- [27] Siriwattanakarn A, Wongs A, Eua-Anant N, et al. Utilization of mill scale waste as natural fine aggregate replacement in mortar: Evaluation of physical, mechanical, durability, and post-fire properties. *Recycling*, 10, 20, 2025.
- [28] Yun C.M, Rahman M.R, Phing C.Y.W, et al. The curing times effect on the strength of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) mortar. *Construction and Building Materials*, 260, 120622, 2020.
- [29] Rahmanzai F, Nazari G, Takigawa M, Date S. Combined effect of thermal stimulated superplasticizer with BFS on fresh and hardened property of mortar. *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications, 224–229, 2018.

EVALUATION OF THE EFFECT OF GEOTEXTILE FELT USE ON THERMAL INSULATION PROPERTIES OF MASONRY WALL BLOCK ELEMENT

Prof. Dr., Lütfullah GÜNDÜZ

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr - 0000-0003-2487-467X

Dr. Öğr. Üyesi, Şevket Onur KALKAN

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr - 0000-0003-0250-8134

ABSTRACT

In the construction industry, various materials and designs are developed to optimize energy efficiency in buildings, and these materials are evaluated according to standards that include thermal insulation requirements. The revised TS 825 standard, which came into force in April 2025 in Türkiye, defines six climate zones and specifies the maximum thermal transmittance values for wall units. Achieving the required insulation performance has made the use of materials with low thermal conductivity increasingly important. Among these, improving the insulation efficiency of lightweight concrete blocks remains a significant research topic. In this study, the thermal performance of lightweight concrete masonry blocks was investigated by incorporating geotextile felt layers of different thicknesses into a fixed block design to enhance thermal insulation and heat resistance. The six-row void masonry block (SW design) was used as the reference, and new test specimens were produced by adding geotextile felt in thicknesses of 12 mm, 24 mm, and 38.8 mm into the voids. The findings demonstrated that increasing the felt thickness significantly improved the thermal resistance, reducing heat transfer through the block. Additionally, the required insulation material thicknesses for each modified block to comply with TS 825 limits were determined for all six climatic zones in Türkiye. The study concludes that integrating geotextile felt into lightweight block designs offers a practical approach to improving building energy efficiency and meeting modern insulation standards.

Anahtar Kelimeler: Geotextile Felt, Thermal Insulation, Thickness, Masonry Block, Analysis.

1. INTRODUCTION

Achieving energy savings through energy efficiency in buildings has become paramount worldwide today. Four fundamental factors are generally crucial for achieving energy efficiency in a building [1]. The first and most important of these is the creation of a nearly zero-energy passive building design during the pre-construction phase. The second phase involves the implementation of the construction project and the use of low-energy building materials during construction. The third important factor is the use of energy-efficient equipment to reduce operating energy requirements, while the integration of renewable energy technologies for various applications generally constitutes the fourth factor [1,2]. Detailed analysis of the four fundamental factors listed here is essential for the implementation of sustainable building projects. In building projects, it is common to see masonry block elements with different design components and the use of different material types in the units that form interior and/or exterior partition walls [1]. In this context, in examining the thermal insulation properties of masonry block elements, in addition to issues such as whether the size, geometry, configuration and design include a special quality insulation layer, parameters such as the thermal conductivity value of the masonry unit, thermal permeability resistance and thermal insulation efficiency gain special importance [1,3].

This paper discusses the summary and comparative findings of a study on the thermal insulation properties of four different lightweight concrete masonry units, in terms of configuration and concrete density changes, and on the improvement of the thermal insulation performance of the masonry unit. The effects of geotextile mats, particularly those made from 80% recycled textile fibers, on the thermal insulation properties of the masonry block design were analyzed in detail, using three different thicknesses of 12, 24, and 38.8 mm, and using alternative application methods. Furthermore, detailed analysis findings for the use of these block elements, based on the thermal transmittance (U) values predicted for the Turkish climate zones in TS 825 [4], are discussed.

2. MASONRY BLOCK ELEMENT DESIGN AND GEOTEXTILE FELT INSULATION LAYER

Within the scope of the study, a lightweight concrete block form with a nominal dimension of 190 mm x 390 mm x 185 mm (width x length x height) and a six-row void, designated as the SW design by its sectoral definition, was evaluated as the reference block design. This reference block design was coded as RefB in the study program, and its geometric form is shown in Figure 1. The geometric data and configuration values of the RefB block design are given in Table 1.

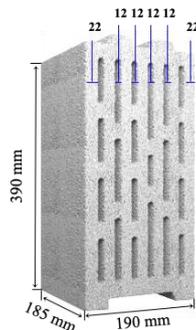


Figure 1. Design and General View of the Reference Block (RefB) Element.

The RefB block masonry element was examined using a lightweight aggregate mortar with an average net unit volume mass value of 535 kg/m^3 throughout the study. Furthermore, to improve

the thermal conductivity and thermal insulation performance provided by the RefB block design, the row of voids in the middle section of the geometric design was initially designed as a single void geometry. Geotextile felt with an average density of 70 kg/m^3 was placed in this void to create a new composite block design with a single insulation layer. Geotextile felt is a durable, flexible, and easily applied nonwoven structure formed by mechanically bonding synthetic fibers using the needle-punching method [5,6]. Its synthetic structure makes it resistant to rot, bacteria, acids, alkalis, and moisture. It is unaffected by seawater, mold, and rust. It is resistant to damage that may occur during application. It can be used as a separation material between different surfaces. It protects thermal insulation materials. It is known for its easy application and its composition that does not pose any harm to human health during and after application [5-8]. Geotextile felt, made from 80% recycled textile fibers readily available in the commercial market, was used as the insulation layer. In this design, the geotextile felt insulation layer thickness was considered 12 mm, and this block sample was coded as Get1. Furthermore, with the idea that increasing the insulation layer thickness in the block design would further improve the thermal insulation performance of the masonry element, two new designs were developed within the RefB design, resulting in alternative block designs with geotextile felt layers of 24 mm and 38.8 mm thickness. These block designs were coded as Get2 and Get3, respectively, and their geometric forms are shown in Figure 2 and their configuration values are shown in Table 1.

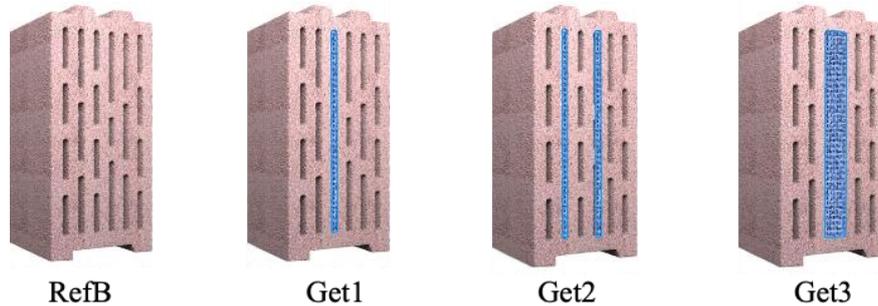


Figure 2. Design and General Views of Geotextile Felt Layered Block Elements.

Table 1. Configuration Values of Masonry Block Element Designs.

| | RefB | Get1 | Get2 | Get3 |
|---|-------|---------|---------|---------|
| Total Surface Area, mm^2 | 74100 | 74100.0 | 74100.0 | 74100.0 |
| Void Surface Area, mm^2 | 20592 | 21240.0 | 21888.0 | 26831.2 |
| Solid Surface Area, mm^2 | 53508 | 52860.0 | 52212.0 | 47268.8 |
| Areal Void Ratio, % | 27.79 | 28.66 | 29.54 | 36.21 |
| Areal Solid Ratio, % | 72.21 | 71.34 | 70.46 | 63.79 |
| Total Volume, cm^3 | 13709 | 13709 | 13709 | 13709 |
| Void Volume, cm^3 | 3810 | 3929 | 4049 | 4964 |
| Solid Volume, cm^3 | 9899 | 9779 | 9659 | 8745 |
| Block Mortar Net Density, kg/m^3 | 535 | 535 | 535 | 535 |
| Block Weight, kg | 5.30 | 5.28 | 5.27 | 4.85 |
| Block Density, kg/m^3 | 387 | 382 | 377 | 341 |
| Geotextile Layer Weight, kg | - | 0.052 | 0.104 | 0.168 |
| 1 m^2 Wall Density, kg/m^2 | 412 | 411 | 411 | 382 |

3. MASONRY BLOCK ELEMENT DESIGN AND GEOTEXTILE FELT INSULATION LAYER

The hardened unit volume mass value of the mortar used in the production of masonry block elements is one of the most important factors that directly affects the unit weight, compressive strength, and insulation properties of the block element. For example, it is a general observation that as the hardened mortar density decreases (as the mortar becomes lighter), the compressive strength of the block element produced with this mortar decreases [1]. However, it is also a separate observation that the thermal insulation properties of the block element can also improve within the context of its design parameters [1]. Naturally, the reverse of these phenomena is also true. In other words, as the mortar density applied to block production increases, block strength improves, but thermal insulation properties may also be weakened [1]. In this study, in order to investigate and compare the thermal insulation properties of the masonry block elements coded RefB, Get1, Get2, and Get3, a lightweight aggregate mortar combination with a hardened unit volume mass value of 535 kg/m^3 was analyzed.

The determination of thermal conductivity values of lightweight aggregate masonry block elements was carried out according to the calculation algorithm for multi-layered structural elements within the context of the parameters and rules stipulated in the TS EN 1745 and TS EN ISO 6946 [9-10] standards [1]. In this method, if a concrete masonry unit consists of more than one material with different thermal conductivity values, the thermal conductivity resistances of each material are first calculated, taking into account their thickness and area. Thus, by determining the average thermal conductivity values according to surface percentage (%) ratios, the equivalent thermal conductivity value (λ_{eq}) of the concrete masonry unit can be calculated, taking into account the dimensions of the masonry unit and the joint conditions in the masonry. The following parameters, such as the size, geometry, configuration, and physical properties of the masonry unit and the masonry, are important in the calculation process [1]:

- Nominal dimensions of the masonry unit (height, length, and width),
- Dry Unit Volume Mass of the Masonry Unit,
- Total Area Including Mortar,
- Total Surface Area of the Masonry Unit,
- Total Area of the Void Surfaces of the Masonry Unit,
- Total Area of the Solid Surfaces of the Masonry Unit,
- Total Volume of the Masonry Unit,
- Total Void Volume of the Masonry Unit,
- Total Volume of the Concrete Unit,
- Net Unit Volume Mass of the Concrete Unit.

In this calculation method, the thermal conductivity value of the air voids included in the geometric design of the concrete masonry unit was determined according to the parameters predicted in the TS EN ISO 6946 standard, depending on the section thickness of the air void and the direction of heat flow [10]. In addition, the parametric values of the inner and outer surface heat conduction resistance values depending on the direction of heat flow are also used as the values predicted in the TS EN ISO 6946 standard. In the calculation method, the λ values of the masonry mortar material connecting the concrete masonry units on 1 m^2 heat transmitting

surface are taken according to the λ_{10dry} values predicted for masonry mortar materials in the TS EN 1745 standard [9]. The thermal conductivity resistance (R_i) value of the masonry unit was determined with the ratio (L_b/λ_{eq}) depending on the section width (L_b) of the block element [1].

Thermal insulation calculations for buildings are carried out according to the principles stipulated in the T825 standard [4], which was revised and entered into force in April 2025. The primary purpose of this standard is to limit the amount of energy used in heating and cooling buildings, thereby increasing energy savings, and to determine the standard calculation method and values to be used when calculating net energy needs [4]. In the new revision of the standard, Turkey is divided into six distinct climate zones (Figure 3), and the minimum thermal transmittance (U) values required for structural sections in buildings constructed in these zones are listed in Table 2.



Figure 3. Climatic Zones of Türkiye (TS 825) [4].

Table 2. Recommended U-Values for Climate Zones (TS 825) [4].

As can be seen from Table 2, the recommended U-values of wall section units decrease as we move from Zone 1 to Zone 6. This indicates that wall units should be combined with more insulation. Based on these U-values, it is possible to analyze whether a wall unit designed in a specific climate zone provides adequate thermal comfort. If the wall section designed in the project component does not meet the recommended U-value, the additional mm-thick thermal insulation material required for the wall unit can be easily calculated. The thermal comfort

| TS 825: 2024 | Duvar U_D (W/m K) | Tavan/Çatı U_T (W/m K) | Döğeme U_f (W/m K) | Pencere | |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-------------|
| | | | | U_p (W/m K) | g (-) |
| 1. Bölge | 0,45 | 0,35 | 0,4 | 1,8 | $\leq 0,45$ |
| 2. Bölge | 0,4 | 0,3 | 0,35 | 1,8 | $\leq 0,45$ |
| 3. Bölge | 0,4 | 0,3 | 0,35 | 1,8 | $\leq 0,45$ |
| 4. Bölge | 0,35 | 0,25 | 0,3 | 1,8 | $\geq 0,55$ |
| 5. Bölge | 0,25 | 0,2 | 0,25 | 1,8 | $\geq 0,55$ |
| 6. Bölge | 0,25 | 0,2 | 0,25 | 1,8 | $\geq 0,55$ |

capabilities of four different masonry block elements designed within this study were analyzed using this methodology.

4. MASONRY BLOCK ELEMENT DESIGN AND GEOTEXTILE FELT INSULATION LAYER

In the analysis of thermal performance of masonry block elements made of lightweight concrete, the geometric form of the masonry block element, its configuration and the thermal conductivity coefficient value of the lightweight concrete mortar to be used in block production can be taken as basic parameters and the thermal conductivity value of the masonry block element can be calculated according to the calculation algorithm prescribed in TS EN 1745 [9] and TS EN ISO 6946 [10] standards [1]. In this context, firstly, within the scope of the study, the thermal conductivity coefficient values predicted in the title of “Table A.4_ Concrete masonry units using only pumice stone” [9] in the TS EN 1745 standard at the hardened unit volume mass values of 535 kg/m^3 and declared for the λ_{10} dry condition corresponding to the concrete mortar density were determined with the statistical regression approach by taking into account the condition of $P=90\%$. Then, according to the methodology summarized above, the thermal conductivity value of each block design was determined as the design thermal conductivity calculation value. The thermal conductivity value of the RefB block element, which does not include any geotextile felt layer in its design, was determined as 0.134 W/mK . The thermal conductivity value of the Get1 block design with a 12 mm geotextile felt insulation layer was determined as 0.108 W/mK . It was determined that as the thickness of the geotextile felt insulation layer in the block design increased, the thermal conductivity value decreased, and the values of the 24 mm and 38.8 mm thick blocks, coded Get2 and Get3, with geotextile felt insulation layers were obtained as 0.090 and 0.074 W/mK , respectively (Figure 4). As can be understood from these values, as the thermal conductivity value of the block design decreases, the thermal insulation performance of the block element improves.

Another study determined how the thermal transmittance (U) value achieved by the block designs changes when used in masonry walls, based on the obtained thermal conductivity values. According to this study, the U value of the RefB block design was calculated as $0.63 \text{ W/m}^2\text{K}$. The highest recommended U value for climate zones in the TS 825 standard is $0.45 \text{ W/m}^2\text{K}$ for Region 1. Because the U value of the RefB block element exceeds this recommended value, it appears not to provide the desired thermal comfort conditions when used as a plain block in any climate zone. The U values obtained for other block designs with geotextile felt insulation layers are shown in Figure 5.

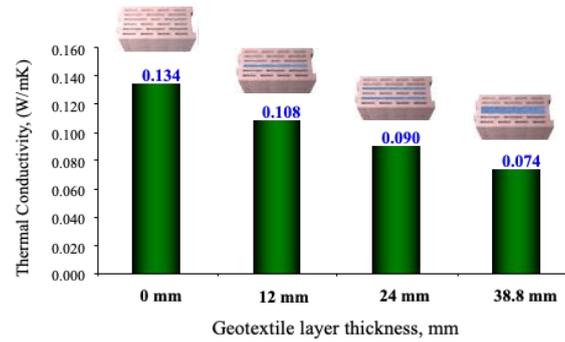


Figure 4. Thermal Conductivity Values of Block Designs.

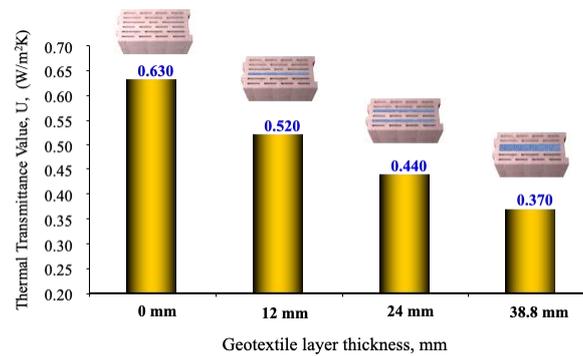


Figure 5. Thermal Transmittance U Values of Block Designs.

The U-value of the Get1 block design with a 12 mm insulation layer was determined as 0.52 W/m²K, and it can be seen that this block element, like the RefB design, does not provide the recommended U-values for any climate zone. The U-value of the Get2 block design with a 24 mm insulation layer was determined as 0.44 W/m²K, indicating that this block element provides the recommended U-value for climate zone 1 and can provide thermal comfort in this zone without the need for any additional insulation. Conversely, the U-value of the Get3 block design with a 38.8 mm insulation layer was determined as 0.37 W/m²K, indicating that this block element also provides the recommended U-values for climate zones 1, 2, and 3 and can provide thermal comfort in these zones without the need for any additional insulation. However, to achieve the recommended U-values in other climate zones, the use of additional insulation material in the wall section is necessary to meet these comfort requirements. In this study, when the improvement rates in insulation properties were calculated for block designs using geotextile felt as an insulation layer compared to the RefB block design without an insulation layer, the trend shown graphically in Figure 6 was obtained. As can be seen from this analysis, the thermal insulation performance of the block element increases with a linear trend as the geotextile felt thickness increases.

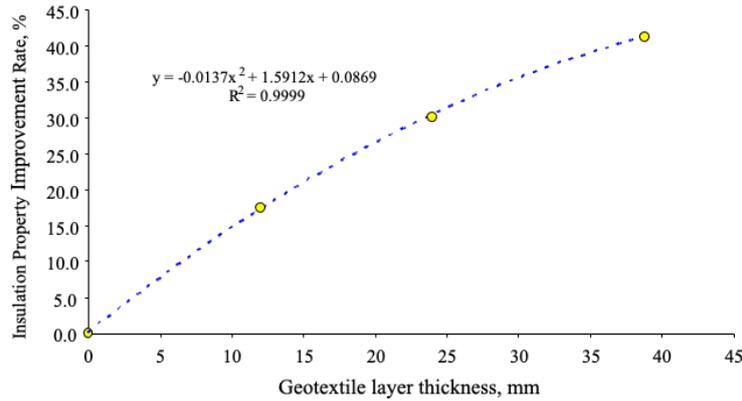


Figure 6. Relationship Between Geotextile Felt Layer Thickness and Insulation Properties In Block Design.

The U-values of wall units designed in Turkey's climate zones are required to meet the minimum U-values recommended in TS 825 for that climate zone. If a masonry block element meets this U-value when used alone, an additional insulation material of appropriate thickness can be applied to the surface of the masonry block element to achieve the recommended minimum U-values. For this purpose, different insulation material components can be used preferably in sectoral applications. The most commonly used of these materials are EPS, XPS, stone wool, and insulating plaster materials. For each block element designed within the scope of this study, the insulation material thicknesses required to meet the anticipated U-values for use in six different climate zones in Turkey were individually analyzed and determined. The insulation material thicknesses (D_x) obtained for each block design are presented in Tables 3 and 6. In this evaluation, the thermal conductivity value of the EPS material was evaluated as $\lambda=0.032$ W/mK, the thermal conductivity value of the XPS material was evaluated as $\lambda=0.033$ W/mK, the thermal conductivity value of the stone wool (RW) material was evaluated as $\lambda=0.035$ W/mK and the thermal conductivity value of the thermal insulation plaster (IPIs) material was evaluated as $\lambda=0.060$ W/mK.

Table 3. Additional insulation layer thicknesses (D_x) according to heat zones (for RefB)



| Insulation Material | 1.Region | 2. & 3. Region | 4. Region | 5. & 6. Region |
|---------------------|------------|----------------|------------|----------------|
| | D_x (mm) | D_x (mm) | D_x (mm) | D_x (mm) |
| EPS | 20 | 28 | 40 | 77 |
| XPS | 21 | 29 | 42 | 79 |
| RW | 32 | 30 | 44 | 83 |
| IPIs | 38 | 53 | 75 | 144 |

Table 4. Additional insulation layer thicknesses (Dx) according to heat zones (for Get1)



| Insulation Material | 1.Region | 2. & 3. Region | 4. Region | 5. & 6. Region |
|---------------------|----------|----------------|-----------|----------------|
| | Dx (mm) | Dx (mm) | Dx (mm) | Dx (mm) |
| EPS | 9 | 18 | 29 | 65 |
| XPS | 10 | 19 | 30 | 68 |
| RW | 10 | 20 | 32 | 71 |
| IPls | 17 | 33 | 55 | 123 |

Table 5. Additional insulation layer thicknesses (Dx) according to heat zones (for Get2)



| Insulation Material | 1.Region | 2. & 3. Region | 4. Region | 5. & 6. Region |
|---------------------|----------|----------------|-----------|----------------|
| | Dx (mm) | Dx (mm) | Dx (mm) | Dx (mm) |
| EPS | - | 6 | 18 | 54 |
| XPS | - | 7 | 19 | 55 |
| RW | - | 7 | 20 | 59 |
| IPls | - | 12 | 33 | 100 |

Table 6. Additional insulation layer thicknesses (Dx) according to heat zones (for Get3)



| Insulation Material | 1.Region | 2. & 3. Region | 4. Region | 5. & 6. Region |
|---------------------|----------|----------------|-----------|----------------|
| | Dx (mm) | Dx (mm) | Dx (mm) | Dx (mm) |
| EPS | - | - | 3 | 40 |
| XPS | - | - | 4 | 41 |
| RW | - | - | 5 | 43 |
| IPls | - | - | 7 | 75 |

As can be clearly seen from these analyses, as climate zones change from 1 to 6, the required insulation material thickness in the wall unit increases proportionally. In other words, thicker insulation materials are required. However, when the Get2 block design is applied, no insulation material is required in the wall section in climate zone 1. It can be seen that the required thermal comfort can be achieved with alternative insulation materials with thicknesses ranging from 6 to 12 mm in climate zones 2 and 3. It can be seen that the required thermal comfort can be achieved with alternative insulation materials with thicknesses ranging from 18 to 33 mm in climate zone 4, and with thicknesses ranging from 54 to 100 mm in climate zones 5 and 6. When the Get3 block design is applied, no insulation material is required in the wall section in climate zones 1, 2, and 3. However, it can be seen that the required thermal comfort can be achieved by using alternative insulation materials in the 4th climate zone with a thickness of 3 – 7 mm and in the 5th & 6th climate zones with a thickness of 40 – 75 mm.

5. RESULTS

This study examines the thermal insulation properties of four different lightweight concrete masonry units under different configuration changes and discusses the findings of a study on improving the thermal insulation performance of the masonry unit by installing a geotextile felt layer. It was observed that the reference design without a geotextile felt insulation layer and the block designs with a 12 mm geotextile felt insulation layer did not meet the minimum U-values recommended for the climatic zones in TS 825. It was determined that the block design with a 24 mm geotextile felt insulation layer met the minimum U-values recommended for Zone 1, and the block design with a 38.8 mm geotextile felt insulation layer met the minimum U-values recommended for Zones 1, 2, and 3 in TS 825. As the thickness of the geotextile felt insulation layer in the block design increases, the thermal resistance of the block element and its thermal insulation performance improves.

REFERENCES

- [1] Gündüz L., Kalkan Ş.O., 2023. Sürdürülebilir Yapılarda Geotekstil Keçe Katmanlı Hafif Betondan Mamul Kâğır Blok Elemanların Termal Yalıtım Verimliliğinin Geliştirilmesi Üzerine Bir Yaklaşım Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt:10, Sayı:21(2023) 182-197, Araştırma Makalesi, TR Dizin, <https://doi.org/10.54365/adyumbd.1279518>
- [2] Arvind Chel, Geetanjali Kaushik. 2017. Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building, Original Article, Alexandria Engineering Journal (2018) 57, 655–669, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2017.02.027>, www.elsevier.com/locate/aej, www.sciencedirect.com.
- [3] Kosny J, Christian JE. 1993. The optimum use of insulation for concrete masonry block foundations, Building Research Journal, 2.
- [4] TS 825, 2024. Binalarda ısı yalıtım kuralları, TS 825:2013 yerine Ekim 2024, ICS 91.120.10, TSE, Ankara, s125
- [5] PUNTEKS. <http://www.punteks.com/urunler-izogreenkece.aspx> (Erişim Tarihi: 12.09.2025)
- [6] Sakthivel S, Kumar SS, Melese B. Sound-absorbing recycled cotton/polyester thermal bonded nonwovens, The Journal of The Textile Institute 2021; 112: 1588-1595.
- [7] Bradley W, Greer DS., 2013. Nonwoven fabric composites from coir fibers. Patent US 2013/0260631 A1 13/899,417.

- [8] Moghadam A, Yousefi SH, Tafreshi HV, Pourdeyhimi B. 2019. Characterizing nonwoven materials via realistic microstructural modeling. *Separation and Purification Technology*, 211: 602-609.
- [9] TS EN 1745, 2020, Kâgir ve kâgir mamulleri - Isıl özelliklerinin tayini yöntemleri, TSE, Ankara, s59
- [10] TS EN ISO 6946, 2017, Yapı bileşenleri ve yapı elemanları - Isıl direnç ve ısı geçirgenlik-Hesaplama yöntemi, TSE, Ankara, s23.

HAFİF SİLAHLARIN NAMLULARINDA BULUNAN, YİV-SETLERİN AÇILMA METOTLARI VE TEKNİK DEĞERLENDİRMESİ

Mesut ÇELİK

Kırıkkale Üniversitesi, mst.clk5@gmail.com

ORCID: 0009-0000-2136-1559

Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

Kırıkkale Üniversitesi, mustafabozdemir@kku.edu.tr

ORCID: 0000-0002-9332-2054

ÖZET

Yiv açma yöntemleri, hafif silahların iç balistik performansını, çekirdek dağılımını ve mühimmat doğruluğunu doğrudan etkileyen kritik üretim tekniklerindedir. Bu çalışmada modern yiv açma teknolojileri; teknik avantaj, dezavantaj, uygulama alanı, maliyet ve üretim ölçeği açısından ayrıntılı ve karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Kanca-kesici (cut/hook cutter) ve kazıma-kesici (scrape/single-point progressive cut) yöntemleri son derece yüksek doğruluk ve hassas geometri kontrolü sağlar; bu nedenle deneysel namlular, tekil hassas üretimler ve prototip uygulamalar için tercih edilir. Bu yöntemlerin en önemli sınırlaması işlem sürelerinin uzunluğu, yüksek işçilik gereksinimi ve seri üretime uygun olmamalarıdır. Broş (broach) rifling, yüksek tekrarlanabilirlik ve boyutsal tutarlılık sunması nedeniyle büyük çaplı üretim tesislerinde yaygın olarak uygulanır; ancak broş takımı maliyetleri, takım esnekliğinin sınırlılığı ve takımdaki bir arızanın yüksek yeniden üretim maliyeti dezavantaj oluşturur. Button rifling, düşük çevrim süresi ve pürüzsüz iç yüzey sağlayarak seri üretime avantaj getirir; buna karşın metalde plastik deformasyon ve kalıcı gerilmeler meydana gelir, bu da yüksek sıcaklık veya yoğun kullanım koşullarında doğruluk kayıplarına yol açabilir. Dövme, swage ve sıvama (flow-forming) yöntemleri, malzemede işleme kaynaklı sertleşme (work-hardening) sağlayarak mekanik dayanımı artırır ve yüzey sürekliliğini iyileştirir; ancak mandrel ve tezgah yatırımı yüksek olup mandrel hataları parçayı doğrudan etkiler. Elektro-kimyasal talaş kaldırma (ECM) temassız bir yöntem olarak termal veya mekanik hasar oluşturmaz, sert malzemelerde yüksek yüzey kalitesi ve karmaşık yiv profilleri üretmeye uygundur; fakat başlangıç yatırımı, elektrolit yönetimi ve çevresel/iş sağlığı güvenlik yükümlülükleri ileri düzeyde planlama gerektirir. Yöntem seçimi; üretim hacmi, istenen doğruluk, malzeme özellikleri, maliyet-etkinlik ve son kullanım şartlarına bağlıdır. Çalışma, yiv açma teknolojilerinin avantaj ve sınırlılıklarını ortaya

koyarak, üretim ve tasarım sürecinde hangi yöntemin hangi koşullar için daha uygun olduğunu göstermekte ve üretim verimliliği ile iç balistik doğruluk arasında optimal bir dengenin kurulması gerektiğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yiv-Set, Namlu Üretim Yöntemleri, Button Rifling, Broach Rifling, ECM

ABSTRACT

Rifling methods are critical manufacturing techniques that directly affect the internal ballistics performance, projectile dispersion, and ammunition accuracy of small arms. This study examines modern rifling technologies in detail and compares them in terms of technical advantages, disadvantages, application areas, cost, and production scale. Cut/hook cutter and scrape/single-point progressive cut methods provide extremely high accuracy and precise geometric control; therefore they are preferred for experimental barrels, single high-precision productions, and prototype applications. The main limitations of these methods are long processing times, high labor requirements, and unsuitability for mass production. Broach rifling offers high repeatability and dimensional consistency, making it widely used in large-scale production facilities; however, broach tool costs, limited tooling flexibility, and high re-manufacturing costs in case of tool failure are disadvantages. Button rifling provides short cycle times and a smooth internal surface, giving an advantage for serial production; however, it causes plastic deformation and residual stresses in the metal, which can lead to accuracy loss under high-temperature or intensive use conditions. Swaging, cold-forging and flow-forming methods increase mechanical strength through work-hardening during processing and improve surface continuity; nevertheless, mandrel and machinery investments are high, and mandrel defects directly affect the part. Electrochemical machining (ECM), as a non-contact process, does not create thermal or mechanical damage and is suitable for producing high surface quality and complex rifling profiles in hard materials; however, initial capital investment, electrolyte management, and environmental/occupational safety obligations require advanced planning. Method selection depends on production volume, required accuracy, material properties, cost-effectiveness, and end-use conditions. This study reveals the advantages and limitations of rifling technologies and demonstrates which methods are more appropriate under different manufacturing and design conditions, emphasizing the need to establish an optimal balance between production efficiency and internal ballistic precision.

Keywords: Rifling, Barrel Manufacturing Methods, Button Rifling, Broach Rifling, ECM

1. GİRİŞ

Ateşli silahlar tarih boyunca toplumların güvenlik, savaş stratejileri ve teknolojik gelişiminde önemli rol oynamıştır. Namlu, merminin enerji kazanım sürecinin tamamlandığı ve hedef doğruluğunun belirlendiği en kritik bileşenlerden biridir. Bu çalışmada namluda yiv-set yapılarının işlevi ve üretim yöntemleri ele alınmıştır.

Hafif silahlar, bireysel kullanım için tasarlanmış elde taşınabilir ateşli silahlar olarak tanımlanır ve hem askeri hem de sivil alanlarda tarih boyunca önemli bir rol oynamıştır. Tabancalar, tüfekler, karabinalar ve makineli tüfekler gibi çeşitli türleri kapsayan bu silahlar, belirli operasyonel amaçlara hizmet eder.

Hafif silahların gelişimi, yüzyıllar boyunca metalurji, balistik ve mekanik mühendislikteki ilerlemelerle önemli ölçüde evrim geçirmiştir. İlk ateşli silahlar olan tüfekler ve fitilli tüfekler, hantal ve yavaş doldurulan silahlardı. Ancak yiv-set teknolojisi, kapsül mekanizmaları ve dumansız barut gibi yenilikler, hafif silahlarda devrim yaratarak menzil, isabet oranı ve güvenilirliği artırmıştır.

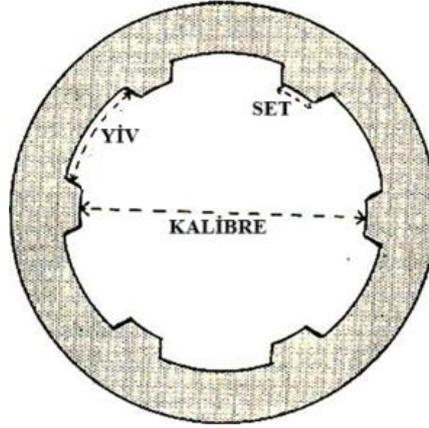
Modern hafif silahlar, kompakt boyutları, taşınabilirlikleri ve farklı savaş senaryolarına uyum sağlama kabiliyetleriyle öne çıkar. Hafif silahların temel özellikleri arasında ateşleme mekanizmaları, kullanılan mühimmat türleri ve optik nişangâhlar, susturucular ve iki ayaklı destekler gibi aksesuarların entegrasyonu yer alır. Bu yenilikler, hafif silahları savunma, kolluk kuvvetleri ve avcılık ya da spor atıcılığı gibi rekreasyonel aktiviteler için vazgeçilmez araçlar hâline getirmiştir.

Savaş bağlamında hafif silahlar, genellikle piyade askerlerinin birincil silahlarıdır. Tasarımları ve işlevsellikleri, savaş alanındaki etkinliği belirlemede kritik öneme sahiptir. Ateş hızı, namlu çıkış hızı ve ergonomik özellikler gibi nitelikler, bir askerin performansını doğrudan etkiler. Savaşın ötesinde, hafif silahlar kendini savunma ve güvenlik amaçlı araçlar olarak da kullanılarak modern toplumda hem savunma hem de sivil yaşam için çifte bir role sahiptir.

1.1.Namlu ve Yiv-Set

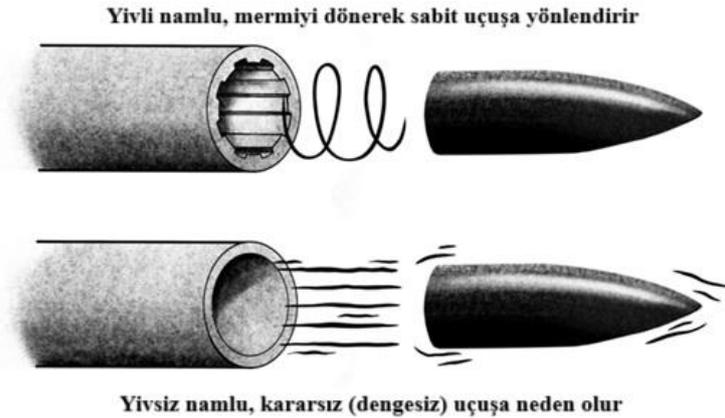
Ateşli silahlarda namlu, merminin enerji kazanım sürecinin tamamlandığı ve hedef doğruluğunun şekillendiği en kritik bileşenlerden biridir. Namlu, patlayıcı gazların kontrol altında genişmesini sağlayarak mermiyi hızlandırır ve belirli bir doğrultuda yönlendiren bir rehber görevi görür.

Namlunun iç yüzeyinde merminin namludan geçerken belirli bir dönme hareketi kazanmasını sağlayan oyuk (yiv) ve çıkıntılar (set) bulunmaktadır.



Görsel 1. Bir namlunun iç yüzeyindeki kalibre, yiv ve set kavramları[1].

Bu dönüş hareketi, merminin uçuş sırasında jiroskopik stabilitesini artırarak yörüngesel sapmaları minimize eder. Bu tasarım, yüksek hızla ilerleyen merminin hem doğrusal bir yörüngede kalmasını sağlar hem de hedef üzerinde maksimum isabet oranı elde edilmesine yardımcı olur. Bu nedenle, yiv uygulaması ateşli silahların evriminde çok önemli bir gelişmedir.

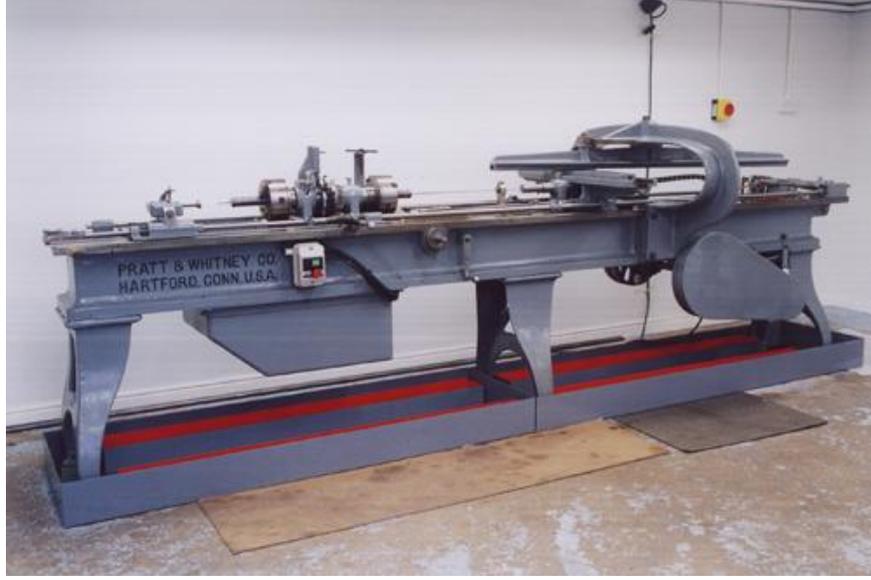


Görsel 2. Bir namlunun iç yüzeyindeki kalibre, yiv ve set kavramları[2].

2. YİV-SET AÇMA METOTLARI

2.1.Kanca Kesici Yiv Açma Metodu

Kanca (hook) kesme, metal kaldırma esasına dayanan işlemdir. Kanca kesicide, namluya itildiğinde aynı anda tek bir oluk açmak için ucunda tek bir kanca biçimli kesici bulunur. Kanca kesici, istenen oluk derinliğine ulaşmak için aynı oluğun içinde 10–80 kez namlu boyunca çekilmesi gereklidir. Yiv açma takımı, namlu veya takımın kendi etrafında döndürülerek dönüş oranı (hatve) oluşturulduğu bir yiv açma makinesi kullanılarak elle çalıştırılır[3].



Görsel 3. Üniversal yiv-set açma makinesi [4]

Her yiv set formu tek tek birden fazla pasoyla oluşturulduğundan dolayı üretim süreci uzundur. Ayrıca kullanılan kesici takımın körelmesi durumunda bilenmesi veya değiştirilmesi gerekebildiğinden seri üretimle çok uyumlu değildir.

Kanca yiv açma metodunda, her yiv set formunun oluşturulmasında aynı kesici takım kullanıldığı için tüm yivlerde aynı boyuna izlerin bulunması kaçınılmazdır. Bundan dolayı diğer metotlardan ayırt edilmesi kolaydır.



Görsel 4. Örnek bir kanca takımı[4].

2.2.Kazıma Kesici Yiv Açma Metodu

Kazıma kesici yöntemi, içine eğimli ve sertleştirilmiş çelik kazıyıcılar yerleştirilmiş bir çubuk kullanır. Bu kazıyıcı sayısı, istenen yiv sayısına karşılık gelir. Sonuç olarak, tüm yivler tek geçişte kesilir; ardından kazıyıcıların yüksekliği artırılarak ek geçişler yapılır. Bu yöntem son derece ince yivler üretir ve en kaliteli silahlarda kullanılır. Kazıma kesici yöntemi, kanca

kesici yöntemle çok benzerdir; ancak her yiv için farklı bir kazıyıcı kullanıldığından, yivler arasında temel bir benzerlik bulunmaz[5].

2.3. Broş ile Yiv Açma Metodu

Broş yiv açma, modern silah üretiminde en sık başvurulan yiv-set işleme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, ardışık şekilde yerleştirilmiş çok sayıda kesici dişten oluşan uzun bir çubuk (genellikle 20 ila 30 adet kesici disk içerir) takım namlu boyunca geçirilerek işlem gerçekleştirilir. Her bir disk, yiv profilinin sadece küçük bir kısmını işler; ancak her disk, bir öncekine kıyasla hafifçe büyütülmüş kesici kenarlara sahiptir. Bu kademeli yapı sayesinde, her geçişte kesim derinliği artırılarak yiv ve set profili kademeli olarak nihai boyutlarına ulaştırılır.

Son diske ulaşıldığında, yiv-set formu istenen kalibre ve geometrik hassasiyetle tamamlanmış olur. Broş yöntemi hem yüksek boyutsal tutarlılık sağlaması hem de seri üretime uygunluğu nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir.



Görsel 5. Örnek bir broş takımı [11]

2.4. Button Yiv Açma Metodu

Button yöntemiyle yiv açma, namlu üretiminde yaygın olarak tercih edilen bir başka yöntemlerdendir. Bu yöntem, özellikle üretim maliyetlerinin düşük tutulmak istendiği durumlarda, örneğin 5.6mm kalibreden küçük çaplı ve daha ekonomik ateşli silahlarda sıkça uygulanır.

Button yiv açma, mandrenin (mandrel) butondan (yiv açma takımından) daha küçük bir çapta olan namlu içinden zorlanarak geçirilip döndürüldüğü yöntemdir. Bu sıkıştırma genellikle yiv açma sırasında namlunun dış çapının ve namlu iç çapının kalıcı olarak artmasına yol açar. Button yiv açma aynı zamanda hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Kullanılan ekipman genellikle çekiçle dövme metodu (hammer forging) için kullanılan ekipmandan daha ucuzdur; ancak button ile yiv açılmış namluların eğilme olasılığı daha yüksek olabilir ve buda malzemenin iskartaya ayrılmasına neden olabilir. Eğilme ve iskarta ihtimalini, ilerleme hızı ve butona uygulanan kuvvet gibi yiv açma koşullarını iyileştirerek azaltmak mümkündür. Bu nedenle

eğilme, daha düşük bir namlu üretim kalitesini ve daha gevşek üretim toleranslarını yansıtabilir[6].

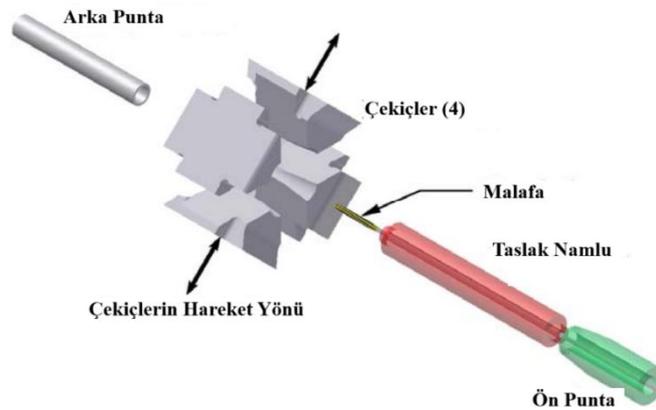


Görsel 6. Örnek bir button takımı [7].

2.5.Dövme ile Yiv Açma Metodu

Button yöntemiyle benzer prensiplere sahip olmakla birlikte, çok daha yüksek hassasiyet ve kalite sunan alternatif bir yiv açma yöntemi de döverek yiv açmadır. Bu yöntemde üretim süreci, namlunun iç çapının, son çap değerinden bir miktar daha geniş delindikten sonra hassas şekilde raybalanması ya da honlanmasıyla başlar. Hazırlanan namlu içerisine, her iki ucu daralan ve yüksek sertlikte çelikten üretilmiş bir mandren (malafa) yerleştirilir. Bu mandren, yiv ve set profilinin tam negatifini taşır.

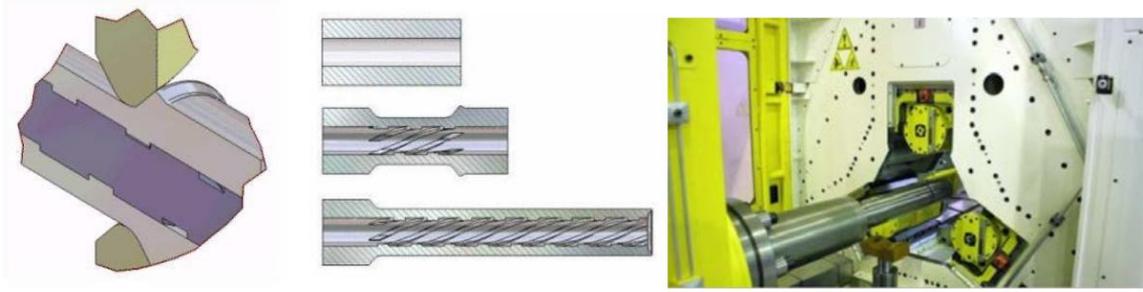
Yiv formu, mandrenin iç yüzeyde ilerletilmesi sırasında namlunun dıştan dövülmesi veya hidrolik basınçla sıkıştırılması yoluyla şekillendirilir. Böylece iç yüzey, mandrene tam olarak oturur ve yüksek hassasiyetle istenen yiv-set yapısı elde edilir. Bu işlem, yalnızca yiv şeklinin oluşmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda malzeme yapısında soğuk şekillendirme nedeniyle sertlik ve yoğunluk artışı da sağlar. Elde edilen mekanik özellikler, namlunun aşınma direncini ve kullanım ömrünü önemli ölçüde artırır.



Görsel 7. Dövme prosesinin şematik gösterimi[8].

2.6.Sıvama ile Yiv Açma Metodu

Başta savunma ve havacılık sektörü olmak üzere 21. Yüzyıl itibariyle kullanımı ile karşılaşılan sıvama yöntemi, serbest sıvama metodu ile yivli namlu üretiminde kendine yer bulmaktadır. Silindirik ya da konik yapıdaki simetrik parçalarda uygulanan flow forming temelde bir soğuk plastik şekillendirme tekniğidir. Yüksek hassasiyete sahip bu yöntemde parçalar boyları yönlerinde uzatılmaktadır. Mandrelde bulunan yüzey formu, silindirik malzemenin iç yüzeyinde zıt yapısını meydana getirecek olup talaşlı imalat ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır[9].



Görsel 8. Flow Forming malzeme akışı, namlu ve tezgâh görseli[9].

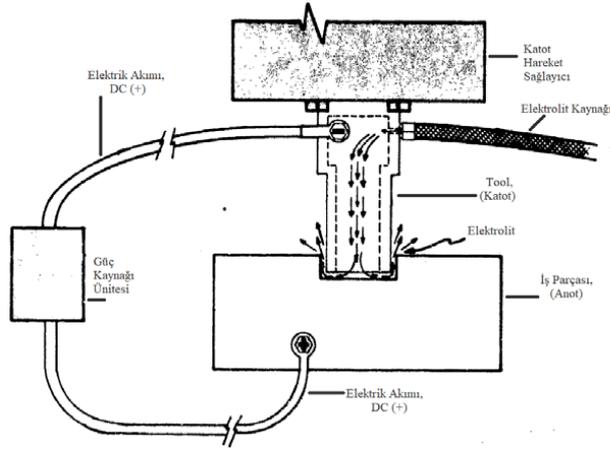
2.7.Elektro-Kimyasal Talaş Kaldırma Metodu

Geleneksel talaşlı imalat yöntemleri ile üretilemeyecek, üretilse dahi yüksek maddi yükümlülükler ve kalite hataları meydana getirebilecek ya da ilave işlemlerin azaltılması istenen parçaların üretilmesinde tercih edilmektedir. Metot, malzemelerin metalurjik özelliklerini değiştirmemesi, minimum takım aşınması, hızlı olması gibi sağladığı avantajları ile başta savunma, havacılık, silah ve otomotiv endüstrisinde bilinirliği ve kullanımı artan metot uygun ortam ve koşullarda tüm sertlikteki malzemelere uygulanabilmektedir. İşlem görece malzeme için herhangi bir mekanik zorlanmanın olmadığı metot temelde anot-katot ilişkisi ve elektroliti içermektedir. Anot işlenecek parça, katot ise takım, tool ya da fikstür olarak adlandırılan aparatır. NaCl, NaOH, NaNO₃ gibi elektrolitler kullanılarak gerçekleştirilen metotta katot parçanın anot malzemeye tasarımı dahilinde hareketlendirilerek, elektrolit akışı vasıtası ile anot malzeme yüzeyinden parça koparılıp uzaklaştırılması esasına dayanan sistemde ark oluşmaması için koparılan parçaların malzeme yüzeyinden uzaklaştırılması gerekmektedir[9].

Ayrıca, boy/çap oranı yüksek namlular elektro-kimyasal olarak işlendiğinde, katot için hassas bir kılavuz kaçınılmazdır. Bu nedenle, yiv açma testlerinde kullanılan katot kılavuzları deliğin konumunu, açısını, eş merkezliliğini ve yüzey kalitesini iyileştirecektir[10].



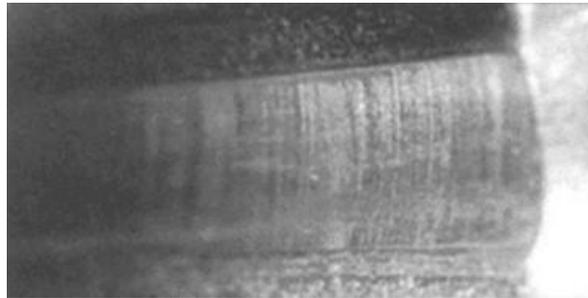
Görsel 9. ECM makinesi tool ve işlemi tamamlanmış namlu görseli[9].



Görsel 10. Elektrokimyasal işlemede sistemin basit şematik gösterimi[9].

Elektrokimyasal yivleme, butonlu ve broach yivli namlulara şekil olarak daha çok benzer; ancak yivler ile set (lands) arasındaki kenarlar, genellikle görülenlerden o kadar keskin değildir. Bu durum, ateşlenmiş mermilerin incelenmesi sırasında da belirgin olur.

Ateşlenmiş mermilerde striasyon (şerit) eşleştirmenin, yivlerin imalatındaki non-makine aracı yöntemi nedeniyle sorunlu görüldüğü düşünülse de bu durum böyle değildir. Bunun nedeni iki ayrı faktördür: Namludaki set, yivleme sürecinde aşındırılmadığı için, reaming izleri hâlâ mevcuttur. Aşındırma işlemi sırasında metalin çıkartılması, namlu yivlerinde tamamen rastgele bir pürüzlülük efekti bırakır. Bu nedenle hem set hem de yiv, bireysel olarak eşleştirilebilir özellikler taşır[11].



Görsel 11. Elektrokimyasal aşındırma ile işlenmiş namlu üzerindeki rayba izleri[11].

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada hafif silah namlularında kullanılan yiv–set üretim metotları; geometrik doğruluk, yüzey kalitesi, üretim maliyeti, üretim ölçeği ve iç balistik etkiler yönünden kapsamlı şekilde karşılaştırılmıştır. Bulgular, her üretim yönteminin belirli operasyonel ve performans gereksinimlerine göre avantaj sunduğunu ortaya koymaktadır.

Geleneksel talaşlı yöntemler olan kanca kesici ve kazıma kesici teknikleri, üst düzey geometrik hassasiyet, tekrar yapılabilirlik ve deneysel namlu üretiminde esneklik sağlamaktadır. Bununla birlikte operasyon süresinin uzunluğu, uzman iş gücü gereksinimi ve düşük üretim hızı nedeniyle seri üretim süreçlerine uygun değildir.

Broş ve button yöntemleri, modern seri üretim hatlarının temel yiv açma teknikleridir. Broş yöntemi yüksek hassasiyeti koruyarak tekrarlanabilir üretim imkânı sunarken, takım maliyetlerinin yüksekliği ve takım esnekliğinin sınırlılığı dezavantaj oluşturmaktadır. Button yöntemi düşük çevrim süresi ve yüksek yüzey kalitesi sağlamasına karşın, kalıcı gerilmeler ve termal yük altında doğruluk kaybı riski barındırmaktadır.

Dövme ve flow-forming teknikleri, soğuk şekillendirme yoluyla malzeme dayanımı ve iç yüzey sürekliliğini artırmakta, bu sayede yüksek basınç altında uzun kullanım ömrü sunmaktadır. Fakat makine ve mandrel maliyeti yüksektir, proses hatası doğrudan ürün kaybına sebep olur.

Elektrokimyasal işleme (ECM), talaş kaldırmadan karmaşık yiv profilleri elde etmeye imkân tanıyan ileri bir teknolojidir. Sürtünmesiz ve termal etkisiz işlem sayesinde set–yiv köşelerinde deformasyon oluşmaz. Bununla birlikte elektrolit kontrolü, atık yönetimi ve ekipman maliyeti göz önüne alındığında, yüksek hassasiyet gerektiren kritik savunma uygulamalarında tercih edilmektedir.

Çizelge 1. Metotların karşılaştırılması

| Yöntem | Üretim Türü | Hassasiyet | Yüzey Kalitesi | Maliyet |
|---------------------|---------------------------|------------|----------------|-----------------------|
| Kanca | Prototip, özel üretim | 4/5 | 3/5 | Düşük |
| Kazıma | Üst sınıf hassas namlular | 5/5 | 4/5 | Düşük-Orta |
| Broş | Seri üretim | 4/5 | 4/5 | Yüksek takım maliyeti |
| Button | Seri üretim | 3/5 | 4/5 | Düşük |
| Dövme | Askeri / yüksek ömür | 4/5 | 5/5 | Çok yüksek |
| Flow-forming | Havacılık/Ask. | 5/5 | 5/5 | Çok yüksek |
| ECM | İleri teknoloji | 4/5 | 5/5 | Yüksek |

Ayrıca, savunma sanayiinde kullanılan namluların performans kriterleri NATO STANAG, CIP ve SAAMI standartları ile tanımlanmıştır. Bu standartlar; yiv derinliği, hatve toleransları, basınç dayanımı ve ömür gereksinimleri için uluslararası doğrulama çerçevesi

sağlamaktadır. Bu bağlamda yöntem seçimi, yalnızca üretim verimliliği ile değil, aynı zamanda balistik normlara uygunluk ve operasyonel güvenilirlik ile de ilişkili olmalıdır.

Sonuç olarak tek bir yiv açma yöntemi tüm kriterleri optimum düzeyde karşılamamaktadır. Uygulama alanı, malzeme yapısı, istenen hassasiyet, maliyet ve dayanıklılık gereksinimleri, yöntem seçiminde belirleyicidir. Bu çalışma, üretim mühendisi ve tasarımcılar için yiv-set teknolojilerinin seçiminde teknik bir karar çerçevesi sunmakta; modern savunma uygulamalarında üretim verimliliği ile iç balistik performans arasında denge kurulmasının önemini vurgulamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] <https://www.quora.com/What-is-the-area-between-the-grooves-of-a-gun-barrel-called> (Erişim Tarihi: 28.07.2025)
- [2] <https://gununiversity.com/barrel-rifling-101> (Erişim Tarihi: 28.07.2025)
- [3] Werner, D., Berthod, R., Rhumorbarbe, D., & Gallusser, A., Manufacturing of firearms parts: Relevant sources of information and contribution in a forensic context. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*, 3(3), September, 30, 2021
- [4] <http://www.geoffrey-kolbe.com/articles/bmart.htm> (Erişim Tarihi: 01.11.2025)
- [5] <https://gununiversity.com/barrel-rifling-101> (Erişim Tarihi: 28.07.2025)
- [6] Bolton-King, R. S., Rifling Methods of Factory Fitted 9 mm Luger (9 x 19 mm) Pistol Barrels: A Reference Resource., *AFTE Journal*, 49(4), Fall, 2017
- [7] <https://www.star-su.com/wp-content/uploads/rifle-buttons.png> (Erişim Tarihi: 19.09.2025)
- [8] Clifford F. L., *Rifling Machines and Methods*, LaBounty Precision Reboring, Maple Falls, 2011.
- [9] Alkılınç, Ö., Namlularda atış ömrünü etkileyen sert krom ve oksidasyon kaplama parametrelerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2021.
- [10] Maiorano, C., & Kirschbaum, R. A., *Electrochemical Machining of Cartridge Chamber and Rifling Contours for Small Arms*, September, 1976.
- [11] Heard, B. J. (2008). *Handbook of firearms and ballistics*. Wiley-Blackwell.

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE TÜFEKLERDE ATEŞLEME SİSTEMLERİNİN TEKNOLOJİK EVRİMİ

Mesut ÇELİK

Kırıkkale Üniversitesi, mst.clk5@gmail.com

ORCID: 0009-0000-2136-1559

Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

Kırıkkale Üniversitesi, mustafabozdemir@kku.edu.tr

ORCID: 0000-0002-9332-2054

ÖZET

Tüfeklerde ateşleme sistemleri, ateşli silahların etkinlik, güvenlik ve üretilebilirlik boyutlarında belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu çalışma, ateşleme mekanizmalarının tarihsel gelişimini, teknik karakteristiklerini, operasyonel avantaj ve dezavantajlarını ve üretim süreçlerine olan yansımalarını kapsamlı şekilde incelemektedir. İlk dönem fitil bazlı sistemler (matchlock) basitlik ve tek elle kullanım kolaylığı sağlarken; nem, rüzgâr ve yanma gecikmesi gibi saha koşullarına duyarlıydı. Wheel lock ve snaphaunce gibi aracı mekanizmalar, ateşleme güvenilirliğini artırırken karmaşıklık ve maliyet getirmiştir. 17. yüzyılda tüm ordularda yaygınlaşan flintlock, mekanik sadeliği ve üretim kolaylığı sayesinde uzun süre tercih edilmiş, endüstriyel üretimle birlikte standardizasyonu kolaylaştırmıştır. 18. yüzyılda geliştirilen percussion cap sistemi ise ateşleme hızını ve emniyeti artırarak arka yüklü mühimmat tasarımlarının yaygınlaşmasına zemin hazırlamıştır. 19. yüzyılda pinfire ve rimfire gibi bütünleşik fişek tasarımları mühimmat kullanımını pratikleştirmiş; Dreyse iğne tüfeği ise bolt mekanizmalarının ve modern arka yüklü mühimmatın prototipi olarak askeri taktikleri değiştirmiştir. Ortadan ateşlemeli (centerfire) sistemlerin kabulüyle birlikte fişek kovanları daha sağlam malzemelerden üretilebilmiş, yüksek basınçlara dayanıklılık ve yivli mühimmatla uyum sağlanmıştır. Çalışmada ayrıca her mekanizmanın atış hızı üzerindeki etkisi, güvenlik ve emniyet mekanizmalarının geliştirilmesi, bakım ve temizlik gereksinimleri ile uzun vadeli dayanıklılık kriterleri değerlendirilmiştir. Üretim açısından bakıldığında, mekanizma seçimleri seri üretim verimliliği, parça değiştirilebilirliği ve maliyet optimizasyonu ile doğrudan ilişkilidir; basit ve emniyetli tasarımlar bakım süreçlerini kolaylaştırırken saha güvenilirliğini artırır. Bu değerlendirmeler hem tarihsel örnekler hem de modern mühendislik standartları ışığında karşılaştırmalı tablolar ve görsel örneklerle desteklenmiştir. Sonuç olarak, ateşleme sistemlerinin evrimi yalnızca mekanik gelişmelerin bir göstergesi olmayıp aynı zamanda üretim

teknolojileri, mühimmat gelişimi ve taktiksel ihtiyaçların bir arada evrildiğinin kanıtıdır. Çalışmanın bulguları, tasarımcılar, üreticiler ve bakım personeli için uygulanabilir öneriler sunmakta; eğitim, test prosedürleri ve standardizasyon çalışmaları için referans teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tüfek, Ateşleme Sistemi, Flintlock, Percussion Lock, Centerfire

ABSTRACT

Firing systems in rifles have a decisive impact on effectiveness, safety, and manufacturability of firearms. This study comprehensively examines the historical development of ignition mechanisms, their technical characteristics, operational advantages and disadvantages, and their implications for production processes. Early matchlock systems offered simplicity and one-handed operation but were vulnerable to environmental conditions such as moisture, wind, and ignition delay. Intermediate mechanisms like the wheel lock and snaphaunce improved ignition reliability at the cost of greater complexity and expense. The flintlock, which became widespread in armies in the 17th century, was favored for its mechanical simplicity and ease of manufacture, facilitating standardization with the rise of industrial production. The percussion cap system developed in the 18th century increased firing speed and safety, paving the way for the widespread adoption of breech-loading cartridges. Nineteenth-century integrated cartridge designs such as pinfire and rimfire simplified ammunition handling, while the Dreyse needle rifle served as a prototype for bolt mechanisms and modern breech-loading ammunition, transforming military tactics. The adoption of centerfire systems enabled the use of more robust cartridge cases, improving resistance to high pressures and compatibility with rifled ammunition. The study also evaluates each mechanism's effects on rate of fire, developments in safety and locking devices, maintenance and cleaning requirements, and long-term durability criteria. From a manufacturing perspective, mechanism selection is directly related to mass-production efficiency, parts interchangeability, and cost optimization; simple, safe designs ease maintenance procedures and enhance field reliability. These assessments are supported by historical examples, modern engineering standards, comparative tables, and illustrative figures. In conclusion, the evolution of firing systems reflects not only mechanical innovation but also the concurrent development of production technologies, ammunition design, and tactical requirements. The study's findings offer practical recommendations for designers, manufacturers, and maintenance personnel and serve as a reference for training, testing procedures, and standardization efforts.

Keywords: Rifle, Firing System, Flintlock, Percussion Lock, Centerfire

1. GİRİŞ

Ateşli silah teknolojisi, insanlık tarihinin hem askerî hem de endüstriyel açıdan en çarpıcı gelişmelerinden biridir. Barutun 9. yüzyıl civarında Çin'de keşfedilmesiyle başlayan süreç, 14. yüzyıldan itibaren Avrupa'da el toplarının gelişimiyle yeni bir boyut kazanmıştır. Ancak bu ilk dönem silahlar, ateşlemenin manuel olarak fitil aracılığıyla yapılması nedeniyle hem güvenlik hem de hız açısından büyük sınırlamalara sahipti. Ateşleme sistemlerindeki her yeni buluş, silahın ateşleme hızını, güvenilirliğini ve ergonomisini artırmayı hedeflemiştir.

Tüfeklerde ateşleme sistemlerinin gelişimi, esasen iki ana faktörün etkisi altında şekillenmiştir: barutun yanma karakteristiği ve tetiğin çekilmesinden merminin ateşlenmesine kadar geçen zincirleme mekanizmanın tasarımı. Erken dönemde fitilli sistemler (matchlock), basit yapılarına rağmen saha şartlarında nem, rüzgar ve ateş gecikmesi gibi sorunlarla karşılaşıyordu. Bu sorunlar, 16. yüzyıl ortalarında tekerlekli ateşleme sisteminin ortaya çıkmasıyla kısmen aşıldı. Tekerlekli mekanizma, dönen bir çeliğin sürtünmesiyle kıvılcım oluşturuyor ve daha kontrollü bir ateşleme sağlıyordu. 17. yüzyılda geliştirilen çakmaktaşı sistem (flintlock), hem mekanik sadeliği hem de üretim kolaylığı nedeniyle tüm dünya ordularında yüz yıllarca kullanıldı. Bu sistemde, tetiğin çekilmesiyle birlikte çakmaktaşının çeliğe vurması sonucu oluşan kıvılcımlar, barutun tutuşmasını sağlıyordu. Flintlock'un getirdiği bu güvenilirlik, modern ateşleme sistemlerinin temel prensiplerinin gelişmesine zemin hazırladı. 18.yüzyıla gelindiğinde ise kapsüllü (percussion cap) sistemin icadıyla birlikte barutun tutuşması daha hızlı, emniyetli ve öngörülebilir hale geldi. Bu mekanizma, ateşlemenin dış etkenlerden daha az etkilenmesini sağlayarak modern kartuş sistemlerine giden yolu açtı. 20. yüzyılda önce kenardan ateşlemeli (rimfire), ardından ortadan ateşlemeli (centerfire) sistemler geliştirildi ve günümüzdeki yarı otomatik ve tam otomatik tüfeklerin temelini oluşturdu.

Bu çalışmada, tüfeklerde ateşleme sistemlerinin tarihsel gelişimi detaylı bir şekilde incelenecektir.

2. TÜFEKLERDEKİ ATEŞLEME SİSTEMLERİ

İlk taşınabilir silahlarda farklı türde ateşleme sistemleri kullanılmıştır. Tasarımları düz boğazlı, ağızdan doldurma şeklindeydi. Ateşleme mekanizmalarının geliştirilmesi, modern ateşli silahların mimarisi açısından bir ilerleme kaydetti. Bu ağızdan doldurulan tüfekler, yaygın olarak "muskete" olarak biliniyordu. Görsel 1'de Ağızdan doldurmalı bir tüfeğe ait temsili görsel mevcuttur[1].

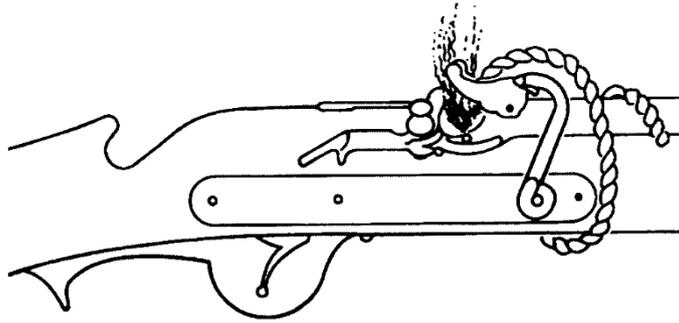


Görsel 1. Bir ağızdan doldurulan tüfeğin örneği [1].

2.1 Matchlock (Serpentine) Ateşleme Sistemi

Bu sistemin 15. yüzyılın ortalarında geliştirildiği bilinmektedir. İlk ateşleme tipinde bir fitilin yakılması gerekir; bu fitil, namlu içindeki barutu tutuşturarak msket kurşunun istenen hedefe doğru fırlamasını sağlar[2].

S şeklinde, "serpantin" adı verilen bir kol olarak yapılmıştır. Bu kol, bir fitil tutar ve bir tetik mekanizması kullanılarak serpantin aşağı indirilirdi, böylece yanmakta olan fitil, namlunun yan tarafına bağlı olan tepsideki ateşleme barutunu tutuştururdu. Tepsideki alev, silahın arka kısmındaki küçük bir delikten geçerek ana yükü ateşlerdi[1].



Görsel 2. Matchlock silahına ait temsili resim [3].

Matchlock, ateşli silahlarda önemli bir ilerlemeydi, çünkü tek elle kullanıma ve nişan alabilmeye olanak tanıyordu. Muzzle yükleme yapılan bu silah, bir fitil kullanarak ateşlemeyi sağlıyordu. İlk versiyonlarda fitil tutacak bir kanca bulunurken, bu kanca zamanla serpentine olarak adlandırılan bir şekle dönüştü. İngiltere’de 8.Henry döneminde bu silahlar popüler hale geldi, fakat nemli koşullarda kullanımı zordu[3].

Matchlock ateşleme sisteminin avantajı, tutukluk yapmamasıydı. Yine de matchlock tüfeklerin sayısız sakıncaları vardı: yağmur sırasında fitil yakılamaz ya da yanan halde tutulamazdı. Fitillerin kendilerinden gelen koku, parlı ve ses nedeniyle matchlock tüfikle donanmış askerlerin sürpriz saldırı yapması neredeyse imkânsızdı. Ayrıca, fitilli bir piyadenin kazara kendi veya bir yoldaşının mühimmatını ateşleme tehlikesi her zaman mevcuttu. Aslında 1677 yılına gelindiğinde, Kuzey Amerika’daki tüm İngiliz kolonilerinin “matchlock” tüfekleri yasaklanmış olduğu bildirilmektedir[2].

2.2 Wheel-lock Ateşleme Sistemi

Kesin olarak ne zaman ortaya çıktığı bilinmemektedir. Bazı kaynaklar 15. Yüzyıl başlarını bazı kaynaklar ise 16. Yüzyıl başlarını referans etmektedir.

Leonardo da Vinci’nin çizimleri arasında ve ayrıca Almanya’dan (özellikle Güney Almanya / Avusturya civarı) gelen belgelerde de farklı görüşlere rastlanılmaktadır[4].

Whell-Lock sistemi, içindeki oluklu bir çelik çarkın hızla döndürülmesiyle kıvılcım üreten bir mekanizmaydı. Çark bir yayla gerilir; çark döndüğünde çakmak taşı ya da pirit çarka sürterek kıvılcım çıkarır; bu kıvılcım tavalıktaki (pan) barutu tutuşturur ve namluyu ateşler.

Mekanizma, tutuşması zor olan bir fitile ihtiyaç duyan matchlock'a göre daha güvenli ve taşınması daha pratiktir, ama üretimi daha pahalı ve karmaşıktır[5].



Görsel 1. Wheel-Lock sistemine sahip bir silah resmi[16].

Sistem zamanla değişikliklere uğradı, bu evrimsel değişiklikler tek bir amaç için yapıldı; bu silahı mümkün olduğunca hava koşullarına ve suya dayanıklı hale getirmektir. Çalışan parçaları kaplayarak veya kilit plakasının içine yerleştirerek pas ve kırılma tehlikeleri azaltıldı[7].

2.3 Snaphaunce Ateşleme Sistemi

Yaklaşık olarak 1550 yıllarında icat edilen ve mekanik olarak daha az karmaşık olan bir sistemdir. Wheel-lock sistemine kıyasla yarı yarıya maliyeti azdı. Bu sistem kıvılcım oluşturmak için demir pirit yerine, çakmak taşı ve çelik kullanılmıştır. Çakmak taşı yaylı bir kola bağlıydı. Tetik çekildiğinde kol ileri doğru kayar çakmak taşı haznenin üzerinde bulunan bir çelik parçasına çarpar, bu çarpma sonucunda üretilen kıvılcım ile barut ateşlenmektedir[6].



Görsel 4. Bir Snaphaunce ateşleme sistemi[8].

2.4 Flintlock Ateşleme Sistemi

Snaphaunce ateşleme sisteminin geliştirilmesiyle ortaya çıkan flintlock ateşleme sistemi bugünkü hâlini 1610'da Fransa'da almıştır. Flintlock hâlâ, ana yükünü tutuşturmak için flaş

deliği aracılığıyla, tava içine doldurulan barutu kullanır; fakat pirit ve tekerleği ortadan kaldırır, bunun yerine kıvılcım çıkarmak için bir çakmak taşının çelik bir plakaya (frizzen) çarpmasına dayanır. Flintlock, tekerlekli kilitten çok daha basit bir tasarımdır ve bu yüzden üretimi çok daha ucuzdur. İşlevsel olması için deneyimli bir ustanın elinden çıkması gerekmez. Bir anda bir ordunun tamamını çakmaklı tüfeklerle donatmak mümkündür. Ayrıca kilit daha güvenilir, bakımı daha kolaydır. Sistem makul ölçüde su geçirmez yapılabilmektedir. Bu önemli avantajlar tez zamanda sistemin büyük sayılarda ve çok çeşitli biçimlerde üretilmesini sağlamıştır. Flintlock sistemine sahip ateşli silahlar çok yüksek bir olgunluk düzeyine ulaşmıştır[9].

Snaphaunce, ayrı bir pan-kapak ve ayrı bir çarpıcı çelik kullanarak kıvılcım üretirken; flintlock, bu iki fonksiyonu frizzen ile tek parçada birleştirip daha basit, daha güvenli ve daha güvenilir bir çözüm sunmuştur.



Görsel 5. Flintlock silahına ait resim[10].

2.5 Percussion Lock Ateşleme Sistemi

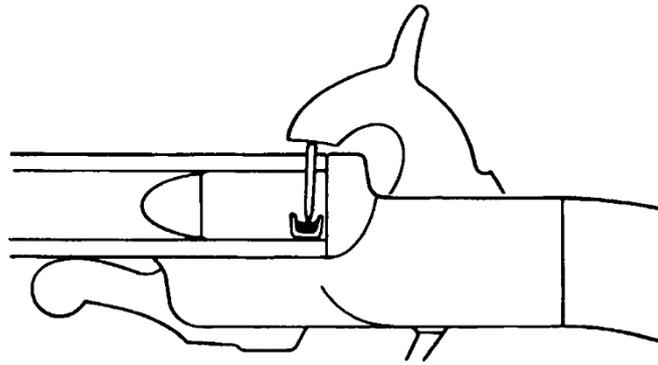
Perküsyon kapsülleri 19. yüzyılın başlarında geliştirildi. Ateşli silahların ateşlemede çakmaklı ateşleme sistemini iyileştirmeye hizmet etti. Çakmaklı ateşleme sistemleri yüksek oranda, barut nemi ve ateşleme için yeterli kıvılcım eksikliği gibi ateşleme arızalarıyla karşı karşıyaydı. 19. yüzyılın başlarında patlayıcı maddeler üzerinde yapılan araştırmalar, kısa sürede çakmaklı ateşleme sistemlerinin yerini aldı. Silahlarda ilk ateşlemeyi başlatmak için bir bileşik kullanma yönteminin İskoçyalı Rahip Alexander Forsyth tarafından bulunduğu kabul edilir. Forsyth ve diğer mucitlerin 1800'lerin başlarında fülminat ve potasyum klorat kullanma konusundaki başarılı deneyleri, bu yeni ateşleme malzemesini kullanmanın ve farklı yöntemleri kullanan düzinelerce patentin alınmasına yol açmıştır. Ateşli silahların kullanımını ve üretimindeki bu önemli geçiş, tüp, pelet, hap ve kapsül şeklinde birçok çeşit perküsyon kapsülünün yapılmasıyla sonuçlandı[11].



Görsel 6. Percussion lock sistemine ait resim[11].

2.6 Pinfire

1851'de Londra'daki Büyük Sergi'de Lefauchaux tarafından Birleşik Krallık'a tanıtılan pinfire silahı, itici madde, mermi ve kapsülün hepsinin pirinç bir kovan içinde bir arada bulunduğu, ilk gerçek arka yüklü silahlardan biriydi. Bu sistemde, kapsül fişek kovanının içinde bulunurken, kapsül üzerinde duran bir iğne fişek kovanının yan tarafından dışarı çıkıyordu. Silahın çekici bu iğneye vurduğunda, iğne kapsülü ateşleyerek ana itici maddeyi tutuşturuyordu. Silahın namlu haznesinden çıkan iğne, sadece mermiyi doğru pozisyona yerleştirmekle kalmıyor, aynı zamanda kullanılan fişegin çıkarılmasına da yardımcı oluyordu. Pinfire, 1890 ile 1910 arasında en popüler dönemini yaşadı ve 1940'a kadar Avrupa'da hala kolayca bulunabiliyordu. Ancak, İngiltere'de 1914'e kadar gözden düşmüştü ve 1935'e kadar neredeyse temin edilemez hale gelmişti[3].



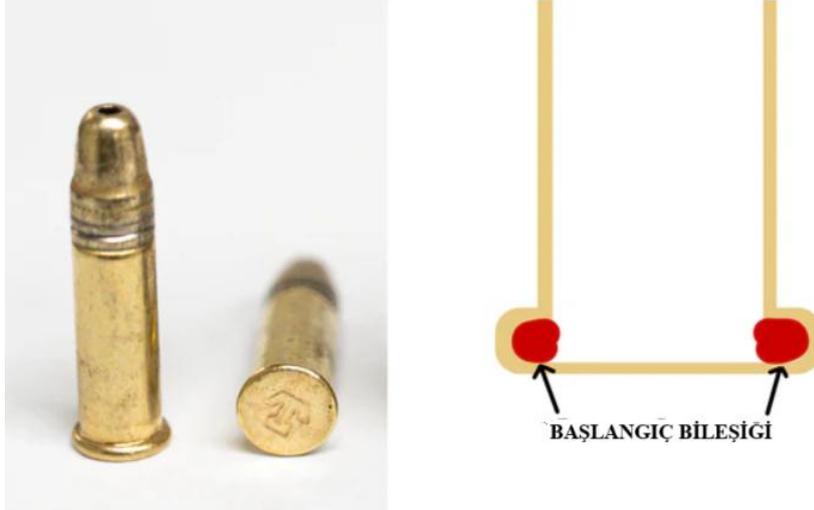
Görsel 7. Pinfire silahına ait temsili resim[3].

Pinfire revolverlerde mevcut kalibreler 5, 7, 9, 12 ve 15 mm iken, 9 mm, 12 kalibre ve diğer çeşitli kalibrelerde av tüfeği ve tüfek mühimmatı da bulunmaktaydı. Ancak pinfire sisteminin asıl büyük ilerlemesi, yalnızca kendi içinde birleşik bir fişek fikri değil, aynı

zamanda "obturation" özelliği idi. Bu özellik, basınç altında fişek kovanının şişerek namluyu mühürlemesi ve gazların geriye doğru kaçışını engellemesiydi[3].

2.7 Rimfire

Pinfire sistemi önemli bir ilerleme olmasına rağmen, birkaç dezavantajı da bulunuyordu; bunların en önemlisi, fişegin iğnesinin üzerine düşmesi durumunda patlama olasılığıydı. Bu sorun, 1851'de Büyük Sergi'de pinfire gibi sergilenen rimfire sistemi ile neredeyse tamamen ortadan kaldırıldı. Rimfire fişegi, içi boş ve kenarı flanşlı ince duvarlı bir fişektir. Bu flanşın içine küçük bir miktarda ateşleme bileşiği yerleştirilirdi. Ateşleme piminin kenarı ezmesi, ateşleme bileşiğinin patlamasına ve bu sayede fişek içindeki itici maddenin ateşlenmesine yol açardı. Bu sistemin ilk geliştirilmesi Parisli bir silah ustası olan Flobert tarafından 1847 gibi erken bir tarihte gerçekleştirilmişti. Ancak kabul görmesi zaman aldı ve ancak 1855'te Smith ve Wesson tarafından rimfire fişeklerini ateşleyen ilk revolver üretildi. Bu, çerçevenin üst kısmındaki bir menteşe ile namlusu yukarı doğru açılan 5.6mm kalibre bir silahtı ve bu, silindirin yüklenip boşaltılmasını sağlıyordu. Büyük bir ilerleme olmasına rağmen, rimfire sistemi yalnızca küçük kalibreli yüksek basınçlı silahlara uygundu. 5.6mm kalibre üzerindeki herhangi bir ölçüde, ateşleme sistemi için gerekli olan yumuşak kenar fişek kovanının arızalanmasına neden oluyordu. [3]

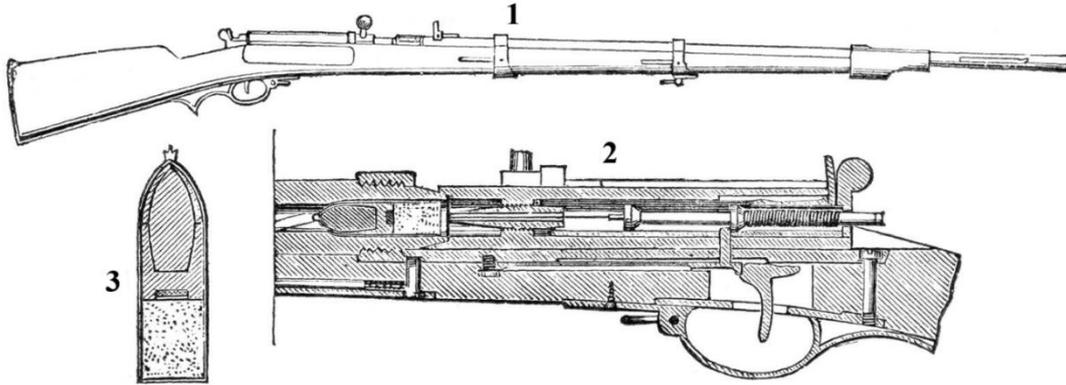


Görsel 8. Rimfire fişek resmi[12].

2.8 Dreyse İğne Ateşleme Sistemi

Prusya Ordusu tarafından 19. yüzyılın ortalarında ilk kez tanıtılan Dreyse iğneli tüfek, 1864'te Danimarka'ya ve 1866'da Avusturya'ya karşı ordunun zaferinde belirleyici olan devrimci bir mahmuzdan doldurmalı (breech-loading) tüfektir. Alman silah ustası Johann Nicolaus von Dreyse tarafından 1836'da icat edilen bu tüfek birçok açıdan yenilikçiydi. O zamana kadar tüfekler ağızdan dolduruluyordu ve bu doldurma işlemi ayakta yapılmak zorundaydı. Mahmuzdan doldurmalı tüfekler 18. yüzyıldan itibaren çeşitli evrimsel

aşamalardan geçmiş olsa da Von Dreyse kağıt kartuş yerleştirilerek namlu arka kısmını (breech) açıp kapatan bir cıvata (bolt) mekanizması geliştirdi. Tetik çekildiğinde, iğne benzeri bir ateşleme pimi kağıt kartuşu delip bir darbe kapağını (percussion cap) çarparak mermiyi ateşliyordu; dolayısıyla tüfeğin adı buradan gelmektedir. Bu kartuşlar ağızdan doldurulmalı silahlardan mahmuzdan doldurulmalı silahlara geçişte büyük rol oynadı. İğneli tüfek, yaygın olarak benimsenen ilk askeri mahmuzdan doldurulmalı silah oldu ve askerî sahnede ağızdan doldurulmalı tüfekleri eskimiş hale getirdi. "Ateşleme iğneli tüfek" adı, ateşleme piminden türemiştir; çünkü bu pim, bir iğne gibi kağıt kartuşun içinden geçerek merminin tabanındaki darbe kapağına çarpıyordu. Bu tür iğneli tüfek kartuşlarının bir eksikliği ateşleme mekanizmasıydı: iğne, barutun yanması nedeniyle sürekli olarak çok yüksek sıcaklığa maruz kalıyordu. İğneler ince ve narindi, bu yüzden sık sık kırılıyorlardı. Sonuç olarak, askerlerin sahada yedek iğneler taşınması gerekiyordu. Ayrıca, mahmuzdaki sızdırmazlık mekanizması her zaman tam sıkı değildi; gaz ara sıra kaçıyor ve askerlerin yanaklarını yakıyordu. Daha sonra mahmuzdan doldurma için daha iyi seçenekler icat edildi ve iğneli tüfek ile kartuşları 1880'ler civarında ya da o dönemde tarihe karıştı[13].



1-Dreyse İğneli Tüfek, 2-Tüfekten Kesit, 3-Fişek

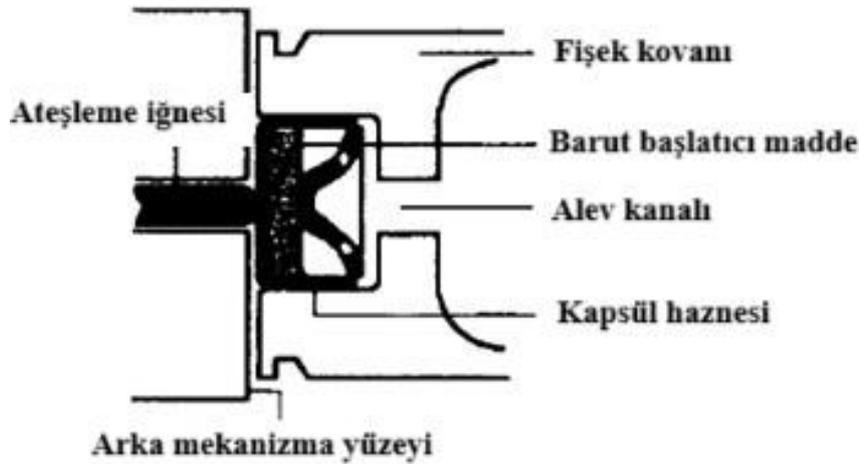
Görsel 9.Dreyse iğneli tüfek ve fişğine ait temsili resim[14].

2.9 Centerfire Ateşlemeli Sistem

Merkez vuruşlu (center-fire) kartuşun geliştirilmesi gerçekten yüksek güce sahip ateşli silahların tasarımına olanak sağladı. Yaygın biçiminde bildiğimiz çatallı (rimmed) veya çatalsız (rimless) kovan şeklindedir. Kapsül, kovan başının ortasındaki bir çukura oturan ayrı bir elemandır. Bu tasarım, herhangi bir kenar-vuruşlu (rimfire) tasarımdan çok daha güvenilir bir ateşleme sağlar ve ayrıca, kenarı ezilmiş rimfire tasarımının yeniden doldurmaya uygun olmamasının aksine, yeniden doldurulmaya elverişlidir. Tasarımın evrimi öyle olmuştur ki, bunu kesin olarak tek bir kaynağa atfetmek mümkün değildir. Bununla birlikte, pratik açıdan bakıldığında, 1857'de Fransa'da patentlenen Pottet kovanı, tüm merkez-vuruşlu kovanların doğrudan atası sayılabilir. Geçmişte birçok Avrupalı yazar, geliştirmeyi İngiliz silah yapımcısı Charles Lancaster'a atfetmiştir. Aslında Lancaster kovanı, önceki pinfire tasarımının sakıncalarını gidermeye yönelik bir girişimden ibaretti. Doğru, işleyiş olarak merkez-vuruşlu; ancak Pottet'in tasarımının modern merkez-vuruşluya sağladığı benzerliği

Lancaster'ın tasarımında bulmak mümkün değildir. Lancaster'ın geliştirmesi geçici bir çözümken, Pottet'in geliştirmesi yeni bir ateşleme ilkesiydi. İlk yaygın biçimde kullanılan merkez-vuruşlu kovan, 1861'de İngiltere'de patentlendi. Bu kovan ilk olarak İngiliz silah üreticisi G. H. Daw tarafından satıldı. 1866'da Daw, benzer bir kartuş ürettiği gerekçesiyle W. T. Eley'ye dava açtı. Dava reddedildi ve kısa süre sonra İngiltere'de pek çok merkez-vuruşlu modifikasyon geliştirildi[15].

Bu, silah ve mühimmat gelişiminde büyük bir kilometre taşıydı. Ortada ateşleme mühimmatında, sadece primerin ateşleme pimi tarafından ezilebilecek kadar yumuşak olması gerektiği için, fişek kılıfı daha sağlam bir malzemeden yapılabiliyordu. Buda, daha yüksek basınçlar için gaz sızdırmazlık sağlayarak, yivli mühimmat ile elde edilebilecek basınçlardan çok daha fazlasına dayanmasını sağladı.



Görsel 10. Ortadan ateşlemeli bir tüfekte iğne ve fişek temsili resmi[3].

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Ateşli silahlarda ateşleme sistemlerinin evrimi, yalnızca mekanik bir yenilik süreci değil; aynı zamanda askerî doktrinlerin, malzeme teknolojilerinin ve seri üretim tekniklerinin gelişimiyle paralel ilerleyen çok boyutlu bir dönüşümdür. Bu çalışma, matchlock'tan centerfire mühimmatlara uzanan yaklaşık beş yüzyıllık süreçte, ateşleme mekanizmalarının tasarım mantığını, kullanım gereksinimlerini ve performans çıktıları üzerindeki etkilerini kapsamlı şekilde incelemiştir.

Erken dönem fitil sistemleri, barut enerjisinin ateşli silahlarda kullanılmasına dair ilk pratik çözümlerden biri olarak sunuldu; ancak ateş gecikmesi, çevresel hassasiyet ve emniyet eksikleri, bu mekanizmaların sürdürülebilir ve taktik üstünlük sağlayan yapılar olmasını engelledi. Wheel-lock ve snaphaunce gibi ara adımlar, kıvılcım üretimini mekanikleştirmeleri sayesinde daha kararlı bir ateşleme sağladı; buna karşın karmaşık dişli sistemler, yüksek imalat maliyeti ve bakım zorluğu, geniş ölçekli yaygınlaşmalarını sınırladı.

Flintlock dönemi, bu evrimin en kritik teknik ve stratejik kırılma noktalarından biridir. Daha sade mekanik düzenek, seri üretime uygunluk, sahada kolay onarım ve nispeten yüksek ateşleme güvenilirliği, yüzyıllarca standart kabul edilmesini sağlamıştır. Flintlock'un başarısı,

modern ateşli silah mühendisliğinin en temel ilkelerinden olan parça standardizasyonu, basitlik ve alan bakım kolaylığını ortaya koymuştur.

Percussion cap sistemi ile birlikte kimyasal kapsül teknolojisinin devreye girmesi, ateşleme güvenilirliğini dramatik biçimde artırmış; ayrıca namludan doldurulmalı sistemlerden hazne doldurulmalı (breech-loading) sistemlere geçişin altyapısını hazırlamıştır. Bu geçiş, namlu mühendisliğinde ve mühimmat tasarımında basınca dayanım, obtürasyon ve gaz sızdırmazlığı gibi kavramların ön plana çıkmasına neden olmuştur.

Yüzyılın ortalarından itibaren bütünleşik kartuşların (pinfire, rimfire) gelişimi, kullanım kolaylığı ve lojistik üstünlük sunarken, Dreyse iğneli tüfek gibi yenilikçi sistemler, modern bolt mekanizmalarının öncüsü olarak doktrinleri değiştirmiştir. Ancak bu tasarımlar, rehberlik yetersizliği, iğne kırılması ve gaz sızdırmazlığı sorunları nedeniyle kısa sürede daha gelişmiş çözümlere bırakılmıştır.

Günümüzün standart kabul edilen centerfire mühimmat sistemi ise, bu evrimin en rafine sonucudur. Pirinç esaslı yüksek mukavemetli kovan yapısı, ayrı primer elemanı ve yeniden doldurulabilirlik özelliği sayesinde hem yüksek basınçlı iç balistiğe uyum sağlamış hem de endüstriyel hacimli üretim ile birlikte standartlaşmayı mümkün kılmıştır. Bu yapı, yüksek atım ömrü, güvenilir ateşleme, lojistik etkinlik ve maliyet optimizasyonu açısından optimum denge sunmaktadır.

Bu çalışma, ateşleme sistemlerinin tarihsel gelişimini incelerken aynı zamanda günümüz hafif silah platformlarının tasarımında hâlâ geçerliliğini koruyan bazı temel ilkeleri ortaya koymuştur:

- Basitlik ve üretilebilirlik, savaş sahasında avantajdır.
- Gaz sızdırmazlığı, basınç yönetimi ve malzeme seçimi ateşleme başarısının kritik belirleyicisidir.
- Ateşleme mekanizması güvenilirliği, balistik performans kadar operasyonel üstünlük sağlar.
- Endüstriyel standardizasyon ve bakım kolaylığı, teknolojik çözümün sürdürülebilirliğini belirler.
- Kimyasal kapsül ve mühimmat yapısı, mekanizma tasarımını belirleyen değil, tanımlayan unsurdur.

Sonuç olarak, ateşleme mekanizmalarının evrim çizgisi, yalnızca eski sistemlerin yerini daha gelişmiş tasarımların alması şeklinde değil; bunun ötesinde saha ihtiyaçları, enerji yoğunluğu yönetimi, mühimmat standardizasyonu ve üretim teknolojilerinin eş zamanlı uyumu ile şekillenen bir dönüşüm olarak değerlendirilmelidir. Günümüzde piezoelektrik ateşleme, elektromanyetik fırlatma ve elektronik tetikleme sistemleri gibi gelişmeler çalışılmaya devam etmekte olup, tarihsel süreçte görülen temel eğilimlerin (özellikle güvenilirlik, dayanım, basitlik ve emniyet) geleceğin ateşleme platformlarında da korunacağı öngörülebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Das, P. K., Das, L. P., & Das, D. P., *Science and engineering of small arms*. CRC Press, 2022.
- [2] Saidel, B. A., Matchlocks, flintlocks, and saltpetre: the chronological implications for the use of matchlock muskets among Ottoman-period Bedouin in the southern Levant. *International Journal of Historical Archaeology*, 4(3), 191-216, 2000.
- [3] Heard, B. J., *Handbook of firearms and ballistics*. Wiley-Blackwell, 2008.
- [4] Foley, V., Rowley, S., Cassidy, D. F., & Logan, F. C., Leonardo, the wheel lock, and the milling process. *Technology and Culture*, 24(3), 399-427, 1983.
- [5] Stevenson, C., Wheel-Lock Guns and Pistols. *Bulletin of the Pennsylvania Museum*, 6-9., 1909
- [6] Flatnes, Oyvind. *From musket to metallic cartridge: A practical history of black powder firearms*. Crowood, 2013.
- [7] Lindsay, M., *One hundred great guns*, Walker and Company, New York, 1967.
- [8] <https://americansocietyoffarmscollectors.org/wp-content/uploads/2022/04/2012-B105-A-Note-on-Flint-locks-and-the-Flintlock.pdf> (Erişim Tarihi: 29.10.2025)
- [9] <https://www.fareconsultants.nl/ashorthistory.pdf> (Erişim Tarihi: 29.10.2025)
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Flintlock_mechanism (Erişim Tarihi: 30.10.2025)
- [11] Weber, K. P., & Scott, D. D., Uncapped potential: Applying firearms identification procedures in the analysis of percussion caps. *Historical Archaeology*, 40(3), 131-143, 2006.
- [12] <https://hi-luxoptics.com/blogs/leatherwood-hi-lux/what-is-a-rimfire-round> (Erişim Tarihi: 31.10.2025)
- [13] Aizawa, M., Furukawa, Y., Shinjo, R., & Mizota, C. Provenance Analysis of Lead in Bullets Used in the Dreyse Needle Rifle: Stable Isotopic Constraints Along with an Economic–Historic Analysis. *Available at SSRN 4564652*.
- [14] <https://www.oldbookillustrations.com/illustrations/prussian-needle-rifle> (Erişim Tarihi: 30.10.2025)
- [15] Smith, W. H. B., *Small Arms of the World: The Basic Manual of Military Small Arms Edition: 9*, Stackpole Books, Harrisburg, 1969.
- [16] http://therifleshoppe.com/catalog_pages/wheellocks/%28623%29.htm (Erişim Tarihi: 29.10.2025)

ANTIOXIDANT AND ANTIFIBROTIC EFFECTS OF SPIRULINA PLATENSIS EXTRACT

Assist. Prof. Dr. İlhan ÖZDEMİR

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Medicine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9957-0211>

Assoc. Prof. Dr. Şamil ÖZÜTRK

Çanakkale Onsekiz Mart University, Vocational School of Health Services

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

samilozturk16@hotmail.com, 0538 385 01 86

Abstract

This study aimed to investigate the antioxidant and antifibrotic effects of *Spirulina platensis* extract. *Spirulina platensis* is known as a potent natural antioxidant source thanks to its rich phenolic compounds, phycocyanin, and carotenoid content. Oxidative stress plays an important role in the development of fibrosis as well as many chronic diseases. Therefore, natural compounds that reduce oxidative damage are expected to have antifibrotic potential. In this study, the free radical scavenging capacity of *Spirulina platensis* extract was determined, and its effects on oxidative stress markers at the cellular level were evaluated. Furthermore, the extract's regulatory role on collagen deposition and fibrotic markers was investigated. The findings showed that *Spirulina platensis* reduced the production of reactive oxygen species (ROS), strengthened the antioxidant defense system, and suppressed the expression of fibrotic proteins. In conclusion, *Spirulina platensis* extract can be considered a protective agent in oxidative stress-induced fibrosis processes. These findings support the therapeutic potential of naturally occurring antioxidants and suggest that *Spirulina platensis* is a promising candidate for antifibrotic treatment strategies.

Keywords: *Spirulina platensis*, antioxidant, antifibrotic, oxidative stress, fibrosis

Introduction

Oxidative stress is a condition that results from the disruption of the balance between free radical production and antioxidant defense systems, leading to lipid peroxidation, DNA damage, and protein oxidation at the cellular level (Birben et al., 2012). Long-term oxidative stress can cause fibrosis in organs such as the liver, kidney, heart, and lungs, contributing to

tissue dysfunction and the progression of chronic diseases (Wynn & Ramalingam, 2012). Fibrosis is characterized by excessive extracellular matrix (ECM) accumulation and increased collagen synthesis. Overexpression of markers such as transforming growth factor-beta (TGF- β), α -smooth muscle actin (α -SMA), and Collagen I play an important role in this process (Henderson et al., 2020). In recent years, it has been reported that natural antioxidant compounds can be considered a therapeutic approach in preventing oxidative stress-induced fibrotic damage (Szymonik-Lesiuk et al., 2003). Microalgae, particularly *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*), are among the potent natural antioxidant sources noted for their rich phenolic compounds, phycocyanin, carotenoid, and chlorophyll content (Karkos et al., 2011). *Spirulina's* biological activities include antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory, and hepatoprotective effects; these properties are attributed to its phycocyanin pigment and polyphenolic compounds (Belay, 2008; Chu et al., 2010).

Spirulina platensis has been reported to be effective in reducing oxidative stress in various disease models, suppressing lipid peroxidation, and increasing glutathione levels (Jayanth et al., 2018). Additionally, some studies have shown that *Spirulina* may limit the development of fibrosis and possess anti-fibrotic potential (Pabon et al., 2019). These effects are attributed to *Spirulina's* ability to reduce ROS production, increase antioxidant enzyme activity, and regulate fibrotic gene expression.

In light of this information, the current study aims to investigate the antioxidant and anti-fibrotic effects of *Spirulina platensis* extract. The study determined the free radical scavenging capacity of *Spirulina* extract and evaluated its effects on cellular oxidative stress markers and fibrotic protein expression. The findings are expected to contribute scientifically to the development of new therapeutic strategies for the treatment of fibrosis using natural compounds.

Material Method

The study was conducted at the Çanakkale Onsekiz Mart University Experimental Research Application and Research Center using 24 6-8 week-old Wistar albino female rats weighing 200-300 grams. Doxorubicin (2 mg/kg) was used as the chemotherapeutic drug to induce toxicity. Some animals administered Doxorubicin received 500 mg/kg SP intragastrically (gavage) once daily for 21 days. On the 21st day of the experiment, the animals were sacrificed under general anesthesia (Ketamine 75 mg/kg + Xylazine 10 mg/kg), and tissue samples were collected.

Group 1: Control group; no therapeutic application was performed (n=6).

Group 2: Doxorubicin group (DOX): Doxorubicin was administered intraperitoneally at a dose of 2 mg/kg in a volume of 100 μ L (n=6).

Group 3: DOX (2 mg/kg ip) + SP (500 mg/kg intragastric) group (n: 6).

Group 4: SP group: 500 mg/kg SP was administered intragastrically (gavage) every day (n: 6).

Results

Body Weight Assessment

The mean weights of the rats before and after the experiment were statistically evaluated. The mean (Mean), standard deviation (SD), and p-values of the body weights for the groups are presented in Figure 1. As a result of the assessment, weight loss was observed in the subjects treated with DOX ($p < 0.001$) and DOX+SP ($p < 0.05$), while weight gain was observed in the Control and SP groups.

Histological Findings

The medulla of the ovarian sections from the control group had a loose connective tissue structure, containing collagen and reticular fibers, and rich in vascular and nerve tissue. Histologically, it appeared normal (Figure 1). Ovarian tissues from rats in Group IV, which received only SP, were examined by light microscopy, and generally normal histological findings were detected. Ovarian sections from the SP group showed no pathological findings in the cortical stroma and parenchyma, and their general morphological characteristics were similar to those of the control group. However, some sections showed areas of vascular congestion (Figure 1). When ovarian sections from DOX-administered experimental groups were compared with those from the control and SP-only experimental groups, it was observed that the normal histological structure of the ovary was disrupted, and follicular degeneration, vascular congestion, hemorrhage, and polymorphonuclear leukocyte infiltration (PMNL) were higher compared to the other experimental groups (Figure 1). In rat ovarian samples from the DOX + SP groups, the histological structure was preserved in the DOX+SP group compared to the DOX-administered experimental groups, while edema, vascular congestion, and PMNL infiltration were reduced, and newly developing follicles were observed (Figure 1).

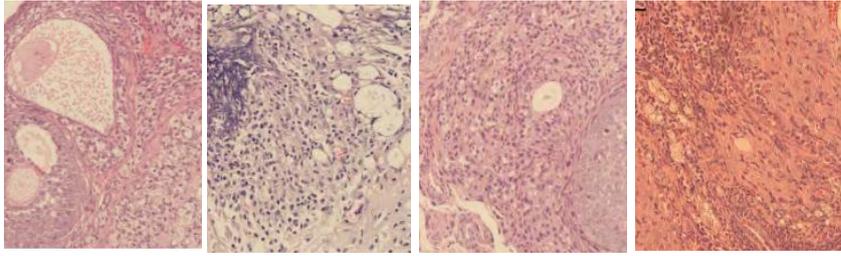


Figure 1. H&E staining of ovarian tissues, magnification X20.

Discussion

This study evaluated the efficacy of spirulina, a primary source of high levels of gamma-linolenic acid, beta-carotene, linoleic acid, and arachidonic acid, in reducing doxorubicin-induced ovarian tissue damage. The protective effects of spirulina on doxorubicin-induced ovarian damage were evaluated histochemically, demonstrating its therapeutic efficacy in terms of both preserving primordial follicle numbers, which determine ovarian reserve, and developing follicle numbers. Many agents, primarily antioxidants, are used in the treatment of doxorubicin-induced ovarian toxicity. At the cellular level, oxidative stress causes DNA damage. The effectiveness of the use of antioxidants to significantly attenuate doxorubicin-induced mutagenicity by suppressing doxorubicin-induced oxidative stress and p53-mediated mitochondrial apoptosis has been demonstrated in the literature (Attia et al., 2010, Yeh et al., 2009). According to the results obtained from our study, it was determined that there was a decrease in the number of primordial follicles in the DOX group and a significant increase in atretic follicles compared to the control group, while the follicle numbers in the ovaries of the DOX+SP group were close to the control group.

References

1. Belay, A. (2008). Spirulina (Arthrospira): production and quality assurance. *Trends in Food Science & Technology*, 19(11), 591–602.
2. Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, 5(1), 9–19.
3. Chu, W. L., Lim, Y. W., Radhakrishnan, A. K., & Lim, P. E. (2010). Protective effect of aqueous extract from *Spirulina platensis* against cell death induced by free radicals. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10(1), 53.
4. Henderson, N. C., Rieder, F., & Wynn, T. A. (2020). Fibrosis: from mechanisms to medicines. *Nature*, 587(7835), 555–566.
5. Jayanth, C., Kesavan, R., & Pandian, S. K. (2018). *Spirulina platensis* mitigates oxidative stress and inflammation in carbon tetrachloride-induced hepatic injury in rats. *Toxicology Reports*, 5, 995–1002.

6. Karkos, P. D., Leong, S. C., Karkos, C. D., Sivaji, N., & Assimakopoulos, D. A. (2011). Spirulina in clinical practice: evidence-based human applications. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, 531053.
7. Pabon, M. M., Navarro, C. D., & Hernandez, F. (2019). Spirulina and its components in the treatment of fibrotic diseases. *Journal of Applied Phycology*, 31(2), 781–789.
8. Szymonik-Lesiuk, S., Czechowska, G., Stryjecka-Zimmer, M., Słomka, M., Madro, A., Celinski, K., & Wielosz, M. (2003). Catalase, superoxide dismutase, and glutathione peroxidase activity in various rat tissues after carbon tetrachloride intoxication. *Journal of Hepatobiliary Pancreatic Surgery*, 10(4), 309–315.
9. Wynn, T. A., & Ramalingam, T. R. (2012). Mechanisms of fibrosis: therapeutic translation for fibrotic disease. *Nature Medicine*, 18(7), 1028–1040.
10. Attia, S.M., Al-Bakheet, S.A., Al-Rasheed, N.M. (2010). Proanthocyanidins produce significant attenuation of doxorubicin-induced mutagenicity via suppression of oxidative stress. *Oxid. Med. Cell. Longev*, 3, 404e413.
11. Yeh Y.C., Liu T.J, Wang L.C., Lee H.W., Ting C.T., Lee W.L., Hung C.J., Wang K.Y., Lai H.C., Lai H.C. (2009) A standardized extract of Ginkgo biloba suppresses doxorubicin-induced oxidative stress and p53-mediated mitochondrial apoptosis in rat testes. *Br. J. Pharmacol*, 156, 48e61.

MOLECULAR MECHANISMS OF HESPERIDIN IN FIGHTING CANCER

Assist. Prof. Dr. İlhan ÖZDEMİR

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Medicine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9957-0211>

Assoc. Prof. Dr. Şamil ÖZÜTRK

Çanakkale Onsekiz Mart University, Vocational School of Health Services

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

samilozturk16@hotmail.com, 0538 385 01 86

Abstract

This study examines the potential effects of hesperidin, a natural flavonoid, in combating cancer. Hesperidin, a compound abundant in citrus fruits, is noted for its antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer properties. Numerous studies have demonstrated the regulatory effects of hesperidin on oxidative stress, inflammation, and cell cycle disorders, which play a significant role in cancer development. Hesperidin limits oxidative damage by reducing the production of reactive oxygen species (ROS) and induces controlled cell death in cancer cells by activating apoptotic signaling pathways. It also slows tumor growth by suppressing cell proliferation and reduces the expression of MMP enzymes involved in metastatic processes. It has been reported to exhibit synergistic effects when used in combination with certain chemotherapeutic drugs. In conclusion, hesperidin can be considered a safe and effective complementary compound in cancer treatment, both alone and in combination with other anticancer agents. These properties make hesperidin a promising candidate for the development of next-generation natural anticancer agents.

Keywords: Hesperidin, cancer, antioxidant, apoptotic effect

Introduction

Cancer is a group of diseases characterized by the uncontrolled proliferation of cells and their invasion of surrounding tissues, causing high morbidity and mortality worldwide. Current treatment approaches include surgery, radiotherapy, and chemotherapy, but these methods are often limited by side effects and the development of treatment resistance (Hanahan & Weinberg, 2011). Therefore, the use of

naturally derived compounds as supportive or complementary agents in cancer treatment is gaining increasing importance.

Hesperidin is a flavonoid glycoside found abundantly in citrus fruits, particularly oranges, tangerines, and lemons. The antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, cardioprotective, and neuroprotective properties of hesperidin have been demonstrated in numerous *in vitro* and *in vivo* studies (Roohbakhsh et al., 2015). Recent research suggests that hesperidin may have antitumoral effects by suppressing cancer cell proliferation, inducing apoptosis, and inhibiting metastasis.

1. Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties

Oxidative stress is one of the mechanisms that plays a significant role in cancer development. Reactive oxygen species (ROS) cause DNA damage, trigger mutations, and accelerate tumor development. Hesperidin limits cellular oxidative damage by reducing ROS production and activates endogenous antioxidant defense systems (SOD, CAT, and GSH) (Parhiz et al., 2015). Furthermore, hesperidin suppresses the inflammatory response by inhibiting the activation of nuclear factor kappa-B (NF- κ B), thereby reducing the expression of proinflammatory cytokines such as IL-6, TNF- α , and COX-2 (Li & Schluesener, 2017). These effects both reduce the inflammatory state of the tumor microenvironment and contribute to the suppression of cell proliferation.

2. Effects on Apoptosis and the Cell Cycle

One of the anticancer effects of hesperidin is its capacity to activate apoptotic signaling pathways. Studies have shown that hesperidin activates the mitochondrial pathway, increases cytochrome c release, and stimulates caspase-3, -8, and -9 enzymes (Kumar et al., 2020). It also induces cell death by increasing the Bax/Bcl-2 ratio, contributing to the selective elimination of cancer cells. Hesperidin also inhibits proliferation by arresting the cell cycle at the G0/G1 or G2/M phase. For example, experiments in breast cancer (MCF-7) and cervical cancer (HeLa) cells have reported that hesperidin reduces CDK2 and Cyclin D1 expression (Garg et al., 2019).

3. Effects on Metastasis and Angiogenesis

Metastasis is a critical step in the progression of cancer to advanced stages. Hesperidin inhibits cell invasion by suppressing the expression of matrix metalloproteinases (MMP-2 and MMP-9). It also limits angiogenesis by reducing vascular endothelial growth factor (VEGF) levels (Kim et al., 2020). This reduces the tumor's ability to form new vessels and metastatic spread.

4. Synergistic Effects with Chemotherapeutic Agents

Recent studies have reported that hesperidin increases treatment efficacy when used in combination with some chemotherapeutic drugs. For example, when combined with adriamycin (doxorubicin), it reduces cell viability and synergistically regulates markers of oxidative stress and apoptosis (Öztürk et al., 2024).

Similarly, when used in combination with cisplatin or 5-fluorouracil, it has been observed to reduce the development of drug resistance (Chen et al., 2019).

Conclusion

Hesperidin is a promising compound in cancer treatment thanks to its natural structure, low toxicity, and versatile biological activities. Its antioxidant and anti-inflammatory effects reduce cellular damage while stimulating apoptotic mechanisms, enabling tumor cell elimination. Furthermore, its ability to suppress metastasis and angiogenesis offers the added advantage of slowing tumor progression. Future clinical studies are needed to demonstrate the efficacy of hesperidin in various cancer types, either alone or in combination with chemotherapeutic agents. Such studies could position hesperidin among the next generation of natural anticancer agents.

References

1. Hanahan, D., & Weinberg, R. A. (2011). *Hallmarks of cancer: the next generation*. *Cell*, 144(5), 646–674.
2. Roohbakhsh, A., et al. (2015). *Hesperidin in animal models of nervous system disorders: A review of its neuroprotective properties*. *Life Sciences*, 124, 64–74.
3. Parhiz, H., et al. (2015). *Antioxidant and anti-inflammatory properties of the citrus flavonoids hesperidin and hesperetin: an updated review of their molecular mechanisms and experimental models*. *Phytotherapy Research*, 29(3), 323–331.
4. Li, S., & Schluesener, H. J. (2017). *Health-promoting effects of the citrus flavanone hesperidin*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3), 613–631.
5. Önder, G. Ö., Göktepe, Ö., Baran, M., Bitgen, N., Aydın, F., & Yay, A. (2023). Therapeutic potential of hesperidin: Apoptosis induction in breast cancer cell lines. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, 176, 113791.
6. Kumar, S., et al. (2020). *Hesperidin triggers mitochondrial mediated apoptosis and cell cycle arrest in human cervical cancer cells (HeLa)*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 122, 109704.
7. Shakiba, E., Bazi, A., Ghasemi, H., Eshaghi-Gorji, R., Mehdipour, S. A., Nikfar, B., Rashidi, M., & Mirzaei, S. (2023). Hesperidin suppressed metastasis, angiogenesis and tumour growth in Balb/c mice model of breast cancer. *Journal of cellular and molecular medicine*, 27(18), 2756–2769.
8. Artanti, A. N., Jenie, R. I., Rumiayati, R., & Meiyanto, E. (2024). Hesperidin and Diosmin Increased Cytotoxic Activity Cisplatin on Hepatocellular Carcinoma and Protect Kidney Cells Senescence. *Asian Pacific journal of cancer prevention : APJCP*, 25(12), 4247–4255.
9. Öztürk, Ş., et al. (2024). *Synergistic effects of hesperidin and doxorubicin on HeLa cervical cancer cells*. (Unpublished data).

OLGU SUNUMU: SOL PEG LATERAL VE GÖMÜLÜ KANIN İLE BİRLİKTE SAĞ LATERAL EKSİKLİĞİ OLAN HASTANIN PROTETİK REHABİLİTASYONU

Arş. Gör. Büşranur DEMİR*

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize
busranur.demir@erdogan.edu.tr- ORCID ID: 0009-0007-2242-8277

Öğr. Gör. Hilal Ok BOSTAN

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize
hilal.ok@erdogan.edu.tr – ORCID ID: 0000-0002-6415-5728

ÖZET

Giriş: Anterior bölgede diş eksiklikleri, şekil bozuklukları ve yer darlığı gibi durumlar yalnızca estetik açıdan değil, aynı zamanda fonksiyonel, fonasyonel ve psikososyal açıdan da birey üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir. Zirkonya alt yapılı porselen veneer uygulaması, alternatif seçenekler arasında yüksek dayanım, biyouyumluluk ve estetik üstünlüğü nedeniyle tercih edilir.

Amaç: Bu olgu sunumunun amacı, sağ lateral diş eksikliği, sol peg lateral ve gömülü kanin bulunan bir hastada, sağ kanin ile sol premolar dişler arasındaki bölgeye zirkonya alt yapılı porselen veneer uygulamasıyla gerçekleştirilen protetik rehabilitasyonu sunmaktır.

Olgu Sunumu: 34 yaşında kadın hasta, üst ön bölgede diş eksikliği ve estetik şikâyetiyle kliniğe başvurdu. Yapılan klinik ve radyografik muayenede sağ lateral dişin eksik, sol lateral dişin konjenital olarak peg şeklinde, sol kanin dişin ise gömülü olduğu saptandı. Gömülü kanin dişin pozisyonu protetik planlamayı etkilemediğinden çekimine gerek duyulmadı. Kök rezorpsiyonu ve mobilite varlığı nedeniyle sol lateral diş çekildi. İlgili dişlerin kesimleri yapılarak geçici restorasyonla dişeti şekillendirilmesi hedeflendi. Laboratuvarda alt yapı Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim (CAD-CAM) ile tasarlanıp zirkonya bloktan frezelenip, sinterlendi. Üzerine feldspatik porselen tabakalanarak fırınladı. Restorasyon polikarboksilat simanla simante edildi. Kontrol seanslarında estetik, fonksiyon ve gingival uyumun klinik olarak yeterli düzeyde sağlandığı belirlendi.

Sonuç: Anterior bölgedeki yer darlığı ve asimetrinin giderilmesi amacıyla, sağ iki anterior diş üç diş formu verilmiş ve porselen restorasyonlarla estetik uyum sağlanmıştır. Sağ bölgede papil

alanındaki doku eksikliği, pembe porselen uygulamasıyla estetik olarak restore edilmiş ve sol bölgeyle simetrik bir görünüm sağlanmıştır. Bu minimal invaziv yaklaşım sayesinde destek dişlerde madde kaybı azaltılmış, kısa sürede doğal ve estetik bir rehabilitasyon sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Estetik Rehabilitasyon, Peg Lateral, Zirkonya

ANTERİOR ESTHETİC REHABILITATION IN A PATIENT WITH PEG LATERAL, IMPACTED CANINE, AND LATERAL AGENESIS: A CASE REPORT

ABSTRACT

Introduction: Anterior tooth deficiencies, morphological anomalies, and space limitations can negatively affect individuals not only aesthetically but also functionally, phonetically, and psychosocially. Among alternative treatment options, zirconia-based porcelain veneers are preferred due to their high strength, biocompatibility, and superior esthetics.

Purpose: The aim of this case report is to present the prosthetic rehabilitation of a patient with a missing right lateral incisor, a peg-shaped left lateral incisor, and an impacted canine, using zirconia-based porcelain veneers in the region between the right canine and left premolar teeth.

Case Presentation: A 34-year-old female patient presented to the clinic with a complaint of tooth deficiency and esthetic dissatisfaction in the anterior maxillary region. Clinical and radiographic examination revealed the absence of the right lateral incisor, a congenitally peg-shaped left lateral incisor, and an impacted left canine. As the position of the impacted canine did not interfere with prosthetic planning, extraction was not required. The left lateral incisor was extracted due to root resorption and mobility. The prepared abutment teeth were used to shape the gingival contour through temporary restorations. In the laboratory, the substructure was designed using Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD-CAM) technology, milled from a zirconia block, and sintered. Feldspathic porcelain was layered and fired onto the framework. The final restoration was cemented using polycarboxylate cement. During follow-up appointments, esthetic harmony, functional integrity, and gingival adaptation were found to be clinically satisfactory.

Conclusion: To correct space deficiency and asymmetry in the anterior region, three tooth forms were designed over two right anterior abutments, achieving esthetic harmony with porcelain restorations. The tissue deficiency in the papillary area on the right side was esthetically compensated using pink porcelain, providing a symmetrical appearance with the left side. This

minimally invasive approach reduced tooth structure loss in the abutments and achieved a natural and esthetic rehabilitation in a short period of time.

Keywords: Esthetics Rehabilitation, Peg Lateral, Zirconia

1.GİRİŞ

Anterior bölgede diş eksiklikleri, şekil bozuklukları ve yer darlığı gibi durumlar yalnızca estetik açıdan değil, aynı zamanda fonksiyonel, fonasyonel ve psikososyal açıdan da birey üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir.

Gömülü maksiller kaninler, dentisyonun gelişim sürecinde sıkça karşılaşılan, multifaktöriyel etiyolojiye sahip anomalilerden biridir. Literatürde bu durumun, özellikle lateral kesici diş anomalileri, diş eksiklikleri ve çeşitli ortodontik maloklüzyon tipleriyle yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir.¹ Bu ilişki, bazı olgularda kanin gömülmesinin predispozan bir faktör, bazılarında ise gelişen anomalilerin sonucu olabileceğini göstermektedir.

Broadbent² maksiller kaninin orbita tabanına yakın konumda başlayan uzun ve karmaşık sürme yolunun, palatal yer değişiminin temel nedeni olduğunu belirtmiştir. Brin ve ark.³ ise, dişsel kalabalığın mevcut olduğu olgularda palatal yer değişimi olasılığının azaldığını; dental arkta aşırı boşluk bulunduğu ise bu anomalinin daha sık gözlemlendiğini bildirmiştir. Ayrıca Miller⁴ çalışmasında, palatinal gömülü kaninlerde konjenital lateral kesici diş anomalilerinin yüksek prevalansını ortaya koymuş; lateral kesici kökünün yönlendirici etkisinin bulunmadığı durumlarda kaninlerin mezial ve palatinal yönde ilerleyerek santral kesicilerin posteriorunda gömülü kaldığını vurgulamıştır. Genel popülasyonda tüm lateral kesici dişlerin %93'ü normal morfolojiye sahipken, gömülü kanin bulunan bireylerde bu oran yalnızca %52 olarak bildirilmiştir.⁵

Tedavi süreci, mevcut dişlerin korunmasını ve fonksiyonel dengenin yeniden sağlanmasını amaçlayan kapsamlı restoratif ve endodontik yaklaşımlarla başlatılmaktadır.⁶ Klinik gereksinimlere bağlı olarak prognozu zayıf dişlerin çekimiyle bu hazırlık aşamaları tamamlandıktan sonra, estetik ve fonksiyonel bütünlüğü yeniden oluşturmayı hedefleyen protetik rehabilitasyon uygulamaları gerçekleştirilmektedir.⁷

Anterior bölgedeki diş eksiklikleri ve şekil bozukluklarının giderilmesinde birçok protetik tedavi seçeneği bulunmaktadır. Anterior bölgedeki estetik restorasyonlarda kompozit rezin, feldspatik seramik, lityum disilikat ve metal destekli porselen gibi farklı materyallerin kullanımı yaygındır.⁸ Bu materyallerin her biri; translüsent özellikleri, yüzey parlaklığı, renk uyumu ve mekanik dayanım açısından çeşitli avantaj ve sınırlılıklar sunmaktadır.⁹

Kompozit rezinler, konservatif ve tamir edilebilir yapılarıyla kısa vadeli çözümler sağlarken; lityum disilikat ve feldspatik seramikler, yüksek estetik beklentilerde tercih edilmektedir.¹⁰ Son yıllarda ise monolitik zirkonya materyalleri, yüksek dayanıklılıklarının yanı sıra geliştirilen translüsent formları sayesinde anterior bölgede de estetik açıdan tatmin edici sonuçlar verebilmektedir.¹¹ Zirkonya alt yapılı porselen veneer uygulaması, alternatif seçenekler arasında yüksek dayanım, biyouyumluluk ve estetik üstünlüğü nedeniyle tercih edilir.

Bu olgu sunumunun amacı, sağ lateral diş eksikliği, sol peg lateral ve gömülü kanin bulunan bir hastada, sağ kanin ile sol premolar dişler arasındaki bölgeye zirkonya alt yapılı porselen veneer uygulamasıyla gerçekleştirilen protetik rehabilitasyonu sunmaktır.

2.OLGU SUNUMU

34 yaşında kadın hasta, üst ön bölgede diş eksikliği ve estetik şikâyetiyle kliniğe başvurdu. Yapılan klinik ve radyografik muayenede sağ lateral dişin eksik, sol lateral dişin konjenital olarak peg şeklinde, sol kanin dişin ise gömülü olduğu saptandı. Panoramik filmde ilgili dişler izlenmektedir.(Görsel 2.1.)

Ayrıca, hastanın sağ ve sol alt posterior bölgede mevcut köprü protezlerinden herhangi bir şikâyetinin bulunmadığı, bu bölgelerde yapılan klinik kontrollerde protezlerin fonksiyonel ve estetik olarak stabil durumda olduğu belirlendi.



Görsel 2.1. Hastanın panoramik görüntüsü

Gömülü kanin dişin panoramik radyografideki konumu, planlanan protetik rehabilitasyonun sınırları dışında kaldığından ve fonksiyonel ya da estetik bir olumsuzluk oluşturmadığından, çekimine gerek duyulmadı. Buna karşılık, sol maksiller lateral dişin kök bölgesinde belirgin rezorpsiyon ve ileri derecede mobilite tespit edildi. Bu durum, dişin uzun dönem prognozunu olumsuz etkilediğinden, periodontal stabilitenin sağlanabilmesi ve planlanan protetik tedaviye uygun bir destek alanı oluşturulabilmesi amacıyla çekim endikasyonu konuldu.

Sol maksiller peg lateral dişin çekimi yapıp yumuşak doku iyileşme sürecinin tamamlanmasının ardından ağız içi kontroller gerçekleştirildi ve intraoral fotoğraflar alındı.(Görsel 2.2.) Yeterli doku iyileşmesi sağlandıktan sonra protetik tedavi aşamasına geçildi.



Görsel 2.2. Hastanın intraoral fotoğrafları

Preparasyon işlemi, aksiyal ve servikal bölgelerde kontrollü madde uzaklaştırmak amacıyla orta gren, mum alevi şeklinde elmas frez (yeşil bantlı) kullanılarak başlatıldı. Ardından, yüzey düzgünlüğünü artırmak ve marjinal geçişleri yumuşatmak için sırasıyla ince gren (kırmızı bantlı) ve çok ince gren (sarı bantlı) elmas frezlerle bitirme aşaması tamamlandı. Palatinal bölgede singulum formunun oluşturulması için ise lobut tip elmas frez kullanıldı.

Restorasyon materyali olarak planlanan zirkonya alt yapılı porselen için yeterli materyal kalınlığını sağlamak üzere, insizal bölgede yaklaşık 1,5–2,0 mm, aksiyal yüzeylerde 1,0–1,2 mm derinliğinde bir preparasyon gerçekleştirildi. Servikal bölgede belirgin bir omuz oluşturulmadan, basamaksız (knife-edge) marjinal tasarım tercih edilerek kesim tamamlandı.(Görsel 2.3.)



Görsel 2.3. Diş preparasyonlarının tamamlanması

Kesimi yapılan dişler üzerine uygulanan geçici restorasyonlarla, dişeti konturlarının fizyolojik biçimde şekillendirilmesi ve yumuşak doku uyumunun sağlanması hedeflendi. Bu süreçte mevcut doğal dişlerin korunması önceliklendirildi, aynı zamanda estetik gereksinimlerin karşılanması amacıyla geçici restorasyonların form ve renk uyumuna dikkat edildi.(Görsel 2.4.)



Görsel 2.4. Geçici uygulandıktan sonra intraoral görüntü

Laboratuvar aşamasında restorasyonun alt yapısı, Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim (CAD-CAM) sistemi kullanılarak dijital olarak tasarlandı ve yüksek dayanımlı zirkonya bloktan frezelenip sinterlendi. Üzerine estetik bütünlüğü sağlamak amacıyla feldspatik porselen tabakalanarak fırındı.

Nihai restorasyon, klinik aşamada uygun izolasyon sağlandıktan sonra polikarboksilat siman kullanılarak ilgili dişlere simante edildi.(Görsel 2.5.)



Görsel 2.5. Protetik restorasyon simante edildikten sonraki intraoral görüntüler

Kontrol seanslarında estetik, fonksiyon ve gingival uyumun klinik olarak yeterli düzeyde sağlandığı belirlendi.(Görsel 2.6.)



Görsel 2.6. Kontrol seansında çekilen intraoral fotoğraf

3.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Anterior bölgede diş eksiklikleri, morfolojik anomaliler ve yer darlığı olan vakalarda tedavi planlaması hem fonksiyonel hem de estetik gereksinimlerin dengeli bir biçimde karşılanmasını gerektirir.⁸

Maksiller lateral kesici dişlerde şekil, boyut farklılıkları veya agenezis gibi gelişimsel bozukluklar oldukça sık karşılaşılan anomaliler arasında yer almakta olup, literatürde bu durumun görülme sıklığının %1,6 ile %4,9 arasında değiştiği ve kadınlarda erkeklere kıyasla daha yüksek oranlarda raporlandığı bildirilmektedir.¹² Servikal bölgeye göre kesici kenar düzeyinde belirgin meziodistal daralma ile karakterize olan bu şekil bozukluğu, ön bölgedeki estetik dengeyi bozarak diastemaların oluşumuna ve buna bağlı fonksiyonel ile psikososyal sorunlara neden olabilmektedir.¹³

Peg biçimli lateral kesicilerin tedavisinde farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bu olgularda uygulanabilecek yöntemler arasında ortodontik düzenleme, direkt veya indirekt kompozit restorasyonlar ve kronlar sayılabilir. Ayrıca, ileri derecede şekil anomalisi veya diş eksikliği görülen olgularda ilgili dişin çekilerek implant destekli restorasyonların uygulanması da alternatif bir tedavi seçeneği olarak değerlendirilmektedir.¹⁴

Tedavi planlamasında, biyomekanik denge, oklüzal stabilite ve estetik gereksinimler bir arada değerlendirilerek, mevcut dişlerin periodontal durumu ve destek potansiyeli dikkate alınmalıdır. Bu doğrultuda, yeterli sayıda ve uygun konumda dişin destek olarak seçilmesiyle hem yük dağılımının dengelenmesi hem de çevre dokuların korunmasının amaçlandığı bildirilmektedir.^{6,15} Bu olguda, maksimum fonksiyonel ve estetik sonuç elde etmek için minimal invaziv bir yaklaşım benimsenmiştir. Preparasyon sınırları, yalnızca ön bölgede sınırlı tutulmuş, böylece destek dişlerde gereksiz madde kaybı önlenmiştir.

Anterior bölgede lateral eksikliği bulunan iki dişin bulunduğu boşluğun rehabilitasyonu, biyomekanik açıdan uygun bir köprü tasarımıyla gerçekleştirilmiş; bu bölgede üç diş formu verilerek protetik restorasyonu tamamlanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde, mevcut diş dokusu maksimum düzeyde korunmuş, doğal diş estetiği ve fonksiyonun sürekliliği sağlanmıştır.

Protetik diş hekimliği alanında son yıllarda, metal-seramik restorasyonlardan tam seramik sistemlere doğru bir yaklaşım değişikliği gözlenmektedir. Bu dönüşüm, restorasyonların hem estetik görünümünü hem de biyouyumluluğunu iyileştirme gereksiniminden kaynaklanmaktadır.¹⁶

Zirkonya esaslı materyaller, yüksek mekanik dayanıklılık, biyouyumluluk ve renk stabilitesi gibi üstün özellikleri sayesinde bu değişimin merkezinde yer almaktadır. Ancak zirkonyanın yüksek sertliği, karşıt diş yüzeylerinde aşındırıcı etkilere neden olabileceğinden, yüzeylerin optimum düzeyde cilalanması büyük önem taşımaktadır. Seramik materyaller genel olarak istenen estetik özelliklere sahip olmalarına rağmen kırılma yapılarıyla sınırlılık gösterebilirler. Bu nedenle, zirkonyanın mekanik dayanıklılığı ile seramiklerin estetik özelliklerini bir araya getiren hibrit materyallerin kullanımı düşünülmüştür. Literatürde anterior bölgedeki estetik problemlerin çözümünde, zirkonya alt yapıli porselen restorasyonların sıklıkla tercih edildiği bildirilmektedir.¹⁷

Dental estetik, dişlerin ve çevre yumuşak dokuların oluşturduğu beyaz ve pembe estetiğin uyumuna dayanır. Dişeti dokusunun sağlığı ve görünümü, bu estetik bütünlüğün sağlanmasında belirleyici bir rol oynar. Dişeti estetiğinin temel amacı, restorasyonların çevresinde doğal ve sağlıklı bir yumuşak doku görünümü elde etmektir. Ancak anterior bölgede görülen yer darlığı ve papil bölgesindeki doku eksiklikleri, bu estetik uyumu olumsuz yönde etkileyebilen faktörler arasında yer almaktadır.¹⁸ Bu olguda pembe porselen kullanılarak interdental papil bölgesindeki doku kaybı estetik olarak maskelenmiş ve yüzey simetrisi sağlanmıştır.

Literatürde, bu tür yumuşak doku kayıplarının estetik olarak maskelenmesinde pembe porselen uygulamasının, özellikle implant destekli veya sabit protetik restorasyonlarda, yumuşak doku bütünlüğünü yeniden oluşturmak açısından etkili bir yöntem olduğu bildirilmektedir.^{19,20} Bu olguda, anterior bölgedeki yer darlığı ve asimetriyi gidermek amacıyla sağ iki anterior dişe üç diş formu kazandırılmış ve porselen restorasyonlarla estetik uyum sağlanmıştır. Sağ papil alanındaki doku eksikliği, pembe porselen uygulamasıyla estetik olarak restore edilmiş; böylece sol bölgeyle simetrik bir görünüm elde edilmiştir. Bu yaklaşım, mevcut dişlerin konum ve doku farklılıklarına rağmen anterior bölgede doğal bir estetik bütünlük oluşturulmasına olanak sağlamıştır.

Protetik tedavilerde uygun materyal seçimi, doğru planlama ve dikkatli klinik uygulama, uzun dönemli fonksiyonel ve estetik başarının sürdürülebilmesi açısından belirleyici unsurlardır. Tedavi sonrasında düzenli kontrol seanslarında oklüzal ilişkiler, marjinal adaptasyon ve periodontal dokuların sağlığı dikkatle değerlendirilmelidir. Ayrıca, profesyonel bakım ve yüzey polisaj işlemlerinin düzenli aralıklarla yapılması, restorasyonun biyolojik uyumunu ve estetik bütünlüğünü koruyarak uzun dönem klinik başarısına katkı sağlamaktadır.^{21,22} Bu olguda elde

edilen sonuçlar da, literatürde bildirilen bulgularla uyumlu olarak, uygun materyal seçimi ve planlamanın protetik tedavilerin prognozunda belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

4.GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Anterior bölgedeki yer darlığı ve asimetrinin giderilmesi amacıyla, sağ iki anterior dişe üç diş formu verilmiş ve porselen restorasyonlarla estetik uyum sağlanmıştır. Sağ bölgede papil alanındaki doku eksikliği, pembe porselen uygulamasıyla estetik olarak restore edilmiş ve sol bölgeyle simetrik bir görünüm sağlanmıştır. Bu minimal invaziv yaklaşım sayesinde destek dişlerde madde kaybı azaltılmış, kısa sürede doğal ve estetik bir rehabilitasyon sağlanmıştır.

KAYNAKÇA

- 1.Hitchin, A. D., The Impacted Maxillary Canine, *British Dental Journal*, 100,1, 1956, 1–14.
- 2.Broadbent, B. H., Ontogenic Development of Occlusion, *The Angle Orthodontist*, 11,4, 1941, 223–241.
- 3.Brin, I., Solomon, Y., & Zilberman, Y., Trauma as a Possible Etiologic Factor in Maxillary Canine Impaction, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 104,2, 1993, 132–137.
- 4.Miller, B. H., The Influence of Congenitally Missing Teeth on the Eruption of the Upper Canine, *Dental Practitioner and Dental Record*, 13, 1963, 497–504.
- 5.Oliver, R. G., Mannion, J. E., & Robinson, J. M., Morphology of the Maxillary Lateral Incisor in Cases of Unilateral Impaction of the Maxillary Canine, *British Journal of Orthodontics*, 16,1, 1989, 9–16.
- 6.Petropoulou, A., Pappa, E., & Pelekanos, S., Esthetic Considerations When Replacing Missing Maxillary Incisors with Implants: A Clinical Report, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 109,3, 2013, 140–144.
- 7.Karl, M., Graef, F., Taylor, T. D., & Heckmann, S. M., In Vitro Effect of Load Cycling on Metal-Ceramic Cement- and Screw-Retained Implant Restorations, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 97,3, 2007, 137–140.
- 8.Apte, A., Sathe, S., & Kawade, R., Evaluation of Success Rate of Zirconia-Based Restorations: A Systematic Review, *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 14,9, 2022,e756.
- 9.Fischer, H., Karaca, F., & Marx, R., Detection of Microscopic Cracks in Dental Ceramic Materials by Fluorescent Penetrant Method, *Journal of Biomedical Materials Research*, 61,1, 2002, 153–158.
- 10.Sulaiman, T. A., Abdulmajeed, A. A., Donovan, T. E., Cooper, L. F., & Walter, R., Fracture Rate of Monolithic Zirconia Restorations up to 5 Years: A Dental Laboratory Survey, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 116,3, 2016, 436–439.
- 11.Sun, Z., Wu, L., Zhao, J., & Zheng, Y., Aesthetic Restoration of Anterior Teeth with Different Coloured Substrates Using Digital Monolithic Zirconia Crowns: Two Case Reports, *Advances in Applied Ceramics*, 120,3, 2021, 169–174.
- 12.Ittipuriphat, I., & Leevailoj, C., Anterior Space Management: Interdisciplinary Concepts, *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 25,1, 2013, 16–30.

13. Vastardis, H., The Genetics of Human Tooth Agenesis: New Discoveries for Understanding Dental Anomalies, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 117,6, 2000, 650–656.
14. Omeish, N., Nassif, A., Feghali, S., Vi-Fane, B., & Bosco, J., Esthetic and Functional Rehabilitation of Peg-Shaped Maxillary Lateral Incisors: Practical Recommendations, *Clinical Case Reports*, 10,3, 2022, e05507.
15. Spear, F., Implants or Pontics: Decision Making for Anterior Tooth Replacement, *Journal of the American Dental Association*, 140,9, 2009, 1160–1166.
16. Sailer, I., Philipp, A., Zembic, A., Pjetursson, B. E., Hämmerle, C. H., & Zwahlen, M., A Systematic Review of the Performance of Ceramic and Metal Implant Abutments Supporting Fixed Implant Reconstructions, *Clinical Oral Implants Research*, 20,4, 2009, 4–31.
17. Vijan, K., Emerging Trends and Clinical Recommendations for Zirconia Ceramic Crowns: A Concise Review, *British Dental Journal*, 237,1, 2024, 28–32.
18. Alani, A., Maglad, A., & Nohl, F., The Prosthetic Management of Gingival Aesthetics, *British Dental Journal*, 210,2, 2011, 63–69.
19. Kamalakis, S., et al., Nonsurgical Management of Soft Tissue Deficiencies for Anterior Single Implant-Supported Restorations: A Clinical Report, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 97,1, 2007, 1–5.
20. Zalkind, M., & Hochman, N., Alternative Method of Conservative Esthetic Treatment for Gingival Recession, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 77,6, 1997, 561–563.
21. Tausche, E., & Harzer, W., Treatment of a Patient with Class II Malocclusion, Impacted Maxillary Canine with a Dilacerated Root, and Peg-Shaped Lateral Incisors, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133,5, 2008, 762–770.
22. Soleimani, F., et al., Retention and Clinical Performance of Zirconia Crowns: A Comprehensive Review, *International Journal of Dentistry*, 2020,1, 2020, 8846534.

OLGU SUNUMU: GENEL ANESTEZİ ALTINDA TEDAVİ EDİLEN DENTAL FOBİK HASTADA PERİODONTAL VE PROTETİK REHABİLİTASYON

Arş. Gör. Büşranur DEMİR*

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize
busranur.demir@erdogan.edu.tr- ORCID ID: 0009-0007-2242-8277

Öğr. Gör. Hilal Ok BOSTAN

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize
hilal.ok@erdogan.edu.tr – ORCID ID: 0000-0002-6415-5728

ÖZET

Giriş: Diş hekimi korkusu ve panik atak, dental tedavilerin ertelenmesine veya tamamen reddedilmesine neden olabilen önemli psikolojik engellerdir. Bu tür hastalarda gerekli dental işlemlerin güvenli ve konforlu bir şekilde yapılabilmesi için genel anestezi altında tedavi sıklıkla tercih edilmektedir.

Amaç: Bu olgu sunumunun amacı, dental fobisi ve panik atak öyküsü bulunan bir hastada, genel anestezi altında gerçekleştirilen periodontal ve cerrahi tedavilerin ardından girişimsel işlem gereksinimi olmadan tamamlanan protetik rehabilitasyonu sunmaktır. Protez aşaması, herhangi bir invaziv işlem yapılmaksızın planlanmış, estetik ile fonksiyonel iyileşme sağlanmıştır.

Olgu Sunumu: Dental anksiyetesi ve panik atak öyküsü bulunan kadın hasta, ağrı ve alt anterior dişlerinde mobilite şikâyetiyle kliniğe başvurdu. Klinik ve radyografik incelemede alt anterior dişlerde ileri düzeyde periodontal yıkım tespit edildi. Hastanın kooperasyon güçlüğü ve dental tedavi korkusu nedeniyle işlemler genel anestezi altında gerçekleştirilerek ilgili dişler çekildi. Yumuşak doku iyileşmesinin tamamlanmasını takiben, protetik rehabilitasyonun planlanması amacıyla anatomik ve fonksiyonel ölçüler alındı. Elde edilen modeller üzerinden hastanın fonksiyonel ve estetik gereksinimlerini karşılayacak şekilde hareketli protez tasarlandı ve klinik uyumlamanın ardından hastaya teslim edildi. Takip randevularında, protezin fonksiyonel etkinliği ve estetik bütünlüğünün korunduğu, hastanın tedaviye yönelik subjektif memnuniyet düzeyinin yüksek olduğu gözlemlendi.

Sonuç: Dental fobi ve panik atak öyküsü bulunan hastalarda, dental tedavilerin genel anestezi altında gerçekleştirilmesi; hasta konforunun artırılmasına, anksiyetenin kontrol altına alınmasına ve klinik işlemlerin güvenli bir şekilde tamamlanmasına olanak sağlamıştır. Dental fobisi bulunan benzer olgularda, girişimsel dental işlemlerin genel anestezi altında

gerçekleştirilmesi ve protetik rehabilitasyonun invaziv olmayan tedavi yaklaşımlarıyla sürdürülmesinin, klinik başarı ve hasta uyumunu artırabileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Genel Anestezi, Dental Fobi, Hareketli Protez

CASE REPORT: PERIODONTAL AND PROSTHETIC REHABILITATION IN A DENTALLY PHOBIC PATIENT TREATED UNDER GENERAL ANESTHESIA

ABSTRACT

Introduction: Dental fear and panic attacks are significant psychological barriers that can lead to postponement or complete avoidance of dental treatments. In such patients, general anesthesia is often preferred to ensure that necessary dental procedures can be performed safely and comfortably.

Purpose: The aim of this case report is to present the prosthetic rehabilitation of a patient with a history of dental phobia and panic attacks, following periodontal and surgical treatments performed under general anesthesia. The prosthetic phase was planned without the need for any invasive intervention, achieving both esthetic and functional improvement.

Case Presentation: A female patient with a history of dental anxiety and panic attacks presented to the clinic with complaints of pain and mobility in the mandibular anterior region. Clinical and radiographic examination revealed advanced periodontal destruction in the mandibular anterior teeth. Due to the patient's severe dental fear and lack of cooperation, the necessary procedures were performed under general anesthesia, and the affected teeth were extracted. After soft tissue healing was completed, anatomical and functional impressions were taken to plan the prosthetic rehabilitation. Based on the obtained models, a removable prosthesis was designed to meet the patient's esthetic and functional needs. Following intraoral adjustments, the prosthesis was delivered to the patient. During follow-up visits, it was observed that the prosthesis maintained its functional efficiency and esthetic integrity, and the patient reported a high level of satisfaction with the treatment.

Conclusion: Performing dental treatments under general anesthesia in patients with dental phobia and a history of panic attacks allows for increased patient comfort, effective anxiety control, and the safe completion of clinical procedures. In similar cases, conducting invasive dental procedures under general anesthesia and continuing prosthetic rehabilitation with noninvasive treatment approaches may enhance clinical success and patient compliance.

Keywords: General Anesthesia, Dental Phobia, Removable Prosthesis

1.GİRİŞ

Genel anestezi, hastanın bilincinin geçici olarak ortadan kaldırıldığı ve ağrı duyusunun tamamen engellendiği kontrollü bir bilinçsizlik halidir. Diş hekimi korkusu ve panik atak, dental tedavilerin ertelenmesine veya tamamen reddedilmesine neden olabilen önemli psikolojik engellerdir. Bu tür hastalarda gerekli dental işlemlerin güvenli ve konforlu bir şekilde yapılabilmesi için genel anestezi altında tedavi sıklıkla tercih edilmektedir.¹

Dental işlemler içerisinde özellikle cerrahi girişimlerin, hastalarda daha yüksek düzeyde anksiyeteye neden olduğu bildirilmektedir. Bu durumun kontrol altına alınabilmesi amacıyla, minör ağız cerrahisi uygulamalarında sıklıkla sedasyon ya da genel anestezi yöntemlerinden yararlanılmaktadır.² Genel anestezi altında gömülü diş çekimleri, kistik lezyon eksizyonları, çoklu diş çekimleri, dental implant uygulamaları, periodontal tedaviler ve geniş kapsamlı restoratif tedaviler gibi çeşitli dental işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle hasta konforu artırılarak cerrahi sürecin güvenli ve kontrollü bir şekilde yürütülmesine katkı sağlanmaktadır.³

Dental anksiyete, diş tedavisine yönelik korku, endişe ve olumsuz beklentilerin tetiklediği, çoğu kez açıkça ifade edilemeyen yoğun bir gerginlik durumu olarak tanımlanır. Etiyolojide bireysel mizaç ve baş etme stilleri, önceki travmatik deneyimlere bağlı doğrudan koşullanma, aile/çevreden gözlemsel öğrenme yoluyla gelişen dolaylı koşullanma ile diğer sınıflandırılmayan psikososyal etmenler birlikte rol oynar.⁴ Bu nedenle, klinik yönetim süreci; preoperatif bilgilendirme, kaygı azaltma yöntemleri, kişiye özgü iletişim stratejileri ile sedasyon ve genel anestezi seçeneklerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesini içermelidir. Yapılan çalışmalar, işlem öncesinde hastaların bilgilendirilmesi ve psikolojik olarak hazırlanmasının, operasyon kaynaklı anksiyetenin azaltılmasında belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.⁵

Kısmi dişsizlik durumlarının estetik ve fonksiyonel rehabilitasyonunda, geleneksel sabit protezler, implant destekli sabit parsiyel protezler ve hareketli parsiyel protezler tercih edilmektedir. İmplantlar ve sabit protezler, hareketli protezlere kıyasla çeşitli biyomekanik ve estetik avantajlar sunsa da bazı olgularda hareketli protezler tek uygulanabilir seçenek olabilmektedir.⁶

Yapım sürecinin görece daha basit ve invaziv olmayan yapısı sayesinde hareketli protezler, özellikle dental fobisi bulunan hastalarda konforlu bir tedavi seçeneği sunar. Bu protezler, yumuşak ve sert doku kayıplarına bağlı estetik ve fonksiyonel yetersizliklerin giderilmesinde başarılı sonuçlar sağlar. Tedavi sürecinin kısa olması, tamir ve uyumlandırma işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi, uzun dönem bakım ve revizyonu pratik hale getirir.⁷

Hastanın klinik durumu, sistemik sağlık öyküsü ve psikolojik profiline göre polimetil metakrilat (PMMA) esaslı veya termoplastik poliamid esaslı esnek hareketli protezler tercih edilmektedir. Her iki materyal de minimal invaziv yaklaşımla estetik ve fonksiyonel rehabilitasyonun sağlanmasına olanak tanır.⁸ Sert akrilik materyal rijit yapısıyla oklüzal kuvvetlerin dengeli iletimini desteklerken, esnek poliamid materyaller retansiyon ve konforu artırarak yumuşak dokularla daha uyumlu bir kullanım sunar. Her iki tip protezde kullanılan pembe baz materyali,

dişeti konturlarını taklit ederek yumuşak doku kayıplarını estetik olarak maskelemekte ve doğal bir görünüm elde edilmesine katkı sağlamaktadır.^{9,10} Ayrıca, mevcut anatomik koşulların korunmasını sağlayarak dokular üzerinde minimal travma oluşturur ve gerektiğinde ilerleyen dönemlerde uygulanabilecek sabit veya implant destekli protez tedavilerine geçiş için uygun bir altyapı hazırlar. Bu yaklaşım, komşu doğal dişlerin korunmasına olanak tanır ve destek dişlerde herhangi bir preparasyon gerektirmediğinden madde kaybına neden olmaz.

Bu olgu sunumunun amacı, dental fobisi ve panik atak öyküsü bulunan bir hastada, genel anestezi altında gerçekleştirilen periodontal ve cerrahi tedavilerin ardından girişimsel işlem gereksinimi olmadan tamamlanan protetik rehabilitasyonu sunmaktır. Protez aşaması, herhangi bir invaziv işlem yapılmaksızın planlanmış, estetik ile fonksiyonel iyileşme sağlanmıştır.

2.OLGU SUNUMU

Dental anksiyetesi ve panik atak öyküsü bulunan kadın hasta, alt anterior bölgede ağrı, dişlerde mobilite ve estetik kaygı şikâyetleriyle kliniğe başvurdu. Alınan anamnezde, hastanın uzun süredir dental tedavilerden kaçındığı ve geçmişte yaşadığı olumsuz deneyimlerin kaygı düzeyini artırdığı öğrenildi. Klinik muayenede alt anterior dişlerde ileri düzeyde mobilite, dişeti çekilmesi ve ataşman kaybı gözlemlendi. Radyografik incelemede, ilgili bölgede belirgin alveoler kemik rezorpsiyonu ve periodontal destek kaybı tespit edildi. Panoramik filmde ilgili dişler izlenmektedir.(Görsel 2.1.)



Görsel 2.1. Hastanın panoramik görüntüsü

Genel anestezi altında gerçekleştirilen dental işlemler kapsamında, ileri düzeyde periodontal yıkım ve kötü prognoz nedeniyle 31, 32, 41, 42 ve 16 numaralı dişlerin çekimi yapıldı. Çekim işlemleri atraumatik tekniklerle gerçekleştirildi, alveol soketleri kürete edilerek granülasyon dokusu uzaklaştırıldı ve yara alanlarının primer iyileşmeyi destekleyecek şekilde şekillendirilmesine özen gösterildi.

Çekimlerin ardından mevcut dişlerin fonksiyonel sürekliliğini ve estetik bütünlüğünü korumak amacıyla koruyucu restoratif tedavilere geçildi. 15, 25 ve 26 numaralı dişlerde kavite alanları temizlendi ve kompozit rezin restorasyonlar uygulandı. Periodontal sağlığın desteklenmesi amacıyla detartraj işlemi gerçekleştirildi ve hastaya uygun ağız hijyeni protokolü önerildi. Bu aşamalar sonucunda mevcut dişlerin yapısal bütünlüğü korundu, oklüzal stabilite sağlandı ve ağız içi dokular, planlanan protetik rehabilitasyon için uygun hale getirildi. Tüm tedavi aşamalarının tamamlanmasının ardından, iyileşme sağlandıktan sonra oral dokuların mevcut durumu klinik olarak değerlendirildi ve tedavi öncesi intraoral fotoğraflar alındı.(Görsel 2.2.)



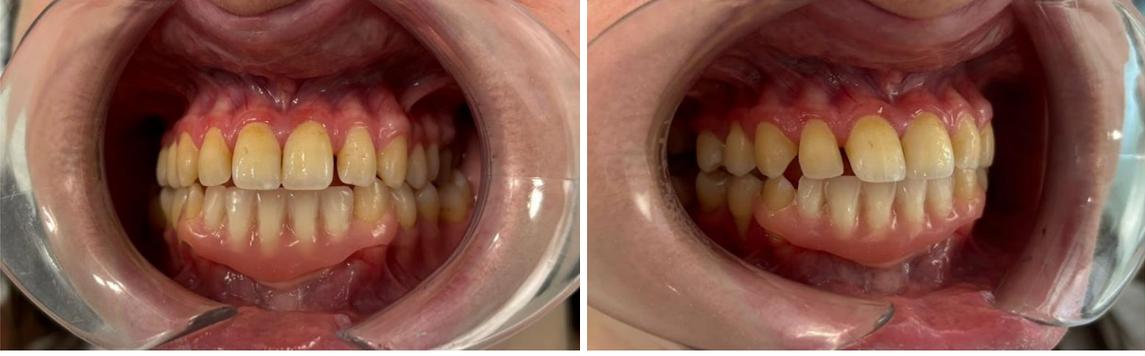
Görsel 2.2. Hastanın tedavi öncesi intraoral fotoğrafları

Protetik rehabilitasyon amacıyla anatomik ve fonksiyonel ölçüler alındı. Elde edilen modeller üzerinde hastanın fonksiyonel ihtiyaçlarını, estetik beklentilerini ve mevcut anatomik koşullarını karşılayacak biçimde hareketli protez tasarımı gerçekleştirildi. Tasarım sürecinde dudak desteği, diş dizilimi, oklüzal düzlem ve diş boyutları dikkate alındı. (Görsel 2.3.)



Görsel 2.3. Hareketli protez

Laboratuvar aşamalarının tamamlanmasını takiben prova seansında estetik ve fonetik değerlendirme yapıldı, gerekli düzeltmeler sonrasında nihai protez cilalanarak hastaya teslim edildi.(Görsel 2.4.) Protez tesliminde oklüzal temaslar, stabilite ve retansiyon kontrol edildi; hastaya kullanım, temizlik ve bakım konusunda bilgi verildi.



Görsel 2.3. Hastanın intraoral bitim fotoğrafları

Takip randevularında, protezin fonksiyonel etkinliğinin ve estetik bütünlüğünün korunduğu, hastanın tedaviye yönelik subjektif memnuniyet düzeyinin yüksek olduğu gözlemlendi. (Görsel 2.5.)



Görsel 2.5. Kontrol seansı intaoral fotoğraf

3.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Dental fobi ve panik atak, diş hekimliği pratiğinde karşılaşılan en yaygın psikolojik engeller arasında yer almaktadır. Yüksek düzeyde dental anksiyete, bireylerin ağız sağlığı durumunu ve genel yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu hastalarda, tedavi edilmemiş çürük ve diş kaybı oranı genellikle daha yüksek, restoratif ve protetik tedavi uygulamaları ise daha sınırlıdır. Ayrıca ağrı, enfeksiyon ve fonksiyonel yetersizlik gibi sorunların görülme sıklığı da artmaktadır.¹¹

Tedavi sürecinin yönetimi, yalnızca klinik beceri değil, aynı zamanda psikolojik duyarlılık da gerektirir. Bu tür bireyler, ağız sağlıklarının yetersiz olduğunu fark etmelerine rağmen, yaşadıkları yoğun kaygı nedeniyle dental tedaviden kaçınma eğilimi göstermektedirler. Literatürde, dental anksiyete ve panik bozukluğun tedaviye katılım oranlarını önemli ölçüde azalttığı ve tedavi gecikmelerine yol açtığı bildirilmektedir.¹² Bu durum, periodontal hastalıkların ilerlemesine, diş kaybına ve yaşam kalitesinde düşüşe neden olabilmektedir.

Muğlalı ve ark.¹³ çalışmalarında kadın hastaların cerrahi işlemlerle ilgili olarak ağrı beklentileri ve kaygı seviyelerinin erkek hastalardan daha yüksek olduğunu ve bunun cinsiyet, önceki diş tedavi tecrübeleri ve kişilik yapılarıyla bağlantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Bu nedenle, dental fobi veya panik bozukluğu bulunan hastalarda, tedavi sürecinin güvenli, kontrollü ve hasta açısından daha konforlu biçimde gerçekleştirilebilmesi için sedasyon ya da genel anestezi uygulamaları yaygın olarak tercih edilmektedir. Literatürde, ayrıca hastaların işlem öncesinde bilgilendirilmesi ve psikolojik olarak desteklenmesinin cerrahi anksiyeteyi azalttığı bildirilmektedir. Kişiye özel bilgilendirme ve etkili iletişim, hastanın tedaviye uyumunu artırmakta ve postoperatif dönemde konforu olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle, her hasta bireysel özellikleri ve psikolojik durumu dikkate alınarak değerlendirilmelidir.¹⁴

Genel anestezi altında gerçekleştirilen işlemlerin tamamlanmasının ardından, yumuşak doku iyileşmesinin sağlanmasıyla birlikte protetik rehabilitasyonun noninvaziv bir yaklaşımla sürdürülmesi, hastalarda travmatik deneyimlerin tekrarlanmasını önlemede önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Girişimsel işlem gerektirmeyen protez uygulamaları hem psikolojik tolere edilebilirlik hem de fonksiyonel başarı açısından olumlu sonuçlar vermektedir.⁶

Hareketli protezler bu uygulamalara örnek oluşturan, diş kaybı yaşayan bireylerde çeşitli durumlara bağlı olarak sıklıkla tercih edilen etkili tedavi yöntemlerindedir. Diş eksikliğinin sayısı, hastanın çene yapısı ve genel ağız sağlığı gibi faktörlere göre bu protezler uygulanabilir. Literatürde, parsiyel dişsizliklerin, mevcut dişlere herhangi bir işlem uygulanmadan hareketli protez sistemleriyle rehabilite edilmesinin, minimal invaziv yaklaşımla kısa sürede fonksiyonel ve estetik sonuçlar sağladığı bildirilmektedir.^{7,9,10}

Hareketli protez materyali olarak PMMA esaslı ve termoplastik poliamid esaslı materyaller kullanılmaktadır. Singh ve ark.⁶ tarafından bildirilen olgularda, estetik kaygıları ön planda olan hastalarda esnek parsiyel protezler başarılı bir tedavi seçeneği olarak değerlendirilmiştir. Termoplastik poliamid esaslı bu protezler, metal kanca gerektirmemeleri ve translüsens yapıları sayesinde özellikle görünür bölgelerde estetik açıdan avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, materyalin elastik özelliği retansiyonu artırırken, yumuşak dokularla daha iyi adaptasyon ve hasta konforu sunmaktadır.

Esnek protezlerin yumuşak doku astarları, akrilik rezinler ve diğer esnek protez taban materyalleri ile yeniden astarlanması güçtür. Ayrıca, bu protezlerin onarımının zor olması ve yüzeylerinin düzgün biçimde cilalanmaması durumunda, yiyecek, çay ve kahve gibi pigment içeren maddelerle kolayca lekelenme eğilimi göstermeleri klinik bir dezavantaj oluşturmaktadır.¹⁵ Bu olguda ise, bu tür sınırlılıkların önüne geçebilmek amacıyla PMMA esaslı protez materyali tercih edilmiştir. PMMA'nın yüksek yüzey dayanıklılığı, kolay tamir edilebilme özelliği ve uzun dönem kullanımda stabil kalabilmesi sayesinde hem fonksiyonel hem de estetik açıdan tatmin edici bir sonuç elde edilmiştir.

Benzer şekilde, Binaljadm¹⁶ tarafından yapılan derleme çalışmasında, poliamid esaslı materyallerin doku uyumu ve hasta konforu yönünden avantajlı olmasına karşın, sertlik, yüzey pürüzlülüğü, retansiyon ve boyutsal stabilite açısından PMMA'ya göre daha düşük performans gösterdiği vurgulanmıştır.

Zamanla çene kemiği ve yumuşak dokularda meydana gelen fizyolojik değişiklikler, protezin dokulara uyumunu olumsuz etkileyerek kullanım süresini kısaltabilmektedir. Bu nedenle, hareketli protezlerin uzun ömürlü ve fonksiyonel biçimde kullanılabilmesi için düzenli bakım ve uygun temizlik protokollerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır.^{17,18}

Literatürde, protezlerin uzun dönem estetik ve fonksiyonel başarısında hasta eğitimi ve düzenli bakımın belirleyici bir rol oynadığı vurgulanmaktadır. Hastaların, protez yüzeyinde plak ve pigment birikimini önlemek amacıyla uygun temizlik protokollerini düzenli olarak uygulamaları ve protezlerini doğal dişlerden ayrı şekilde temizlemeleri önerilmektedir.¹⁹

Esnek parsiyel protezlerin, estetik kaygısı yüksek bireylerde tatmin edici sonuçlar sunduğu bildirilmekle birlikte, yüzey özellikleri nedeniyle lekelenmeye daha yatkın oldukları ve bu durumun düzenli bakım eksikliğinde protezin estetik bütünlüğünü olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir.²⁰ Uzun dönem takiplerde, protezlerin yapısal dayanıklılığının korunduğu; ancak yetersiz hijyen uygulamalarının yüzeyde sarı renklenmelere yol açabileceği gözlemlenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, esnek veya sert materyalli hareketli protezlerin her iki tipinde de uzun dönem estetik başarının korunabilmesi için hasta uyumu, bakım alışkanlıkları ve düzenli kontrol protokollerinin büyük önem taşıdığı sonucuna varılmaktadır.^{21,22}

4.GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Dental fobi ve panik atak öyküsü bulunan hastalarda, dental tedavilerin genel anestezi altında gerçekleştirilmesi; hasta konforunun artırılmasına, anksiyetenin kontrol altına alınmasına ve klinik işlemlerin güvenli bir şekilde tamamlanmasına olanak sağlamıştır.

Dental fobisi bulunan benzer olgularda, girişimsel dental işlemlerin genel anestezi altında gerçekleştirilmesi ve protetik rehabilitasyonun invaziv olmayan tedavi yaklaşımlarıyla sürdürülmesinin, klinik başarı ve hasta uyumunu artırabileceği öngörülmüştür.

KAYNAKÇA

- 1.Kömerik, N., Muğlalı, M. Ağız cerrahisinde anksiyete kontrolü: hastaların, Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 3, 2005, 25–33.
- 2.Stabholz, A., Peretz, B. Dental anxiety among patients prior to different dental treatments, International Dental Journal, 49, 2, 1999, 90–94.
- 3.Messieha, Z. Risks of general anesthesia for the special needs dental patient, Special Care in Dentistry, 29, 1, 2009, 21–25.
- 4.Öcek, Z. A., et al. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'ne başvuran hastalarda dental anksiyete etiyojisinin değerlendirilmesi, EÜ Diş Hek Fak Derg, 22, 121, 2001, 9.
- 5.Okcu, K. M., et al. Evaluation of oral or rectal midazolam as conscious sedation for pediatric patients in oral surgery, Military Medicine, 169, 4, 2004, 270–273.
- 6.Singh, K., et al. Flexible thermoplastic denture base materials for aesthetical removable partial denture framework, Journal of Clinical and Diagnostic Research, 7, 10, 2013, 2372–2376.
- 7.Jain, A. R. Flexible denture for partially edentulous arches–Case reports, International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research, 2, 2015, 182–186.
- 8.Yunus, N., et al. Some flexural properties of a nylon denture base polymer, Journal of Oral Rehabilitation, 32, 1, 2005, 65–71.
- 9.Thakral, G. K., et al. Flexible partial dentures–A hope for the challenged mouth, Peoples Journal of Scientific Research, 5, 2, 2012, 55–58.
- 10.Vikhe, D. M., et al. Flexible denture–A flexible substitute for rigid denture, Journal of Dental Research and Review, 2016, 30–32.
- 11.Corah, N. L. Development of a dental anxiety scale, Journal of Dental Research, 48, 4, 1969, 596–596.
- 12.Köroğlu, A., Durkan, R. Diş hekimliği uygulamalarında karşılaşılan dental anksiyete sendromunun etiyojisinin ve tedavi yöntemlerinin değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 3, 2010, 205–212.
- 13.Muğlalı, M., Kömerik, N. Ağız cerrahisi ve anksiyete, Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 8, 2, 2005, 83–88.
- 14.Ng, S. K. S., Chau, A. W. L., Leung, W. K. The effect of pre-operative information in relieving anxiety in oral surgery patients, Community Dentistry and Oral Epidemiology, 32, 3, 2004, 227–235.

15. Sharma, A. H. S. S., Shashidhara, H. S. A review: flexible removable partial dentures, *Journal of Dental and Medical Sciences*, 13, 12, 2014, 58–62.
16. Binaljadm, T. M. Flexible denture: a literature review, *Cureus*, 16, 3, 2024.
17. Zor, Z. F., Yıldırım Biçer, A. Z., Peker, İ. Hareketli protez kullanan hastaların protez hijyen alışkanlıkları ve bu hastalardaki protez stomatiti görülme sıklığı, *Selçuk Dental Journal*, 7, 1, 2020, 15–21.
18. Schmutzler, A., et al. Cleaning of removable dental prostheses—A systematic review, *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 21, 4, 2021, 101644.
19. Dikbaş, I., Köksal, T., Çalikkocaoglu, S. Investigation of the cleanliness of dentures in a university hospital, *International Journal of Prosthodontics*, 19, 2006, 294–298.
20. Abuzar, M. A., et al. Evaluating surface roughness of a polyamide denture base material in comparison with poly(methyl methacrylate), *Journal of Oral Science*, 52, 4, 2010, 577–581.
21. Durkan, R., et al. Comparative effects of denture cleansers on physical properties of polyamide and polymethyl methacrylate base polymers, *Dental Materials Journal*, 32, 3, 2013, 367–375.
22. Porwal, A., et al. Effect of denture cleansers on color stability, surface roughness, and hardness of different denture base resins, *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 17, 1, 2017, 61–67.

SELENYUM NANOPARTİKÜLLERİNİN PROSTAT KANSERİNE KARŞI ANTİKANSER POTANSİYELİ VE HEDEFE YÖNELİK İLAÇ TEDAVİSİNDEKİ ROLÜ

Selda DURUKAN

Kastamonu Üniversitesi, seldadurukan99@gmail.com, 0009-0001-4682-748X

Doç. Dr. Dilşad ÖZERKAN

Kastamonu Üniversitesi, dokan@kastamonu.edu.tr, 0000-0002-0556-3879

ÖZET

Prostat kanseri, erkeklerde en yaygın malignitelerden biridir ve mevcut tedavi yöntemleri sıklıkla sistemik toksisite gibi sınırlılıklar göstermektedir. Selenyum (Se), redoks dengesi ve antioksidan savunma mekanizmalarında temel rol oynayan bir eser element olup, prostat kanseri dâhil birçok tümör tipinde kemopreventif potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir. *In vitro* çalışmalar, selenyum bileşiklerinin prostat kanseri hücrelerinde hücre proliferasyonunu baskıladığı, apoptoz, otofaji ve ferroptoz gibi hücre ölüm yollarını aktive ettiği ve bu etkilerin genellikle reaktif oksijen türleri (ROS) artışı, mitokondriyal membran potansiyelinin bozulması, p53, Bax/Bcl-2 oranı değişimi ve kaspaz aktivasyonu ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Nrf2, NF-κB ve PI3K/Akt gibi sinyal yollarının düzenlenmesi yoluyla oksidatif stres ve inflamatuvar süreçler üzerinde modülatör etki göstermektedir. Organik selenyum bileşikleri, daha yüksek biyoyararlanım ve daha düşük toksisite profilleri sayesinde inorganik formlara göre daha avantajlı kemopreventif ajanlar olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda geliştirilen selenyum nanopartikülleri (SeNPs) ise, bu etkileri daha kontrollü ve hedeflenebilir şekilde sunarak dikkat çekmektedir. SeNP'lerin prostat kanseri hücrelerinde ROS üretimini artırdığı, apoptotik yanıtı güçlendirdiği, buna karşılık normal hücreler üzerinde daha düşük sitotoksikite sergilediği gösterilmiştir. Bu bulgular, selenyumun özellikle nanopartikül formunun, prostat kanserinin önlenmesi ve tedavisinde umut verici bir aday olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Prostat kanseri, Selenyum nanopartikülleri (SeNP), ilaç direnci, hedefe yönelik tedavi.

1. GİRİŞ

Prostat kanseri, dünya genelinde erkeklerde en sık görülen ikinci malignite olup, Amerika Birleşik Devletleri'nde erkeklerde en yaygın kanser türü olarak görülmektedir (Siegel, 2022). Prostat kanserinin oluşumu ve ilerlemesi, genetik yatkınlıklar ile çevresel etkenlerin ortak etkisi altında şekillenmektedir (Zunigo vd., 2020; Cano-Ibáñez vd., 2020). Birçok erkekte prostat kanserini tespit etmek için prostat spesifik antijen (PSA) testi, dijital rektal muayene (DRE), manyetik rezonans görüntüleme (MRI) veya sağlık taramaları gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Hjelmborg vd., 2014). Prostat kanseri için uygulanan tedavi yöntemleri arasında aktif izlem, kemoterapi, radyoterapi, hormon tedavisi, cerrahi ve kriyoterapi yer almaktadır (Bach vd.,2014).

Güncel çalışmalar, yaşam tarzında yapılan belirgin değişikliklerin, düşük dereceli ve erken evre prostat kanserinin ilerlemesini yavaşlatabileceğini göstermektedir (Jiang vd., 2023). Örneğin, 5-alfa redüktaz inhibitörlerinin kullanımı (Karunakar vd.,2025), fitoöstrojenler (Sohel vd., 2022) ve karotenoidlerin (Konecki vd., 2022) tüketimi hastalığın seyrini etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, çinko, kalsiyum ve selenyum gibi minerallerin tüketimi prostat kanseri riskini değiştirebilen faktörler arasında yer almaktadır (Stanisławska vd., 2022). Prostat kanseriyle ilişkili olarak incelenen çok sayıda besin bileşeni ve mikro besin ögesi arasında selenyum hem koruyucu hem de tedavi edici potansiyeli nedeniyle dikkat çeken bir elementtir (Jiang vd., 2023).

Selenyum nanopartikülleri (SeNP'ler), benzersiz fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri nedeniyle biyomedikal araştırmalarda yoğun ilgi görmektedir. Geleneksel organik ve inorganik selenyum bileşiklerine kıyasla SeNP'ler, düşük toksisite, antikanser ve antimikrobiyal aktiviteler gibi belirgin avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, SeNP'ler tümör mikroçevresinde immün yanıtı modüle ederek, tümörle ilişkili makrofajların aktivitelerini düzenleyebilir ve spesifik T lenfositlerini aktive ederek antitümör bağışıklığı artırabilir (He vd., 2025).

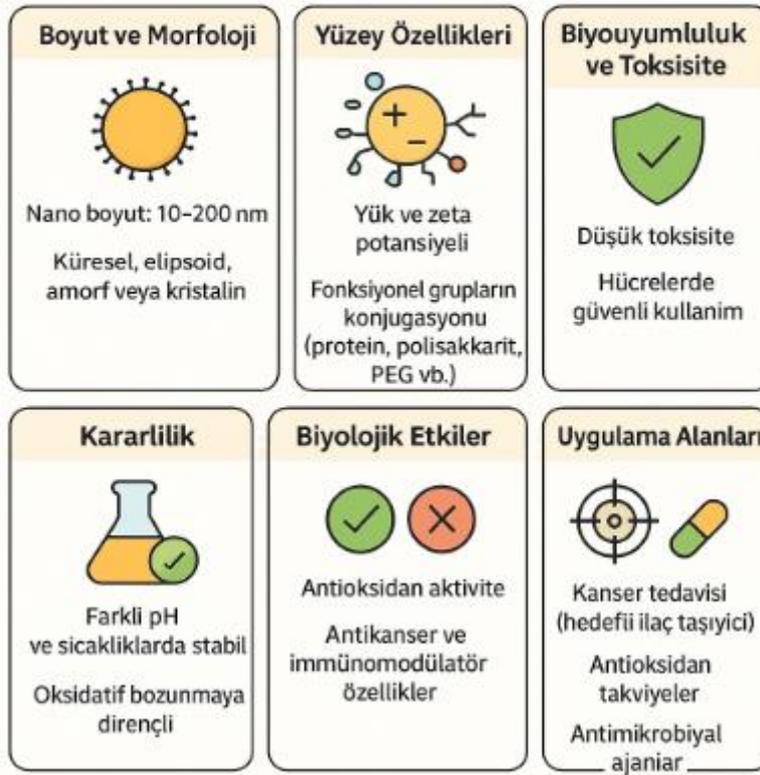
Son yıllarda, insan vücuduna minimum yan etki ile güçlü antikanser etkinlik gösteren nanomalzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar önemli ölçüde artmıştır. Bu çerçevede, selenyum ile zenginleştirilmiş nanopartiküller, potansiyel kanser terapötikleri olarak yoğun biçimde araştırılmaktadır. Bu ilgi, selenyumun yaşam için gerekli bir eser element olması ve selenyum yüklü nanomalzemelerin geliştirilmiş biyoyumluluk göstermesi ile desteklenmektedir. Tüm bu özellikler, selenyum içeren nanopartikülleri hedefe yönelik, etkili ve düşük toksisiteli kanser tedavisi stratejilerinde yenilikçi bir araştırma alanı haline getirmektedir (He vd., 2025).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1.Selenyum Nanopartiküllerinin Genel Özellikleri

Nanotıp, biyolojik sistemlerin tanı, tedavi, izleme ve kontrolü için teknolojileri, yöntemleri, araştırmaları ve klinik uygulamaları kapsayan nanoteknolojinin bir alt dalıdır. Nanotıp kavramı, geleneksel kemoterapi ile ortaya çıkan sorunları azaltmak için mükemmel bir platform olarak ortaya çıkmıştır (Nath vd., 2022). Son kırk yılda, selenyum ve kanser biliminin temel odak noktası, Se'nin kemopreventif özellikleri olmuştur. Bu kapsamda Se takviyesi, antioksidan özellikleri sayesinde oksidatif strese karşı hücrel direnci artırmaktadır (Lubinski vd., 2018). Öte yandan, selenyum içeren bileşikler, son yıllarda yüksek etkinlikleri, seçicilikleri ve yüksek dozlarda ortaya çıkan pro-oksidan etkileri nedeniyle kanser tedavilerinde dikkat çekmiştir. Yüksek yüzey/hacim oranı sayesinde selenyum nanopartikülleri, yüksek ilaç taşıma kapasitesine ve düşük toksisiteye sahiptir. Bu özellikler, SeNP'lerin antitümör etkilerini güçlendirmektedir (Dias vd., 2018). Görsel 1'de bu özellikler özetlenmektedir.

Selenyum Nanopartiküllerinin (SeNP) Genel Özellikleri



Görsel 1. SeNP, nano boyutları, çeşitli morfolojileri ve yüzey modifikasyon özellikleri ile biyomedikal uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. SeNP'ler düşük toksisiteye sahip olup, antioksidan ve antikanser özellikleri sayesinde hedefli ilaç taşıyıcı olarak veya besin takviyesi şeklinde değerlendirilmektedir.

Genel olarak inorganik selenyum bileşikleri, dar bir terapötik aralığa sahip olmalarına rağmen belirgin genotoksikite oluşturabilir ve bu durum sistemik toksisite ile metastaz riskini artırabilir. Buna karşılık, organik selenyum bileşikleri daha yüksek antitümör etkinlik, metastazı baskılayıcı özellik ve daha düşük yan etki profili sergiler. Bu nedenle selenyum nanopartikülleri, özgüllüğü ve etkinliği artırırken toksisiteyi azaltmak amacıyla geliştirilmiştir (Nath vd., 2022).

2.2.Selenyum Nanopartiküllerinin Hedefe Yönelik İlaç Taşınmasındaki Rolü

Selenyumun toksisitesi esas olarak reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumundan veya selenyumun metabolizmasından kaynaklanmaktadır (Wang vd, 2016). Araştırmalar, SeNP'lerin inorganik ve organik formlarına kıyasla sitotoksik olmadan hücre proliferasyonunu durdurabildiğini ortaya koymuştur (Zhang vd., 2008; Wang vd., 2014). Bu nedenle, SeNP'ler daha etkili bir kemopreventif ajan olarak kullanılabilir (Nath vd., 2022).

SeNP tedavisinin avantajı, nanopartiküllerin küçük boyutu ve uygun doz aralığı sayesinde hücre zarından kolayca geçerek hücre içine alınabilmesidir (Zhang vd., 2013). Vekariya ve arkadaşları, meme kanseri hücre hattında yürüttükleri çalışmada günlük 0,4 mg/kg SeNP dozunun kanser hücresi gelişimini engellemek için yeterli olduğunu bildirmiştir (Vekariya vd.,

2012). Ayrıca, SeNP'lerin (HCT-8) hücrelerinin gelişimini 50 μ M üzerindeki konsantrasyonlarda baskıladığı ve bu durumun apoptoz seviyelerinin artışıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir (Gao vd., 2014). Wang ve çalışma arkadaşlarına göre, nanopartiküllerin küçük boyutu, retikuloendotelial sistemden kaçmalarını ve makrofajlar tarafından tutulmalarını engellemektedir. Yaklaşık 12,5 nm boyutundaki nanopartiküller birçok tümör hücre hattında apoptozu indüklerken, daha büyük partiküller kanser hücresi gelişimini baskılayamamaktadır (Wang vd., 2015).

Nanopartiküllerin (NP) hücre içine alınmasından temel olarak endositoz mekanizması sorumludur. Bu süreç, hücre tipine ve nanopartikül boyutuna bağlıdır. NP'ler sulu ortamlarda birleşerek daha büyük yapılara dönüşebilir ve bu durum endositozu engelleyebilir (Li vd., 2011). Belirli bir hedef bölgeye ilaç iletimi, kanser hücrelerini hedefleyen ilaçların SeNP'lerle konjuge edilmesiyle sağlanabilir. Bu konjugatlar, tümör hücre zarındaki reseptörlere bağlanarak antikanser ilacın doğrudan tümör hücrelerine taşınmasını sağlar. Bu sayede nanopartiküllerin tümör dokularında birikimi artarken, normal hücreler üzerindeki toksik etkiler azalmaktadır. Bu durum, SeNP'lerin antitümör ilaçlarla birleştirilmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir (Kumar vd.,2015)

2.3.Selenyum Nanopartiküllerin Prostat Kanseri Hücrelerine Karşı Antikanser Potansiyeli

Selenyum nanopartiküllerinin (SeNP'lerin) kanser hücrelerinde apoptozu teşvik etmesi, genellikle malign tümörlerin baskılanmasındaki önemli bir mekanizma olarak kabul edilmektedir (Tugarova vd., 2018). Selenyumun antitümör etkisi günümüzde iyi şekilde ortaya konmuştur. Çeşitli çalışmalar, SeNP'nin çok sayıda insan kanser hücre hattı üzerindeki sitotoksik etkisinin, hücre içi reaktif oksijen türlerindeki (ROS) artışla ilişkili olduğunu göstermektedir. SeNP'nin etkisini açıklamak için hücre apoptozu, hücre döngüsü durması, DNA hasarı, anjiyogenez inhibisyonu ve mitokondriyal zar parçalanması gibi çeşitli mekanizmalar tanımlanmıştır. Selenyum, tümör hücrelerinde minimum yan etkiyle apoptozu indüklemesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir (Huang vd., 2013).

Kong ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptıkları bir çalışmada, SeNP'lerin prostat kanseri hücreleri üzerindeki antikanser etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Araştırma sonuçları, SeNP'lerin LNCaP hücre hattında hücre proliferasyonunu anlamlı düzeyde inhibe ettiğini ve bu etkinin kısmen kaspaz aracılı apoptoz mekanizması üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca SeNP'lerin, androjen reseptörünün (AR) mRNA ve protein düzeylerindeki ekspresyonunu azaltarak transkripsiyonel aktivitesini baskıladığı bildirilmiştir (Kong vd., 2011). Bu bulgular, SeNP'lerin prostat kanseri hücrelerinde androjen sinyal yolunu bozarak tümör hücre büyümesini baskıladığını ortaya koymaktadır. Araştırmacılar, söz konusu mekanizmanın SeNP'lerin prostat kanseri tedavisinde potansiyel terapötik ajan olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir (Kong vd., 2011).

Liao vd., SeNP'lerin, androjen bağımlılığından bağımsız olarak prostat kanseri hücreleri üzerinde belirgin antikanser etkinlik gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca, SeNP uygulamasının hücre döngüsünde duraksamaya yol açtığı ve prostat kanseri hücrelerinde apoptozu artırdığı

belirlenmiştir (Liao vd., 2020). Sonkusre vd. (2017), 2 µg Se/ml konsantrasyonunda uygulanan selenyum nanopartiküllerinin, PC-3 prostat kanseri hücrelerinde reaktif oksijen türleri (ROS) aracılı nekroptozu indüklediği belirlenmiştir. SeNP uygulaması sonrasında tümör nekroz faktörü (TNF), interferon düzenleyici faktör 1 (IRF1) ve reseptör etkileşimli protein kinaz 1 (RIP1) ekspresyon düzeylerinde artış gözlenmiştir. Ayrıca, nekroptoz inhibitörü Necrostatin-1 varlığında hücre canlılığının yükseldiği rapor edilmiştir. Bu sonuçlar, SeNP'lerin prostat kanseri hücrelerinde ROS aracılı nekroptotik hücre ölümü mekanizmasını aktive ederek antikanser etki gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Güncel bir çalışmada, geç başlangıçlı prostat kanseri tanısı almış 116 Kafkas erkek ve 132 sağlıklı kontrol bireyden Güney Avustralya'da alınan plazma örnekleri incelenmiştir. Sonuçlar, prostat kanseri hastalarında ortalama plazma selenyum düzeylerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede düşük olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, prostat kanseri vakalarında gözlenen anormal selenyum düzeylerini doğrulamaktadır (Dhillon vd., 2022). Ayrıca, aynı çalışmada demir, bakır, kalsiyum ve kükürt gibi diğer elementlerin düzeylerinin prostat kanseri olgularında daha yüksek olduğu saptanmış ve bu durumun iz elementlerin olası sinerjistik antikanser etkisine işaret edebileceği belirtilmiştir (Dhillon vd., 2022). Bu çalışmaların özeti Çizelge 1' de yer almaktadır.

Çizelge 1. SeNP'lerin prostat kanseri üzerine yapılan çalışmalarının özetlenmesi

| Çalışma | Hücre Hattı/Model | Temel Bulgular | Etki Mekanizması |
|-----------------------------|--|--|--|
| Sonkusre ve Cameotra (2017) | PC-3 (androjen bağımsız prostat kanseri) | Biyojenik SeNP'ler, PC-3 hücrelerinde hücre canlılığını azalttı ve nekroptozu indükledi; normal hücrelerde toksisite düşük bulundu. | ROS üretimi ↑, TNF aktivasyonu ve androjen reseptörü ekspresyonu ↓ |
| Sonkusre (2020) | LNCaP-FGC hücreleri | Endotoksin içermeyen selenyum nanopartiküllerinin C3H/HeJ farelerine ağızdan 10 kat daha yüksek dozda (50 mg Se/kg) verilmesine rağmen, L-selenometiyonine (5 mg Se/kg) kıyasla daha düşük toksisite gösterdiği; ayrıca TNF ve IRF1 genlerinin aşırı ifade edilirken AR ve PSA genlerinin azaldığı belirlendi. | TNF ve IRF1 gen ekspresyonunu ↑, AR ve PSA ekspresyonunu baskılayarak tümör hücre proliferasyonunu azaltıcı etki |
| Liao vd. (2020) | LNCaP hücre hattı | SeNP'ler proliferasyonu baskıladı; miR-16 düzeyini artırarak Cyclin D1 ve BCL-2 ekspresyonlarını düşürdü. | Hücre döngüsü durması, apoptoz artışı, miR-16 aracılı gen regülasyonu |
| Liao vd. (2021) | Prostat kanseri hücreleri ve xenograft fare modeli | SeNP'ler hücre göçü ve invazyonu azalttı; miR-155-5p düzeyini artırarak IKK-ε ve SMAD2 genlerini hedefledi. | miR-155-5p/NF-κB aksı üzerinden metastaz baskılanması |
| An ve Zhao (2021) | Metastatik prostat kanseri hücre hattı | Lentinan-kaplı SeNP'ler, zoledronik asit ile birlikte uygulandığında hücre canlılığını azalttı; mitokondriyal yıkım gözlemlendi. | BCL-2 ailesi proteinlerinde değişim, sitokrom c salınımı, apoptoz aktivasyonu |

| Çalışma | Hücre Hattı/Model | Temel Bulgular | Etki Mekanizması |
|----------------|-------------------------------------|---|--|
| Zou vd. (2024) | PC-3 hücreleri + radyoterapi modeli | LET-SeNP'ler, 4 Gy X-ışını ile birlikte uygulandığında radyoterapiye duyarlılığı artırdı, hücre büyümesini baskıladı. | TrxR inhibisyonu, ROS artışı, p53/MAPK/AKT yollarının düzenlenmesi |

Genel olarak, SeNP'ler prostat kanseri tedavisinde oksidatif stres, mikroRNA regülasyonu ve sinerjik tedavi kombinasyonları yoluyla etkili antikanser potansiyel sergilemektedir. Literatürde selenyum nanopartikülleri ile kombine tedavi, özellikle ileri evre prostat kanserine sahip erkek hastalarda kanser tedavisinde dikkat çekici bir yaklaşım olarak görülmektedir (Menbari vd., 2025). Ayrıca yaptıkları *in vitro* çalışmada, flutamid ile selenyum nanopartiküllerinin kombinasyonunun, birden fazla moleküler hedefi eşzamanlı olarak etkileyerek antikanser etkinliği artırabileceği hipotezinden yola çıkılmıştır. Bu kombinasyonun, flutamidin terapötik dozlarını azaltma ve flutamid ile ilişkili karaciğer toksisitesi yan etkilerini hafifletme potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir (Menbari vd., 2025).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Prostat kanseri, erkeklerde en sık rastlanan malignitelerden biri olup hem genetik hem de çevresel faktörlerin etkileşimiyle gelişen bir hastalıktır. Günümüzde uygulanan tedavi yöntemleri çoğu zaman ciddi yan etkiler, tümör mikroçevresine bağlı tedavi yetersizlikleri ile sınırlanmaktadır. Bu nedenle, daha hedefe yönelik, biyouyumlu ve toksisitesi düşük alternatif tedavi yaklaşımlarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu bağlamda, selenyum nanopartikülleri, sahip oldukları yüksek biyouyumluluk, antioksidan kapasite, düşük toksisite ve özgül ilaç taşıma potansiyeli sayesinde umut verici bir terapötik ajan olarak öne çıkmaktadır. Literatürdeki bulgular, SeNP'lerin hem *in vitro* hem de *in vivo* modellerde hücre proliferasyonunu baskıladığı, hücre döngüsünde duraksama oluşturduğu ve kaspaz aracılı apoptozu uyardığını göstermektedir. Ayrıca, androjen reseptör ekspresyonunu ve transkripsiyonel aktivitesini azaltarak prostat kanseri hücrelerinin büyümesini sınırladığı belirlenmiştir. Bu etkiler, SeNP'lerin androjen bağımlı ve bağımsız tümörlerde benzer düzeyde antikanser etkinlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

SeNP'lerin ROS üretimi, DNA hasarı, mitokondriyal membran bütünlüğünün bozulması ve nekroptoz gibi farklı mekanizmalar üzerinden antitümör etkiler oluşturduğu da çeşitli çalışmalarla desteklenmiştir. Bununla birlikte, selenyum düzeylerindeki dengesizliklerin prostat kanseri riskini etkileyebileceği dolayısıyla optimal dozun ve uygulama formunun belirlenmesinin kritik öneme sahip olduğu görülmektedir. Özellikle SeNP'lerin flutamid gibi konvansiyonel antikanser ajanlarla kombinasyonu, tedavi etkinliğini artırırken ilaca bağlı toksisiteyi azaltma potansiyeli açısından dikkat çekicidir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Selenyum nanopartikülleri, prostat kanserinde hedefe yönelik ilaç taşınmasında ve antikanser etkinliğin artırılmasında güçlü bir aday olarak değerlendirilmektedir. Ancak SeNP'lerin klinik uygulamaya aktarılabilmesi için biyoyararlanım, doz optimizasyonu, uzun dönem güvenilirlik ve farmakokinetik profillerine ilişkin ileri düzey prelinik ve klinik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda, SeNP temelli nanoterapötik yaklaşımlar, gelecekte prostat kanseri tedavisinde yenilikçi, etkili ve daha az yan etkiye sahip bir alternatif olarak önemli bir potansiyele sahiptir.

KAYNAKÇA

- An, Y., & Zhao, J. (2021). Functionalized selenium nanotherapeutics synergizes with zoledronic acid to suppress prostate cancer cell growth through induction of mitochondria-mediated apoptosis and cell cycle S phase arrest. *Frontiers in Oncology*, 11, 685784.
- Bach, C., Pisipati, S., Daneshwar, D., Wright, M., Rowe, E., Gillatt, D., Koupparis, A. (2014). The status of surgery in the management of high-risk prostate cancer. *Nature Reviews Urology*, 11(6), 342-351.
- Cano-Ibáñez, N., Barrios-Rodríguez, R., Lozano-Lorca, M., Vázquez-Alonso, F., Arrabal-Martín, M., Triviño-Juárez, J. M., Olmedo-Requena, R. (2020). Dietary diversity and prostate cancer in a Spanish adult population: caplife study. *Nutrients*, 12(6), 1694.
- Dhillon, V. S., Deo, P., & Fenech, M. (2022). Plasma Micronutrient Profile of Prostate Cancer Cases Is Altered Relative to Healthy Controls—Results of a Pilot Study in South Australia. *Cancers*, 15(1), 77.
- Dias, M. F., de Figueiredo, B. C. P., Teixeira-Neto, J., Guerra, M. C. A., Fialho, S. L., & Cunha, A. S. (2018). In vivo evaluation of antitumoral and antiangiogenic effect of imiquimod-loaded polymeric nanoparticles. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 103, 1107-1114.
- Gao, F., Yuan, Q., Gao, L., Cai, P., Zhu, H., Liu, R., Gao, X. (2014). Cytotoxicity and therapeutic effect of irinotecan combined with selenium nanoparticles. *Biomaterials*, 35(31), 8854-8866.
- He, L., Zhang, L., Peng, Y., & He, Z. (2025). Selenium in cancer management: exploring the therapeutic potential. *Frontiers in Oncology*, 14, 1490740.
- Hjelmberg, J. B., Scheike, T., Holst, K., Skytthe, A., Penney, K. L., Graff, R. E., ... & Mucci, L. A. (2014). The heritability of prostate cancer in the Nordic Twin Study of Cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 23(11), 2303-2310.
- Huang, Y., He, L., Liu, W., Fan, C., Zheng, W., Wong, Y. S., & Chen, T. (2013). Selective cellular uptake and induction of apoptosis of cancer-targeted selenium nanoparticles. *Biomaterials*, 34(29), 7106-7116.
- Jiang, J., Chen, B., Tang, B., & Wei, Q. (2023). Selenium in prostate cancer: prevention, progression, and treatment. *Pharmaceuticals*, 16(9), 1250.

Karunakar, K. K., Cheriyan, B. V., Shakti, H., Kataria, K., Yabase, L., Nandhini, J., Kumar, M. (2025). Selenium Nanoparticles in Prostate Cancer: A Dual-Edged Sword of Therapeutic Potential and Toxicity. *Biomedical Materials & Devices*, 1-29.

Konecki, T., Juszczak, A., & Cichocki, M. (2022). Can diet prevent urological cancers? An update on carotenoids as chemopreventive Agents. *Nutrients*, 14(7), 1367.

Kong, L., Yuan, Q., Zhu, H., Li, Y., Guo, Q., Wang, Q., Gao, X. (2011). The suppression of prostate LNCaP cancer cells growth by Selenium nanoparticles through Akt/Mdm2/AR controlled apoptosis. *Biomaterials*, 32(27), 6515-6522.

Kumar, S., Tomar, M. S., & Acharya, A. (2015). Carboxylic group-induced synthesis and characterization of selenium nanoparticles and its anti-tumor potential on Dalton's lymphoma cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 126, 546-552.

Li, Y., Li, X., Wong, Y. S., Chen, T., Zhang, H., Liu, C., & Zheng, W. (2011). The reversal of cisplatin-induced nephrotoxicity by selenium nanoparticles functionalized with 11-mercapto-1-undecanol by inhibition of ROS-mediated apoptosis. *Biomaterials*, 32(34), 9068-9076.

Liao, G., Tang, J., Wang, D., Zuo, H., Zhang, Q., Liu, Y., & Xiong, H. (2020). Selenium nanoparticles (SeNPs) have potent antitumor activity against prostate cancer cells through the upregulation of miR-16. *World Journal of Surgical Oncology*, 18(1), 81.

Liao, G., Ma, H., Li, Y., Sheng, Y., & Chen, C. (2021). Selenium nanoparticles inhibit tumor metastasis in prostate cancer through upregulated miR-155-5p-related pathway. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 85(2), 287-296.

Lubinski, J., Marciniak, W., Muszynska, M., Huzarski, T., Gronwald, J., Cybulski, C., Narod, S. A. (2018). Serum selenium levels predict survival after breast cancer. *Breast cancer research and treatment*, 167(2), 591-598.

Menbari Oskouie, I., Khatami, F., Shiralizadeh Dezfuli, A., Mashhadi, R., Mirzaei, A., Hashemi Dougaheh, S. N., Aghamir, S. M. K. (2025). Reducing the effective dosage of flutamide on prostate cancer cell lines through combination with selenium nanoparticles: An in-vitro study. *PLoS One*, 20(5), e0318483.

Nath, D., Kaur, L., Sohal, H. S., Malhi, D. S., Garg, S., & Thakur, D. (2022). Application of selenium nanoparticles in localized drug targeting for cancer therapy. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents*, 22(15), 2715-2725.

Siegel, R. L., Miller, K. D., Fuchs, H. E., & Jemal, A. (2022). Cancer statistics, 2022. *CA: a cancer journal for clinicians*, 72(1).

Sohel, M., Sultana, H., Sultana, T., Mamun, A. A., Amin, M. N., Hossain, M. A., Dash, R. (2022). Chemotherapeutic activities of dietary phytoestrogens against prostate cancer: from observational to clinical studies. *Current pharmaceutical design*, 28(19), 1561-1580.

Sonkusre, P. (2020). Specificity of biogenic selenium nanoparticles for prostate cancer therapy with reduced risk of toxicity: an in vitro and in vivo study. *Frontiers in oncology*, 9, 1541.

- Sonkusre, P., & Cameotra, S. S. (2017). Biogenic selenium nanoparticles induce ROS-mediated necroptosis in PC-3 cancer cells through TNF activation. *Journal of nanobiotechnology*, *15*(1), 43.
- Stanisławska, I. J., Figat, R., Kiss, A. K., & Bobrowska-Korczak, B. (2022). Essential elements and isoflavonoids in the prevention of prostate cancer. *Nutrients*, *14*(6), 1225.
- Tugarova, A. V., Mamchenkova, P. V., Dyatlova, Y. A., & Kamnev, A. A. (2018). FTIR and Raman spectroscopic studies of selenium nanoparticles synthesised by the bacterium *Azospirillum thiophilum*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *192*, 458-463.
- Vekariya, K. K., Kaur, J., & Tikoo, K. (2012). ER α signaling imparts chemotherapeutic selectivity to selenium nanoparticles in breast cancer. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, *8*(7), 1125-1132.
- Wang, L., Wang, J., Liu, X., Liu, Q., Zhang, G., & Liang, L. (2016). Association between selenium intake and the risk of pancreatic cancer: a meta-analysis of observational studies. *Bioscience Reports*, *36*(5), e00395.
- Wang, X., Sun, K., Tan, Y., Wu, S., & Zhang, J. (2014). Efficacy and safety of selenium nanoparticles administered intraperitoneally for the prevention of growth of cancer cells in the peritoneal cavity. *Free Radical Biology and Medicine*, *72*, 1-10.
- Wang, Y., Chen, P., Zhao, G., Sun, K., Li, D., Wan, X., & Zhang, J. (2015). Inverse relationship between elemental selenium nanoparticle size and inhibition of cancer cell growth in vitro and in vivo. *Food and Chemical Toxicology*, *85*, 71-77.
- Zhang, J., Wang, X., & Xu, T. (2008). Elemental selenium at nano size (Nano-Se) as a potential chemopreventive agent with reduced risk of selenium toxicity: comparison with selenomethylselenocysteine in mice. *Toxicological sciences*, *101*(1), 22-31.
- Zhang, Y., Li, X., Huang, Z., Zheng, W., Fan, C., & Chen, T. (2013). Enhancement of cell permeabilization apoptosis-inducing activity of selenium nanoparticles by ATP surface decoration. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, *9*(1), 74-84.
- Zou, Y., Xu, H., Wu, X., Liu, X., & Zhao, J. (2024). Enhancing radiotherapy sensitivity in prostate cancer with lentinan-functionalized selenium nanoparticles: mechanistic insights and therapeutic potential. *Pharmaceutics*, *16*(9), 1230.
- Zuniga, K. B., Chan, J. M., Ryan, C. J., & Kenfield, S. A. (2020, March). Diet and lifestyle considerations for patients with prostate cancer. In *Urologic oncology: seminars and original investigations* (Vol. 38, No. 3, pp. 105-117). Elsevier.

KUERSETİN İLE ŞARTLANDIRILMIŞ PROSTAT EPİTELYAL HÜCRE ORTAMININ PROSTAT KANSERİ (PC-3) HÜCRELERİ ÜZERİNDEKİ ANTİKANSER ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Selda DURUKAN

Kastamonu Üniversitesi, seldadurukan99@gmail.com, 0009-0001-4682-748X

Doç. Dr. Dilşad ÖZERKAN

Kastamonu Üniversitesi, dokan@kastamonu.edu.tr, 0000-0002-0556-3879

ÖZET

Prostat kanseri, dünya genelinde erkeklerde sık rastlanan ve sağkalım oranları oldukça düşük olan bir malign hastalıktır. Prostat kanserinin oluşturduğu sağlık yükü, tümörün biyolojik özelliklerine bağlı olarak tedavi seçenekleri ve aktif gözetim süreçlerinin getirdiği maliyetlerle birleşerek, prostat kanserini giderek büyüyen bir küresel sağlık sorunu haline getirmektedir. Kuersetin (Que), antikanser aktivitesi nedeniyle dikkat çeken doğal bir flavonoid bileşiktir. İnsanlarda kuersetinin farmakokinetiği ve uygulanmasıyla ilgili klinik denemeler de umut verici sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışmada, prostat epitelyal hücrelerinin sekretomunun kuersetin ile değiştirilerek şartlandırılmış ortam oluşturulması hedeflenmiş ve elde edilen şartlandırılmış ortam ile kuersetinin kemopreventif ve antikanser etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla prostat epitelyal hücrelerine farklı dozlarda (100-50-25-10-5 μ M) kuersetin uygulanmış, hücre canlılığını etkilemeyen konsantrasyonlar seçilmiştir. Ardından tedavi uygulanmamış ve 24 saatlik kuersetin ön uygulamasına tabi tutulmuş prostat epitelyal hücrelerinden (RWPE-1) elde edilen şartlandırılmış ortam (CM), PC-3 prostat kanseri hücre soylarına farklı konsantrasyonlarda uygulanmış ve 48 saatin sonunda hücre canlılığına etkisi MTT testiyle değerlendirilmiştir. Buna göre, uygulanan tüm dozlarda RWPE-1 hücrelerinin anlamlı derecede etkilenmediği tespit edilmiştir. Ayrıca, bu dozlarla elde edilen CM'lerin %50 oranında PC-3 hücre canlılığını özellikle CM1 ve CM2'de sırasıyla %60,2 ve %67,46'ya düşürdüğü belirlenmiştir. Elde edilen veriler, kuersetinin prostat kanserinde yalnızca potansiyel bir kemopreventif ajan değil, aynı zamanda terapötik açıdan değerlendirilebilecek bir farmakolojik aday olabileceğini de ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Kuersetin, Prostat kanseri, Şartlandırılmış ortam, kemopreventif, antikanser, araştırma-geliştirme (AR-GE)

1. GİRİŞ

Prostat kanseri, erkekler arasında ikinci en sık görülen kanser türü olup, dünya çapında kanserden ölümlerde beşinci sırada yer almaktadır (Bray ve ark., 2018). Batıda prostat kanseri insidansı yüz bin kişide 70- 100 kişi iken Türkiye'de her yüz bin kişiden 35'i şeklinde izlenmiş olup, bu yüz bin kişiden sadece biri 40 yaşından önce prostat kanserine yakalanmaktadır (Zorlu ve ark., 2014). Prostat kanseri 40 yaşındaki erkeklerde %5 ile %10 arasında değişirken 70-80 yaşındaki erkeklerde %80'e ulaşmaktadır (Vuichoud ve Loughlin, 2015). Bu bağlamda yaş

prostat kanserinde önemli bir risk faktörü kabul edilebilirken 40 yaş altı erkeklerde teşhisi nadir olup 70 yaş üstü erkeklerde daha sık teşhis edilmektedir.

Kuersetin ($C_{15}H_{10}O_7$, 3,3',4',5,7-pentahidroksi-2-fenil-kromen-4-on), anti-inflamatuar özelliklere sahip olduğu bilinen bitki kökenli özellikle sebze ve meyvelerde çok yüksek miktarda bulunan bir flavonoiddir (Chirumbolo, 2013). Normal koşullar altında, kuersetin bitkilerde hidrofilik glikozitler formunda bulunmaktadır bu da doğrudan ve kolayca emilemeyeceği anlamına gelir. Dahası, bitki matrisi de emilim oranını ve kapsamını etkileyen temel faktördür (Graefe ve ark., 2001). İnsanlarda yapılan *in vivo* çalışmalar, ince bağırsak tarafından emildikten sonra kuersetin glikozitlerinin hidrolize olduğunu ve bunun kuersetin aglikonunun %65-81 kadar yüksek bir emilim oranına yol açtığını ve bakteri-enzim bağımsız olduğunu göstermiştir (Walle ve ark., 2000). Daha sonra kuersetin, ana konjugatlarını oluşturmak için glukuronidasyon, metilasyon veya sülfatlama dahil olmak üzere ilk önce metabolize edilir ve karaciğerde sonlanır. Böbrek, kolon ve kalın bağırsak da kuersetin metabolik sürecine katılır (Bischoff, 2008; Russo ve ark., 2014).

Kuersetinin anti-inflamatuar, antioksidan, proapoptotik, antiproliferatif ve antianjiogenik gibi birçok farklı biyolojik aktiviteye sahip olmasından kaynaklı doğal bir kanser önleyici ajan olarak değerlendirilebilir (Yalçın ve ark., 2017). Dolayısıyla, kuersetin potansiyel anti-kanser ajan olarak umut vadeden bir flavonoiddir. Çalışmalar kuersetinin farklı kanser hücre hatlarında apoptozu aktive ettiğini göstermektedir. Örneğin kuersetinin akciğer kanserinde hücre proliferasyonunu güçlü bir şekilde inhibe ettiği gösterilmektedir (Youn ve ark., 2013). Başka bir çalışmada servikal kanserde NF-kB ekspresyonunun azaltılmasıyla apoptotik hücre popülasyonunu arttırdığı gösterilmektedir. (Priyadarsini ve ark., 2010). Görüldüğü üzere, kuersetin kemopreventif etkileri ve terapötik potansiyeli birçok kanserde araştırılmıştır, ancak kesin mekanizmalar hala tam olarak aydınlatılamamıştır.

Dolayısıyla biz bu çalışmada öncelikle sağlıklı prostat epitel hücreleri RWPE-1'de sitotoksik etki göstermeyen dozları belirleyerek, kuersetinin kemopreventif potansiyelini tespit etmeyi hedefledik. Sonrasında, 24 saat süresince belirlenen dozlarda uygulanan kuersetin ile elde ettiğimiz hücre sekretomunu %50 oranında prostat kanseri PC-3 hücrelerine ekleyerek, bu şartlandırılmış ortamın kanser hücre canlılığı üzerine etkinliğini belirlemeyi amaçladık.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kuersetinin (OUE) hazırlanması

Ana stok çözeltisi hazırlamak amacıyla, DMSO içerisinde çözülerek stok çözelti (10 mM) olarak hazırlanmıştır.

2.2. Hücre Kültürü

Çalışmada kullanılan PC-3 prostat kanser hücreleri Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM), aynı zamanda prostat epitelyal hücre grubu olan RWPE-1 RPMI-1640 besiyeri içine 1:1 oranındaki %10 Fetal sığır serumu (FBS) ve %1 Penisilin-Streptomisin (P/S) solüsyonu eklenmesiyle oluşturulan besiyeri içinde kültüre edilmiştir.

2.3. Şartlandırılmış Ortamın Toplanması

Şartlandırılmış ortam (Conditioned media; CM) bir hücreden salınan sitokin, kemokin ve büyüme faktörü gibi bileşenleri içeren besiyeridir. Bu yöntem ile üç boyutlu ortamın basit şekilde modellenmesi yapılmış olur. Bu bağlamda, RWPE-1 Prostat epitelyal hücrelerinden besiyeri toplanmış ve bu hücrelere ait çeşitli salınan faktörleri içeren CM, PC-3 prostat kanseri hücre hattına uygulanmıştır. Bu amaçla RWPE-1 hücreleri 6 kuyulu kültür plaklarına, her kuyuya 5×10^4 hücre ekilmiştir. CM hazırlık sürecinde iki farklı yol izlenmiştir. Kontrol grubundaki hücrelere herhangi bir ön işlem uygulanmadan, ekimden bir gün sonra hücreler serumsuz besiyerine geçirilmiştir. Kuersetin (QUE) Ön İşlem Grubunda ise, hücrelere ekimden bir gün sonra, daha önce belirlenmiş ve RWPE-1'e sitotoksik olmayan 5 farklı dozda kuersetin (QUE) serumsuz besiyeri içerisinde dilüe edilerek (100-50-25-10-5 μ M) olacak şekilde uygulanmıştır. Bu ön işlem 24 saat sürdürülmüş, ardından hücreler serumsuz besiyerine alınmıştır. Her iki gruptaki hücreler, serumsuz besiyerinde 24 saat inkübe edildikten sonra, hücrelerin bulunduğu besiyerleri toplanmış ve 15 mL'lik falkon tüplerine aktarılmıştır. Besiyerleri 2000 rpm'de 5 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası oluşan çökeltiliye temas etmeden üstte kalan sıvı dikkatlice alınarak yeni falkon tüplerine aktarılmıştır. Bu şekilde ilerideki aşamalarda kullanılacak olan kuersetin ön tedavisi görmüş ve görmemiş prostat epitelyal hücrelerinden CM elde edilmiştir.

2.4. MTT Testi

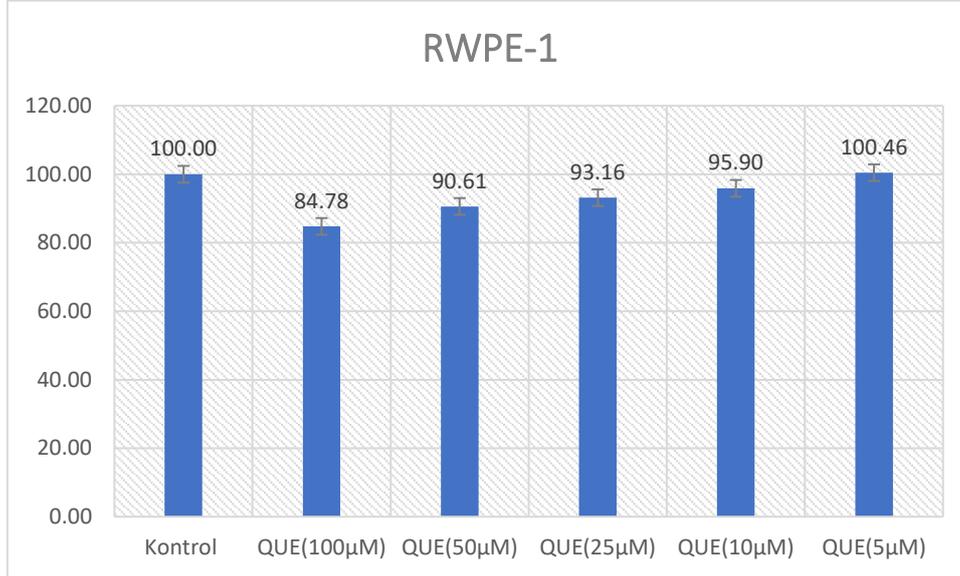
MTT, canlı hücrelerin 3-[4,5-dimetiltiazol-2-il]-2,5 difenil tetrazolyum bromürü formazana indirgeme yeteneğine dayanan kolorimetrik bir tahlildir (Özerkan vd., 2023). MTT analizi için PC-3 hücreleri, 48 saatlik uygulamalar için 96 kuyucuklu pleyte eklenmiştir. Her kuyuya 5×10^3 hücre olacak şekilde 100 μ L kültür ortamı ilave edilmiş ve hücreler bir gece boyunca inkübe edilmiştir. Takip eden gün, hücrelerin üzerlerindeki besiyeri aspire edilmiş ve hücreler 100 μ L 1x PBS ile bir kez yıkanmıştır. Bu aşamadan sonra hücrelere farklı tedaviler uygulanmıştır; Kontrol grubu, ön tedavi görmemiş RWPE-1'den toplanmış CM, %50 oranında total hacim 100 μ L olacak şekilde PC-3 prostat kanser hücrelerine uygulanmıştır. Deney gruplarında ise, 24 saat farklı dozlarda Que ön tedavisi görmüş RWPE-1 hücrelerinden toplanan CM, farklı konsantrasyonlarda total hacim 100 μ L olacak şekilde kanser hücrelerine uygulanmıştır. Takiben kuyulara %2 oranında FBS eklenmiştir. Negatif kontrol olarak sadece besiyeri içerisinde ekilen hücre grubu kullanılırken, kör olarak kullanılan kuyulara yalnızca 100 μ L besiyeri eklenmiştir. Hücreler, 48 saatlik inkübasyon süreleri boyunca kültüre edilmiştir. Belirlenen sürenin sonunda her kuyuya 10 μ L MTT reaktif eklenmiş ve 4 saat boyunca inkübatörde inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresinin tamamlanmasının ardından formazan kristalleri izopropil alkol ile çözündürülmüş ve 570 nm dalga boyunda ELISA okuyucu ile kuyucuklerin absorbansları ölçülmüştür. Kontrol grubunun canlılık oranı %100 olarak alınmış ve farklı tedaviler görmüş grupların canlılığı şu formül yardımı ile belirlenmiştir;

% Canlılık = $[100 \times (\text{Kimyasal Uygulanan Grubun Absorbans Ortalaması} - \text{Kör Absorbans Ortalaması}) / (\text{Kontrol Grubunun Absorbans Ortalaması} - \text{Kör Absorbans Ortalaması})]$

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

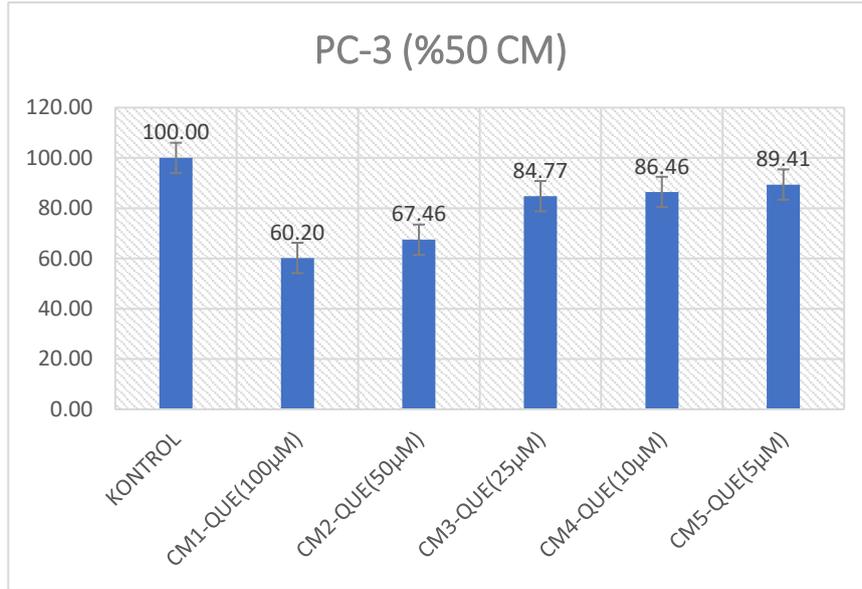
Bu çalışma, QUE kullanımının prostat kanserinin önlenmesi üzerindeki potansiyel etkilerini araştırmayı amaçladı. Buna dayanarak, belirlenen QUE dozları (100-50-25-10-5 μ M)

sağlıklı prostat epitel hücreleri olan RWPE-1'e uygulandı ve 48 saat sonra hücre canlılığı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için MTT testi kullanıldı. Buna göre, hücre canlılığı 100 μ M'lık en yüksek que dozunda bile %84,78'e düşmüştür (Görsel 1). Buna göre tüm dozlar deney grupları için uygun bulunmuş ve CM'lerin hazırlanmasına karar verilmiştir.

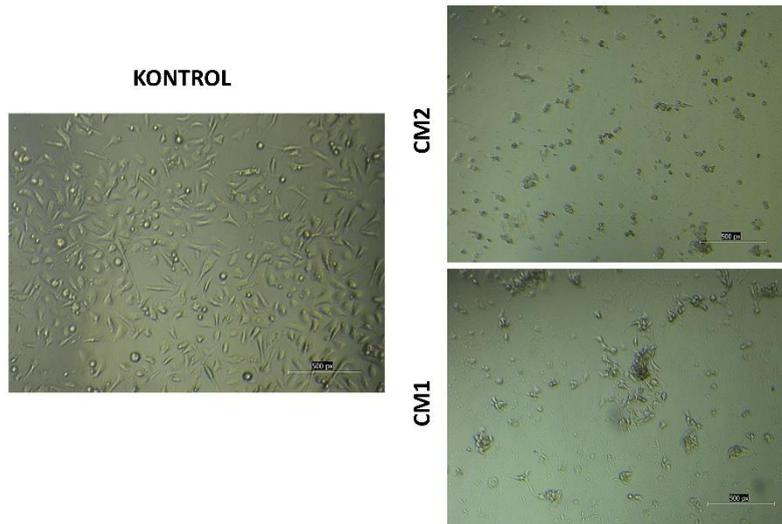


Görsel 1. Çeşitli dozlarda QUE uygulandı ve sağlıklı prostat epitel hücre dizisi RWPE-1 ile 48 saatlik bir inkübasyon periyodunun ardından MTT testi kullanılarak hücre canlılığı değerlendirildi. Farklı QUE dozları ile tedavi edilen RWPE-1 hücreleri kontrol grubu ile karşılaştırıldı.

QUE dozları uygulanan gruplardan CM'ler toplandı ve %50 oranında prostat kanseri hücresi olan PC-3'e uygulandı. 48 saat sonra, PC-3'nin hücre canlılığı üzerindeki etkisini değerlendirmek için MTT yapıldı. Buna göre, hücre canlılığının CM1'de %60,2; daha sonra CM2'de %67,46'ya azaldığı belirlendi (Görsel 2). PC-3 prostat kanseri hücreleri, epitel benzeri (epithelioid) hücre hattıdır, ancak tam klasik epitelyal görünüm göstermez. Çoğunlukla yassı, poligonal veya uzunlamasına iğsi hücrelerdir ve dağınık şekilde yayılmışlardır. Bu onların migrasyon potansiyelini gösterir. CM uygulanan bu gruplarda hücrelerin uzantıları azalmış, hücreler yuvarlak morfoloji almışlardır. Bu da onların ölüme gittiklerini göstermektedir (Görsel 3).



Görsel 2. 48 saat sonunda hücre canlılığını (%) belirlemek için MTT testi kullanıldı. CM1-5, prostat kanseri hücre dizisi PC-3'teki hücre çoğalmasını doza bağlı bir şekilde önemli ölçüde inhibe etti.



Görsel 3. CM uygulanmış ve uygulanmamış PC-3 prostat kanseri hücrelerinin 48 saat sonundaki ışık mikroskobu görüntüleri. (Skala bar=20x).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuersetinin sağlıklı prostat epitel hücrelerinin salgılanmasını etkileyebileceğini ve aynı zamanda prostat kanseri hücrelerinin bu hücreler tarafından üretilen şartlandırılmış ortam yoluyla anti-proliferatif etki gösterdiği saptanmıştır. Üstelik şartlı ortam oluşturmak için kullanılan dozların sağlıklı prostat epitel hücrelerinin canlılığını etkilemediği de belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kuersetinin tümör hücreleri üzerindeki yerleşik antiproliferatif

etkileriyle tutarlıdır ve bu çalışmada kullanılan yenilikçi model sayesinde mikroçevre odaklı etki mekanizmalarına yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Aynı zamanda bu çalışma, kuersetini umut verici bir kemopreventif ajan ve prostat kanseri için potansiyel bir terapötik aday olabileceğini düşündürmektedir.

KAYNAKÇA

Bischoff, S. C. (2008). Quercetin: potentials in the prevention and therapy of disease. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 11(6), 733-740.

Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, Siegel RL, Torre LA, Jemal A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*. 2018;68:394-424.

Chirumbolo, S. (2013). Quercetin in cancer prevention and therapy. *Integrative cancer therapies*, 12(2), 97-102.

Graefe, E. U., Wittig, J., Mueller, S., Riethling, A. K., Uehleke, B., Drewelow, B., ... & Veit, M. (2001). Pharmacokinetics and bioavailability of quercetin glycosides in humans. *The Journal of Clinical Pharmacology*, 41(5), 492-499

Özerkan, D., Kalındemirtaş, F. D., & Tüzemen, N. (2023). HCT116 ve HT29 Kolon Kanseri Hücrelerinde 5-Florourasil Kaynaklı Hücre Ölümünün Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi ile İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(1), 524-535.

Priyadarsini, R. V., Murugan, R. S., Maitreyi, S., Ramalingam, K., Karunagaran, D., & Nagini, S. (2010). The flavonoid quercetin induces cell cycle arrest and mitochondria-mediated apoptosis in human cervical cancer (HeLa) cells through p53 induction and NF-κB inhibition. *European journal of pharmacology*, 649(1-3), 84-91.

Russo, M., Spagnuolo, C., Bilotto, S., Tedesco, I., Maiani, G., & Russo, G. L. (2014). Inhibition of protein kinase CK2 by quercetin enhances CD95-mediated apoptosis in a human thymus-derived T cell line. *Food research international*, 63, 244-251.

Vuichoud, C., & Loughlin, K. R. (2015). Benign prostatic hyperplasia: Epidemiology, economics and evaluation. *Canadian Journal of Urology*, 22(1), 1-6.

Walle, T., Otake, Y., Walle, U. K., & Wilson, F. A. (2000). Quercetin glucosides are completely hydrolyzed in ileostomy patients before absorption. *The Journal of nutrition*, 130(11), 2658-2661.

Yalçın, A. S., Yılmaz, A. M., Altundağ, E. M., & Koçtürk, S. (2017). Kurkumin, kuersetin ve çay kateşinlerinin anti-kanser etkileri. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 21(1), 19-29.

Youn, H., Jeong, J. C., Jeong, Y. S., Kim, E. J., & Um, S. J. (2013). Quercetin potentiates apoptosis by inhibiting nuclear factor-kappaB signaling in H460 lung cancer cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 36(6), 944-951.

Zorlu F, Zorlu R, Divrik RT, Eser S, Yorukoglu K. Prostate cancer incidence in Turkey: an epidemiological study. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2014;15: 9125–9130.

CROSSROADS OF NUTRITION AND MICROBIOTA: THE EMERGING ROLE OF PROBIOTICS AND FLAVONOIDS

Research Assistant Dr. Sümeyye AKBULUT*

Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Science, Ataturk University,
25240, Erzurum, Turkey

sumeyya.arslan@atauni.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6326-5266

Research Assistant Dr. Elanur DAŞDEMİR

Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Science, Ataturk University,
25240, Erzurum,

Turkey

elanur.tuysuz@atauni.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6052-930X

ABSTRACT

The human gut microbiota is central to nutrition and health, regulating the effects of dietary components on metabolic and immune functions. Recently, probiotics and flavonoids have garnered considerable attention as key regulators of intestinal microflora and homeostasis. Defined by the Food and Agriculture Organization (FAO) and the World Health Organization (WHO) as "live microorganisms that confer health benefits when administered in adequate amounts," probiotics play important roles in maintaining microbial balance, strengthening intestinal barrier function, and regulating inflammatory pathways. Flavonoids, plant-derived polyphenols metabolized by probiotic microorganisms within the gut microflora into bioactive compounds that influence microbial diversity and host metabolism, are particularly abundant in fruits and vegetables. A bidirectional and synergistic relationship between probiotics and flavonoids is thought to exist. In this context, probiotics enhance the biotransformation and bioavailability of flavonoids, while flavonoids selectively support the growth of key probiotic microorganism groups such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*. This interaction contributes to antioxidant, anti-inflammatory, and metabolic benefits, particularly in the prevention of chronic diseases such as obesity, diabetes, and cardiovascular disorders. Understanding the synergistic relationship between probiotics and flavonoids offers insightful new perspectives for microbiota-targeted dietary strategies. The combination of probiotics and flavonoids offers a promising path toward personalized dietary programs and a new generation of functional foods designed to regulate gut health.

Keywords: probiotics, flavonoids, gut microbiota, synergy

1. INTRODUCTION

In recent years, the complex relationship between nutrition and the gut microbiota has emerged as a critical determinant of human health and disease (Liu et al. 2022). The gastrointestinal microbiome, often described as the “metabolic organ,” has profound effects on immune modulation, metabolic homeostasis, and even neurobehavioral functions. Among the numerous dietary components that influence this dynamic ecosystem, probiotics and flavonoids have received significant scientific attention due to their complementary and synergistic bioactivities (Kaur et al. 2022). Defined as live microorganisms that confer health benefits on the host when administered in adequate amounts, probiotics play a crucial role in maintaining intestinal integrity and microbial balance (Suvorov et al. 2013). Flavonoids, polyphenolic compounds abundant in fruits, vegetables, and plant foods, exert prebiotic-like effects by regulating microbial diversity and producing bioactive metabolites that influence host physiology. The intersection of these two fields represents a rapidly expanding area of research, highlighting how dietary bioactives and microbial symbionts co-regulate metabolic pathways, inflammatory responses, and gut-brain signaling (Baky et al. 2021). Understanding this complex interplay at the intersection of nutrition and microbiota may open new avenues for designing next-generation functional foods and personalized nutrition strategies aimed at promoting health and preventing disease. In this review, we aim to elucidate the interaction of probiotics and flavonoids at the nutrition-microbiota intersection and identify future research areas (Pan et al. 2023).

2. THE ROLE OF PROBIOTICS ON THE MICROBIOTA AND HOST HEALTH

Probiotics, particularly those composed of *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Pediococcus*, and *Saccharomyces* species, provide benefits to host health when consumed in adequate amounts and affect host physiology in multiple ways by maintaining the ecological balance of the gut microbiota. Probiotics not only alter the composition of the gut microbiota but also involve mechanisms such as immune system modulation, strengthening intestinal barrier function, maintaining metabolic homeostasis, and regulating inflammatory responses (Ouweland et al., 2022). The gut microbiota, in a mutually symbiotic relationship with the host, plays a crucial role in digestion, vitamin synthesis, short-chain fatty acid (SCFA) production, and defense against pathogens. By supporting this system, probiotics help eliminate microbial imbalances called dysbiosis (Almeida et al., 2021). Probiotics directly affect the host immune response, exhibiting regulatory effects on dendritic cells, T helper cells (especially Th17 and Treg), and macrophages. This contributes to the prevention of excessive inflammatory responses and the maintenance of mucosal tolerance (Yan & Polk, 2021). Potential probiotic species, such as *Pediococcus acidilactici* and *P. pentosaceus*, have positive effects on both the immune system and metabolic disorders (obesity, type 2 diabetes) and gastrointestinal diseases (irritable bowel syndrome) (Lee et al., 2024). These effects on the microbiota may also have effects on the nervous system and behavioral health. Within the scope of the “microbiota–gut–brain axis,” some probiotic strains have been reported to alleviate symptoms of stress, anxiety, and depression by modulating neurotransmitter production (GABA, serotonin) (Miller et al., 2023).

3. INTERACTION OF FLAVONOIDS WITH MICROBIOTAS

Flavonoids are polyphenolic compounds of plant origin and are among the most abundant bioactive phytochemicals in the human diet. Flavonoids are natural polyphenolic compounds abundant in plant sources such as fruits, vegetables, tea, and cocoa. These powerful antioxidants are metabolized by the gut microbiota upon ingestion into bioactive metabolites. Flavonoids, which encompass the subclasses of flavones, flavonols, flavanones, isoflavones, anthocyanins, and flavanols, are noted for their antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and neuroprotective properties (Panche et al. 2022). Due to the complexity of their chemical structures, the bioavailability of flavonoids is limited. Consequently, a large portion of ingested flavonoids remains unabsorbed in the small intestine and reaches the colon, where they undergo microbial fermentation (Chen et al. 2021). The gut microbiota has been a central mediator in the biological effects of flavonoids. In this context, intestinal microorganisms biotransform flavonoids, altering their chemical structure, bioavailability, and bioactivity. An example of this is the conversion of flavonoid glycosides to aglycone forms by microbiota-derived β -glucosidase enzymes, which increase their absorption (Morrison & Preston, 2023). *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Eubacterium*, and *Clostridium* species break the cyclic structures of flavonoids to produce phenolic acid derivatives. The produced metabolites enhance antioxidant activity and affect cellular signaling pathways (Kumar et al. 2024). Polyphenols can promote the growth of beneficial bacteria (*Lactobacillus*, *Pediococcus*) while suppressing the growth of pathogenic species (*Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*). The interaction between probiotics and flavonoids supports the production of short-chain fatty acids (acetate, propionate, butyrate), which contribute to both the maintenance of microbial diversity and host health. This interaction is one of the fundamental mechanisms underlying the pharmacological effects of flavonoids. For example, compounds such as quercetin, kaempferol, and epigallocatechin gallate (EGCG) exhibit significant microbiota-mediated effects in suppressing inflammation, regulating lipid metabolism, and reducing oxidative stress (Li et al. 2023). In recent years, studies have demonstrated the potential of flavonoids to rebalance the microbiota, particularly in chronic conditions such as metabolic syndrome, obesity, diabetes, and inflammatory bowel disease (Xu et al. 2024). When flavonoids are administered together with probiotics, they can enhance the colonization capacity and survival rate of probiotics through a synergistic effect, while probiotics can also enhance their biological efficacy by optimizing flavonoid metabolism. This interaction forms the basis of the "postbiotic" and "synbiotic" concepts and is considered a promising strategy for the development of functional foods (He et al. 2025). In the flavonoid-microbiota interaction, which is a mutual metabolic dialogue, flavonoids shape the microbiota, while the microbiota determines the functional effects of flavonoids. A deeper understanding of these complex interactions will enable the development of personalized nutrition and targeted microbiota modulation approaches in the future.

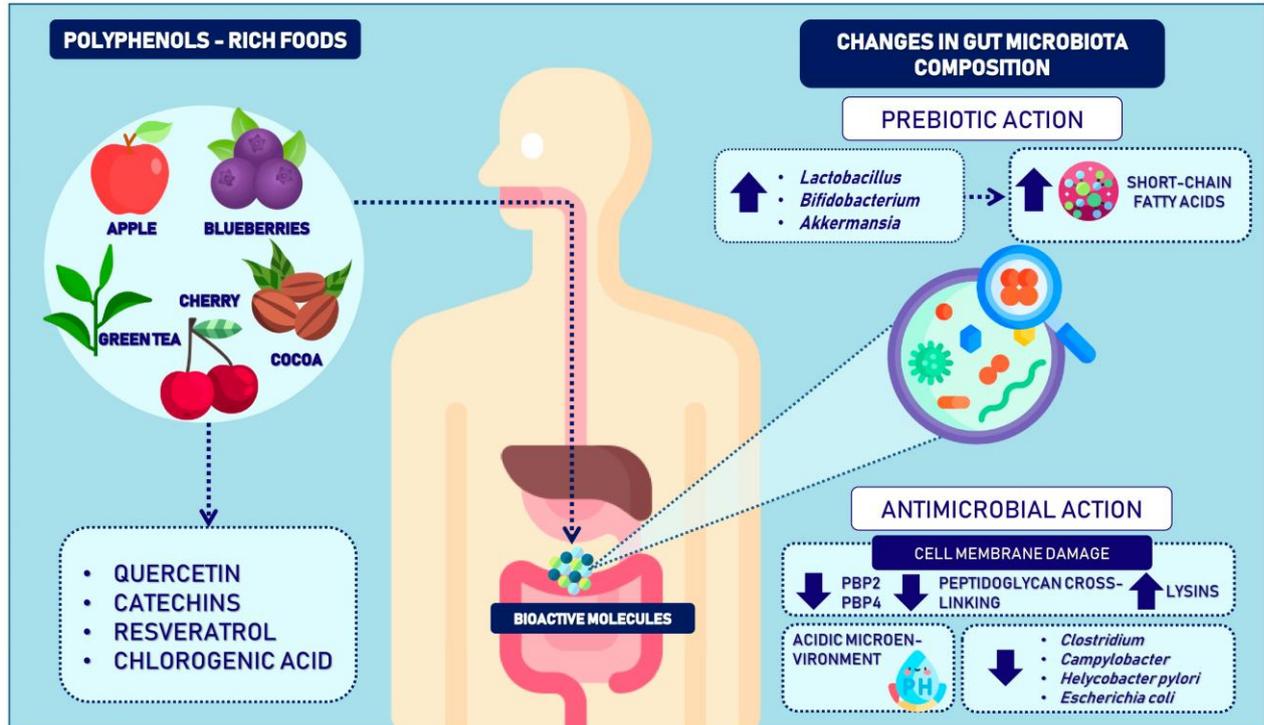


Figure 1. Effect of phenolic compounds on intestinal microbiota (Castillo et al. 2024)

4. PROBIOTIC-FLAVONOID SYNERGY: COMMON INTERACTION MECHANISMS

The symbiotic relationship between probiotics and flavonoids arises from the fact that flavonoids modulate microbial metabolism and probiotic performance, increase active metabolite production by accelerating flavonoid biotransformation, enhance host responses through shared anti-inflammatory and antioxidant effects, and exert positive effects on intestinal barrier function and microbial competitive balance (Park et al. 2025).

- **Acceleration of microbial biotransformation and flavonoid activation**

The bioavailability and pharmacological efficacy of flavonoids, which are ingested in glycoside form and converted into aglycones and smaller phenolic compounds by microorganism enzymes in the intestine, are enhanced by certain probiotic strains (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, and some *Eubacterium* species). Probiotics are responsible for the enzymatic capacity of the transformation pathways that contribute to this process. In this context, the aforementioned synergistic relationship strengthens anti-inflammatory and metabolic effects (Li et al. 2024).

- **Supporting probiotic colonization and survival**

Flavonoids and their derived metabolites enable probiotics to better survive stressful environmental conditions such as stomach acid and bile and to colonize the intestine more effectively. Furthermore, the selective antimicrobial activity of flavonoids against pathogens

increases the competitive advantage of probiotics, thereby supporting the expansion of beneficial microbial populations and the maintenance of ecosystem balance. This mechanism has been reported in both *in vitro* and *in vivo* experimental studies (Wang et al. 2024).

- **Combined antioxidant and anti-inflammatory effects**

Probiotics exhibit immune modulatory effects that support the reduction of inflammation, while flavonoids are also potent antioxidant and anti-inflammatory molecules. Literature data suggests that when flavonoids and probiotics are administered concomitantly with the gut microbiota, oxidative stress is reduced, endotoxin load is reduced, and systemic inflammatory markers are reduced. These effects are highly significant in conditions such as metabolic syndrome, NAFLD (Non-Alcoholic Fatty Liver Disease) / MAFLD (Metabolic Associated Fatty Liver Disease), and cardiometabolic disorders (Kumar et al. 2025).

- **Short-chain fatty acids (SCFA) and metabolite profile modulation**

The synergistic effect of probiotics and flavonoids can alter SCFA (Short-Chain Fatty Acid) production via microbial metabolism. There are important flavonoid metabolites that support SCFA production and stimulate bacterial populations. Increasing levels of acetate/propionate/butyrate, among the important SCFAs, are crucial for epithelial cell nutrition, inflammation suppression, and metabolic regulation. This is one of the key metabolic components of the probiotic-flavonoid synergy (Zheng et al. 2025).

- **Strengthening barrier function and mucosal defenses**

Probiotics and some flavonoids reduce intestinal permeability by promoting tight junction protein expression. However, synergistic combinations potentiate this effect and reduce endotoxemia/LPS-induced systemic inflammation. This synergistic mechanism suggests significant therapeutic potential, particularly in metabolic diseases and inflammatory bowel diseases (Garcia et al. 2025).

CONCLUSION

Literature suggests that the gut microbiota serves as a crossroads connecting metabolism and systemic health. Within this complex network, probiotics and flavonoids act independently but also as two important modulators that exhibit synergistic effects in maintaining microbial balance, improving barrier integrity, and reducing inflammation and oxidative stress. The synergistic effect between these two important modulators is mediated through mechanisms such as microbial biotransformation, short-chain fatty acid (SCFA) production, and tight junction regulation. This synergistic effect highlights the potential for nutritional interventions to impact host physiology rather than the gut. As developments in delivery systems continue, focus should be on strain- and compound-specific mechanisms, personalized synbiotic formulations, and clinically validated applications targeting metabolic and inflammatory disorders such as NAFLD/MAFLD.

In conclusion, understanding the intersection between nutrition and microbiota through the probiotic-flavonoid symbiotic relationship offers a promising path toward next-generation functional foods and precision nutrition strategies designed to support human health.

REFERENCES

- [1] Almeida, D., Rocha, J., & Freitas, M. (2021). Probiotic modulation of gut microbiota and intestinal health: Mechanisms and therapeutic potential. *Nutrients*, 13(11), 3962.
- [2] Baky, M. H., Elshahed, M., Wessjohann, L., & Farag, M. A. (2021). Interactions between dietary flavonoids and the gut microbiome: a comprehensive review. *British Journal of Nutrition*, 128(4), 577-591. <https://doi.org/10.1017/S0007114521003627>.
- [3] Chen, L., Liu, X., & Zhang, T. (2021). Gut microbial metabolism of dietary flavonoids: Implications for human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(10), 1543–1562.
- [4] Curil Castillo, R., González-Alvarado, V., Gutiérrez Guerrero, B., Rojas Sánchez, R., Pacheco Guerrero, M., Donoso Páez, P., Burgos-Figueroa, A., Cerda-Zambrano, A.–K., Díaz-Aguirre, S., Ramírez-González, D., García-Cárdenas, J., Díaz, W., & Cornejo Castillo, M. (2024). Dietary polyphenols and gut microbiota cross-talk: Molecular and therapeutic perspectives for cardiometabolic disease: A narrative review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(16), 9118. <https://doi.org/10.3390/ijms25169118>.
- [5] Garcia, M. L., Chen, F., & Eslam, M. (2025). Flavonoids as modulators of the gut–liver axis: Mechanistic insights and therapeutic perspectives. *Frontiers in Nutrition*, 12, 12571893. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12571893>.
- [6] He, Y., Park, S. H., & Kim, D. H. (2025). Synergistic interactions between flavonoids and probiotics: Emerging strategies in gut health modulation. *Food & Function*, 16(2), 1124–1138.
- [7] Kaur, H., & Ali, S. A. (2022). Probiotics and gut microbiota: mechanistic insights into gut immune homeostasis through TLR pathway regulation. *Food & Function*, 13, 7423-7447. <https://doi.org/10.1039/D2FO00911K>.
- [8] Kumar, A., & Singh, R. (2025). Synergistic mechanisms in reducing oxidative stress and inflammation through probiotic–flavonoid interactions. *Journal of Functional Foods*, 122, 105549. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2025.105549>.
- [9] Kumar, S., Patel, A., & Chauhan, N. (2024). Microbial transformation of flavonoids: Impacts on bioavailability and bioactivity. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1420183.
- [10] Lee, S. H., Kim, E., & Jung, Y. (2024). Functional role of *Pediococcus* species in host metabolism and immune regulation. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1423098.
- [11] Li, J., Chen, Y., & Zhang, H. (2024). Dietary flavonoids and gut microbiota interaction: A focus on bioavailability and metabolic health. *Food Frontiers*, 5(3), 309–322. <https://doi.org/10.1002/fft2.309>.
- [12] Li, R., Zhao, X., & Xu, H. (2023). Microbiota-mediated effects of quercetin and kaempferol on inflammation and metabolism. *Nutrients*, 15(4), 1021.
- [13] Liu, Y., Wang, J., & Wu, C. (2022). Modulation of gut microbiota and immune system by probiotics, pre-biotics, and post-biotics. *Frontiers in Nutrition*, 8, Article 634897. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.634897>.
- [14] Miller, A. H., Raison, C. L., & Foster, J. A. (2023). Gut microbiota–brain axis: Emerging insights from probiotic interventions. *Trends in Neurosciences*, 46(3), 215–228.

- [15] Morrison, D. J., & Preston, T. (2023). Biotransformation of polyphenols by the human gut microbiota: A key to their physiological functions. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 114, 109224.
- [16] Ouwehand, A. C., Salminen, S., & Isolauri, E. (2022). Probiotics: Mechanisms and established effects. *Current Opinion in Gastroenterology*, 38(2), 143–150.
- [17] Pan, Y., Ye, H., Pi, Z., Liu, J., Wang, X., Zhang, L., & Zheng, Y. (2023). Effects of several flavonoids on human gut microbiota and its metabolism by in vitro simulated fermentation. *Frontiers in Microbiology*, Article 1092729. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1092729>.
- [18] Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2022). Flavonoids: An overview of their role in human health. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 99, 108905.
- [19] Park, J., & Song, Y. (2025). Gut-targeted nutraceutical delivery: Engineering co-encapsulated probiotic–flavonoid formulations for enhanced stability and efficacy. *Food & Bioprocess Engineering*, 14(2), 70024. <https://doi.org/10.1002/fbe2.70024>.
- [20] Suvorov, A. (2013). Gut microbiota, probiotics, and human health. *Bioscience of Microbiota, Food and Health*, 32(3), 81-91. <https://doi.org/10.12938/bmfh.32.81>
- [21] Wang, S., Liu, Q., & Zhao, L. (2024). Synbiotic effect of quercetin and probiotic *Lactobacillus* species on gut microbiota modulation and metabolic regulation. *Nutrition & Metabolic Insights*, 17, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.nmei.2024.100064>.
- [22] Xu, J., Ren, X., & Wang, Y. (2024). Dietary flavonoids as modulators of gut microbiota and metabolic health: Recent advances and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 146, 104019.
- [23] Yan, F., & Polk, D. B. (2021). Probiotics and immune health: Mechanistic insights and clinical applications. *Current Opinion in Pharmacology*, 61, 19–26.
- [24] Zheng, M., Hu, W., & Lin, X. (2025). Quercetin boosts gut microbiota-driven production of short-chain fatty acids and modulates metabolic inflammation. *Frontiers in Microbiology*, 16, 12405638. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12405638>.

COMPARISON OF *BUPLEURUM KURDICUM* BOISS AND *BUPLEURUM ZOHARII* SNOGERUP SPECIES IN TERMS OF MORPHOLOGY AND MICROMORPHOLOGY

Assoc. Prof. Dr. Hakkı DEMİRELMA

Selçuk University, demirelma@gmail.com - 0000-0002-1098-1899

ABSTRACT

Using scanning electron microscopy (SEM), this study compares the general morphology and micromorphological features of the fruits of two morphologically similar species from the Apiaceae (Umbelliferae) family's genus *Bupleurum* L.: *Bupleurum kurdicum* Boiss and *Bupleurum zoharii* Snogerup. According to Davis's Grid quadrature system, *B. kurdicum* is distributed in B7 (Elazığ, Diyarbakır), B8 (Muş), C6 (Kahramanmaraş), C7 (Şanlıurfa) and C10 (Hakkari) squares, while *B. zoharii* is distributed in C4/5 (Mersin) and C6 (Adana, Hatay) squares. In phytogeography, the *B. kurdicum* species is a member of the Iran-Turan element, but the endemic *B. zoharii* species is a member of the Mediterranean element. These two species belong to the same group in the diagnostic key for the Apiaceae family's *Bupleurum* genus in the Flora of Turkey. Taxonomically, it might be challenging to discern between these species. Both *B. kurdicum* and *B. zoharii* are annuals with non-zigzag stems, long branches, many umbels, and comparable heights. According to micromorphological observations, *B. kurdicum* fruits are larger, rectangular or semi-elliptical, with longitudinal lines and deep ridges on the surface, but *B. zoharii* fruits are smaller, spherical or elliptical, with more noticeable ribs and a not pitted surface. Therefore, the micromorphological traits of their fruits can be used to differentiate these species from one another. By providing information on both the general morphology (LM) and fruit micromorphology (SEM) of these hard-to-distinguish taxa, this research findings help simplify their identification.

Keywords : Apiceae, *Bupleurum*, micromorphology.

1. INTRODUCTION

The Apiaceae (Umbelliferae) family first attracted the attention of botanists in the 16th century because of its remarkable inflorescence structure. In ancient Rome and China, a wide variety of medicines derived from members of the Apiaceae (Umbelliferae) family were used [14]. The Apiaceae (Umbelliferae) family is one of the cosmopolitan families among angiosperms (flowering plants) with the highest number of genera. The fruit type of the family is a schizocarp [6]. In Turkey, the Apiaceae (Umbelliferae) family is represented by 101 genera and 485 species. Among these, 181 species are endemic, and 7 are monotypic, bringing the total to 511 taxa, with an endemism rate of 37.3 % [5]. Within the Apiaceae family, the genus *Bupleurum* includes 49 taxa, of which 22 are endemic [3]. In the Flora of Turkey, *Bupleurum* ranks second in terms of the number of species [2]. The *Bupleurum* genus has a wide distribution across the

Northern Hemisphere, Eurasia, and North Africa, comprising approximately 200 species. Some species of the genus are used in traditional folk medicine [7].

Members of the Apiaceae (Umbelliferae) family are economically significant worldwide. They are particularly used as vegetables and animal fodder, and some species are cultivated as ornamental plants in landscaping. Due to the alkaloids and resins they contain, they also find applications in medicine and cosmetics. For these reasons, the Apiaceae family includes plant groups of considerable importance [4].

Because *B. kurdicum* and *B. zoharii* are classified within the same group, there are some difficulties in distinguishing these two species morphologically. In this study, both morphological characteristics and micromorphological features observed under SEM are used to differentiate between these two species. Additionally, this study aims to contribute to taxonomic research. Several studies on the fruit surface morphology of species belonging to the genus *Bupleurum* have been conducted [10, 11, 8, 9, 13].

2. MATERIAL AND METHOD

During the field studies conducted to collect specimens of *B. kurdicum* and *B. zoharii*, which are the focus of our research, both plant and fruit samples were gathered from the localities specified in the Flora of Turkey.

Specimens of *B. kurdicum* are distributed in **B7** Elazığ: Between Çapakçur and Palu, 160 km west of Çapakçur, 1320 m, Hub.-Mor. 10897; Diyarbakır: Between Ergani and Diyarbakır, 25 km south of Ergani, 810 m, Hub.-Mor. 10893; Erzincan: Kemaliye-Salihli Çimento Gateway, 1550 m, 04.07.2012, H.Demirelma 3347 & Ertuğrul (KNYA); **B8** Muş: 8 km north of Muş, D. 46119 (E!); **C6** Maraş: Kaya Lake, 38 km from Göksun, north of Maraş, Hub.-Mor. 12005; **C7** Urfa: Siverek, Karaca Mountain, Sint. 1888:1463; Ceylanpınar, gürgür baba location, 450 m, 20.06.2012, H.Demirelma 3342 & O.Tugay (KNYA); 40 km between Ceylanpınar and Urfa, 500 m, 20.06.2012, H.Demirelma 3341 & O.Tugay (KNYA); **C10** Hakkari: 9 km south of the Hakkari Yüksekova road junction, 1550 m, D. 44663 (E!), while specimens of *B. zoharii* are distributed in **C4** İçel: Mut, Between Suçatı village and Evren village, 300 m, 20.07.1977, Mecit Vural 470 (E!); **C5** İçel: Near Mersin, 18 viii 1931, Eig & M. Zohary; Adana: 10 km west of Ceyhan, 30 m, Hub.-Mor. 15248; 8 km between Silifke and Mut, 160 m, 13.08.2010, H.Demirelma 3298 & O.Tugay (KNYA); 3 km between Mut and Karaman, 215 m, 13.08.2010, H.Demirelma 3299 & O.Tugay (KNYA); **C6** Adana: Near Hasanbeyli, 914-1219 m, Darrah 639 (E!); Hatay: South of Payas, 10 viii 1931, Eig & M. Zohary (Visual 2, 5).

After recording information about the plant specimens collected from their natural habitats, they were dried and prepared as herbarium materials, and subsequently deposited in the Herbarium of the Department of Biology, Faculty of Science, Selçuk University (KNYA Herbarium). The identification of the plant specimens was carried out using the reference work “Flora of Turkey and the East Aegean Islands” [2].

In addition, mature fruits were collected during field studies and placed in seed paper envelopes for use in SEM analyses. Double-sided adhesive tape was used to mount the fruits onto stubs. To observe the surface details of the fruits with a ZEISS LS-10 scanning electron microscope, the fruit surfaces were coated with gold. SEM photographs of the taxa were taken at 300x

magnification to show the general appearance of the fruits and at 3.00kx magnification to reveal their microscopic structural characteristics.

3. FINDINGS

***Bupleurum kurdicum* Boiss.**

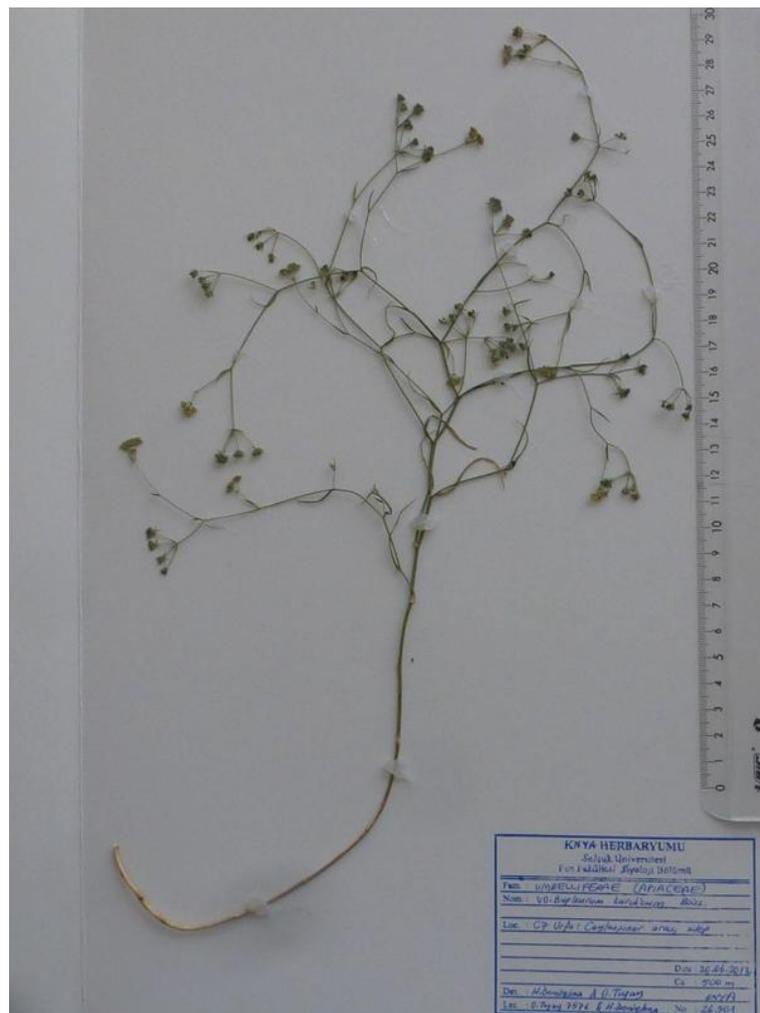
3.1. Morphology

Annual herb, 50–80 cm tall. Branches long and bearing numerous umbels; not zigzag-shaped. Leaves 2–8 cm long, 1.5–4 mm wide. Rays 5–10, unequal in length, 5–30 mm. Bracts 5, unequal, 4–14 mm, narrowly ovate. Bracteoles 5, bract-like, 2–6 mm. Umbellules with 8–12 flowers. Petals yellow, 0.5–0.8 mm, inner lobes broad and slightly bifid. Anthers 0.4–0.45 mm. Stylopodium 0.8–1.1 mm wide; styles 0.5–0.8 mm long. Fruit 2.5–3 mm, dull bluish-green, with filiform projections.

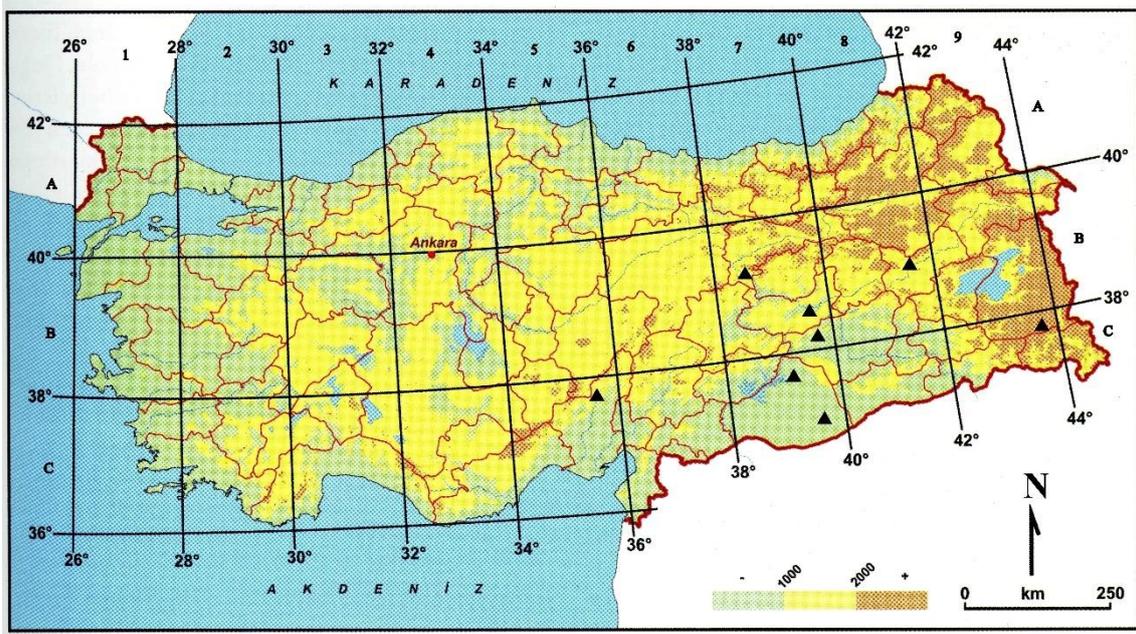
Flowering period: June–August.

Altitude: 500–1550 m.

Habitat: Forested areas, fields, and slopes (Visual 1).



Visual 1. General view of *Bupleurum kurdicum* Boiss.

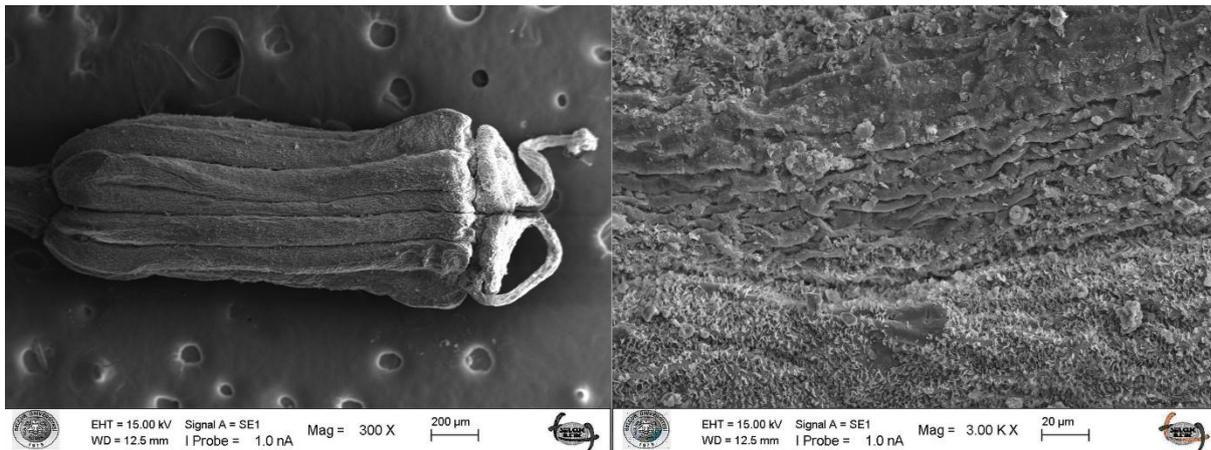


Visual 2. *Bupleurum kurdicum* (▲) distribution map.

3.2. Micromorphology

The fruit is rectangular or semi-elliptical in shape, with slightly tapering ends. The fruit surface displays five distinct longitudinal ribs that are smooth, parallel, and relatively prominent along the entire length of the fruit. The furrowed areas between the ribs are dark, slightly concave, and narrow. The ribs are wingless, and the surface is generally smooth.

In the furrows between the rib tops, there are dense wrinkles and fine linear depressions. The epicuticular layer on the fruit surface is heterogeneous. The wax layer is thicker on the ridges and becomes sparser toward the furrows. There is no granular or papillary structure present; therefore, the surface type is not granulate–papillate (Visual 3).



Visual 3. Scanning electron microscope image of *Bupleurum kurdicum*

Bupleurum zoharii Snogerup

3.3. Morphology

Annual herb, 15–80 cm tall. Branches long and bearing numerous umbels, not zigzag. Leaves 3–15 cm long and 1.5–4 mm wide. Rays 5–10, nearly equal in length. Bracts 5, 2.3–3.5 mm long, narrowly ovate, shorter than the rays. Bracteoles 5, 2–3.5 mm long, similar to the bracts. Umbellules with 8–12 flowers. Petals yellow, 0.5 mm long. Anthers 0.3–0.4 mm long. Stylopodium 0.4–0.75 mm wide; style 0.3–0.5 mm long. Fruit 1.6–2 mm long, with filiform projections.

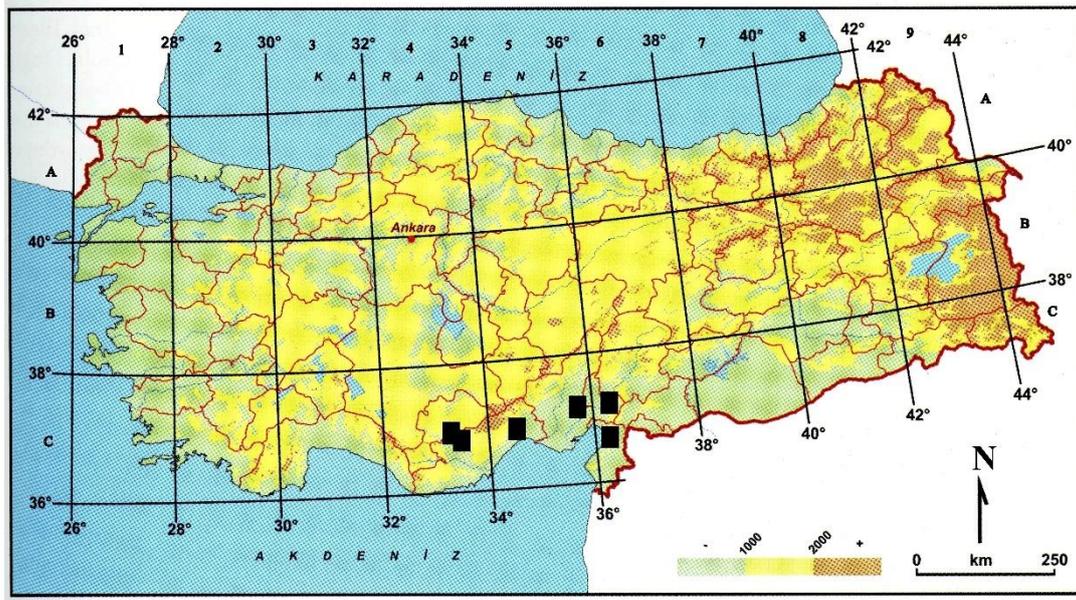
Flowering period: June–August.

Altitude: 30–1200 m.

Habitat: Maquis, fields, and roadsides (Visual. 4).



Visual 4. General view of *Bupleurum zoharii* Boiss.

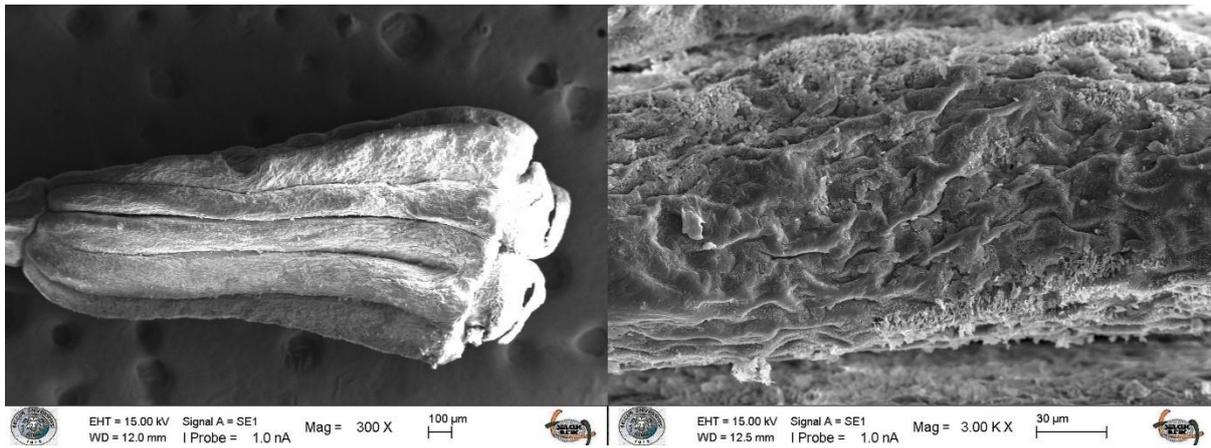


Visual 5. *Bupleurum zoharii* (■) distribution map

3.4. Micromorphology

The fruit shape is narrowly ellipsoid–cylindrical, with slightly tapering ends. The surface bears five prominent ribs that are parallel, distinct, and continuous along the fruit axis. The grooves between the ribs are narrow and distinctly depressed. The ribs are wingless or weakly developed.

The rib tops are distinct, raised, and appear smooth and glossy. The intercostal grooves are covered with very fine wrinkles, but these are not parallel to each other. Epicuticular wax crystalloids are present on the fruit surface, showing a platelet-type wax structure. There are no papillae or papillary structures, indicating that the surface is smooth (Visual 6).



Visual 6. *Bupleurum zoharii*'nin taramalı elektron mikroskop görüntüsü

Table 1. The comparison of *B. kurdicum* and *B. zoharii* species in terms of morphological and fruit micromorphological characteristics

| Species Characters | <i>Bupleurum kurdicum</i> | <i>Bupleurum zoharii</i> |
|---|--|------------------------------------|
| Lifespan | Annual | Annual |
| Length | 50-80 cm | 15-80 cm |
| Zigzag situation | Absent | Absent |
| Leaf length | 2-8 cm | 3-15 cm |
| Ray number | 5-10 | 5-10 |
| Position of the rays relative to each other | Not of equal length | Almost equal in length |
| Bract number | 5 | 5 |
| Bract length | 4-14 mm | 2.3-3.5 mm |
| Bract shape | Narrow ovate | Narrow ovate |
| Bracteole number | 5 | 5 |
| Bracteole length | 2-6 mm | 2-3.5 mm |
| Umbellules number | 8-12 flowers | 8-12 flowers |
| Stylopodium length | 0.8-1.1 mm | 0.4-0.75 mm |
| Fruit length | 2.5-3 mm | 1.6-2 mm |
| Fruit shape | rectangular, semi-elliptical | Narrow cylindrical-ellipsoid |
| Rib number | 5 | 5 |
| Rib shape | Straight, parallel and relatively distinct | Parallel, distinct, and continuous |
| Presence of wing | Absent | Absent or weak |
| Fruit surface | Smooth | Smooth |

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

This study focuses on determining both the morphological and fruit micromorphological characteristics of *B. kurdicum* and *B. zoharii*, two species belonging to the genus *Bupleurum* within the family Apiaceae (Umbelliferae), which holds significant importance in terms of the number of taxa and endemic species. These two species are known to present certain difficulties in morphological differentiation.

In the Apiaceae (Umbelliferae) family, the morphology and anatomy of the fruit are of great importance in the classification of genera and the groups within them [1]. The fruit ornamentation and anatomy exhibit considerable variation among closely related taxa within the genus *Bupleurum* compared to other groups in the family [12].

As a result of our study and examinations, it has been observed that there are certain notable morphological and micromorphological differences and similarities between *B. kurdicum* and *B. zoharii* (Table 1). Both plant species share several morphological similarities, such as being annual, reaching up to 80 cm in height, having numerous umbel-shaped branches, possessing 5–10 rays, having yellow petals, bearing small umbels with 8–12 flowers, having 5 bracts and 5 bracteoles, and stems that are not zigzag-shaped.

B. kurdicum and *B. zoharii* differ in some morphological characteristics, such as the unequal length of the rays, the width of the stylopodium, the length of the styles, and the length of the fruits.

From a micromorphological perspective, the species show similarities in having five ribs on the fruit surface and lacking papillae and tuberculate projections. However, some differences are observed in general fruit shape, the presence or absence of wings (being wingless or weakly winged) on the ribs, and whether a distinct depression is present on the ribs.

For an accurate identification of *Bupleurum* species, it is essential that especially the basal leaves and fruit characters are fully mature.

Acknowledgements

I would like to thank Prof. Dr. Kuddisi Ertuğrul and Prof. Dr. Osman Tugay for their contributions to the fieldwork, and S.Ü. BAP for their financial support of the research project number 10401034, titled "A Taxonomic Study on the Genus *Bupleurum* L. (Apiaceae) in Turkey."

KAYNAKÇA

- [1] Akalın Uruşak, E., Kızıllarslan, Ç. (2013). "Fruit Anatomy of Some *Ferulago* (Apiaceae) Species In Turkey," Turkish Journal of Botany, 37 (3), 434-445.
- [2] Davis, P.H. Flora of Turkey and the East Aegean Island, Vol. 4, Edinburgh University Press., London, 265-398, 1972.
- [3] Demirelma, H. *Bupleurum*. Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T. ed. 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul, 2012.
- [4] Doğan Güner, E., Türkiye'deki *Seseli* L. (*Umbelliferae*) cinsinin revizyonu, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [5] Kırıcı, S., Bayram, E., İnan, M., Kaya, D.A., Özel, A. *Türkiye'de Apiaceae Türlerinin Geleneksel Tarımı: Pimpinella anisum* L., *Foeniculum vulgare* Mill., *Cuminum cyminum* L.. In: Máthé, Á., Turgut, K. (eds) Türkiye'nin Tıbbi ve Aromatik Bitkileri. Dünyanın Tıbbi ve Aromatik Bitkileri, cilt 10. Springer, Cham, 2023.
- [6] Kızıllarslan Haçer, Ç., Akalın Uruşak, E. (2017). Apiaceae Familyası Meyve Anatomisindeki "Vitta" Terimi ve Yerleşimleri, Avrasya Terim Dergisi, 5 (2): 19-24.
- [7] Lin M, Zhang W, Su J. (2016). Toxic polyacetylenes in the genus *Bupleurum* (Apiaceae) - Distribution, toxicity, molecular mechanism and analysis. Journal of Ethnopharmacology, 193:566-573.
- [8] Ostroumova, T.A. and Kljuykov, E.V. (2015). Fruit structure and microsculpture in the annual species of the genus *Bupleurum*, section *Perfoliata* (Umbelliferae) Phytologia Balcanica, 21 (2): 117 – 127.
- [9] Ostroumova, T.A. (2018). Fruit micromorphology in the Umbelliferae of the Russian Far East Botanica Pacifica. A journal of plant science and conservation, 7(1): 41–49.
- [10] Özcan, T. (2002). SEM observations on petals and fruits of some Turkish endemic *Bupleurum* L. (Umbelliferae) species The Linnean Society of London, Botanical Journal of the Linnean Society, 138, 441–449.

- [11] Özcan, T. (2004). Analysis of the fruit surfaces in *Bupleurum* L. (Umbelliferae) with SEM. *Plant Systematics and Evolution*, 247, 61–74.
- [12] Snogerup, S. ve Snogerup, B. (2001). *Bupleurum* L. (Umbelliferae) in Europe– 1. The annuals, B. sect. *Bupleurum* and sect. *Aristata*. *Willdenowia*, 31–205.
- [13] Sun J, Cao S, Duan Z, Zhang Y, Tang Z, Abozeid A. (2022). Taxonomic implications of fruit morphology in chinese species of the genus *Bupleurum* L. (Apiaceae). *Pharmacognosy Magazine* [Internet]. 18(80):985-993.
- [14] Yılmaz, G., Kaya, A., Koyuncu, M. (2016). Türkiye’de Yetişen *Heptaptera* Marg. & Reuter (Apiaceae) Türlerinin Meyve Morfolojisi Ve Anatomisi. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 40(2): 26-42.

SÜRDÜRÜLEBİLİR ARDIŞIK YEŞİL ARITIM (SAYA): BİYOKÖMÜR İLE İZMİR KÖRFEZ SUYUNDAN AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARITILMASI VE İKİNCİL MİKROALGAL ARITIM SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Suna ÇELİK

İzmir Atatürk Lisesi, sunacelik678@gmail.com - 0009-0007-3316-5273

ÖZET

Gün geçtikçe artan nüfus ve tüketim ile denizler doğrudan veya dolaylı olarak kirletilmektedir. İkincil kirlilik yaratmaması benzeri avantajlarıyla mikroalgler literatürde atık su arıtımı için kullanılmaktadır. Yöntemin dezavantajı ise arıtılmak istenen atık suyun her zaman mikroalg yaşam koşullarına uymamasıdır. Artık hammaddelerden elde edilen biyokömür türleri ise sucul ortamlardan kontaminant adsorpsiyonuna yönelik çalışılmaktadır. Bu çalışmada, denizleri sürdürülebilir ve faydalı ikincil etkilere sahip bir yöntemle arıtmak için iki farklı arıtım çalışması İzmir Körfezi'nden alınan su örnekleri üzerinde yürütüldü. İlki ile zeytin budama artıklarının pirolizinden elde edilen aktifleştirilmiş (KOH) biyokömürün İzmir Körfezi'ni ağır metalden arıtma potansiyeli incelendi ve Pb, Cd, Cr, As, Al giderimine yönelik bulgular elde edildi. İkinci arıtım çalışmasında İzmir Körfezi'nin biyokömür ile arıtımı ardından model mikroalg *Chlamydomonas reinhardtii* yetiştirilmesi ve strese bağlı yararlı metabolik ürünlerinin maksimum düzeyde eldesi hedeflendi. Mikroalg öncesi adsorban olarak biyokömür (BK) ve aktifleştirilmiş biyokömürün (A-BK) farklı oranlarının potansiyeli incelendi ve mikroalg yaşam koşulu ile yararlı bileşen üretimi açısından en verimli stres düzeyini sağlayan biyokömür uygulaması tespit edildi. Üretilen biyokömürler SEM ve BET analizleri ile karakterize edildi. Ağır metal giderimi ICP-OES analizi ile tespit edildi. Mikroalg yaşatılma verimi ise hücre sayımı, karotenoid ve lipit ekstraksiyonu bakımından incelendi. İzmir Körfezi'nin arıtımında kullanılmak üzere biyokömür ile mikroalg yaşam koşullarının optimizasyonu ve ağır metal adsorpsiyonu bu çalışma ile literatür taramalarında erişilebildiği kadarıyla ilk defa SAYA (Sürdürülebilir Ardışık Yeşil Arıtım) metodu kapsamında gerçekleştirildi. Bu sayede çevre ve insan sağlığı için tehlike arz eden kontaminantların giderimine yönelik metotlara karşı yenilikçi ve çevre kirliliğini birden fazla açıdan ele alan bir çözüm önerisi sunuldu.

Anahtar Kelimeler: Su Arıtımı, İzmir Körfezi, Biyokömür, *Chlamydomonas reinhardtii*, Ağır Metal

1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz Antroposen çağında, nüfus artışıyla beraber artan tüketim ve tüketim sonucu ortaya çıkan atıklar, hızla gelişen sanayi, plansız yapılaşma gibi faktörler çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Willis vd., 2021). “İnsan faaliyetleri sonucu doğal çevrenin fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklerinde meydana gelen istenmeyen değişiklik” (Oxford Kimya Sözlüğü, 2020) şeklinde tanımlanan çevre kirliliği; hava, su ve toprağa kirleticilerin yoğun kontaminasyonu anlamına gelmektedir. 2019 Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik ve

Ekosistem Hizmetleri Hükümetler Arası Bilim-Politika Platformu (BM IPBES) değerlendirmesine göre her yıl 300 ila 400 milyon ton ağır metal, çözücü, toksik çamur ve diğer endüstriyel atıklar dünyanın sularına boşaltılırken küresel atık suyun %80'inden fazlası yeterli arıtım yapılmaksızın çevreye deşarj edilmektedir (Birleşmiş Milletler Çevre Programı, 2016). Küresel nüfusun, zenginliğin ve kaynak tüketiminin gün geçtikçe artmaya devam ediyor olması ve kirli çevrenin ekolojik hayata karşı ciddi tehditler barındırması çevre kirliliğini acilen çözüm üretilmesi gereken bir insanlık sorunu haline getirmektedir.

Deniz kirliliği, çevre ve ekosistem için büyük bir risk potansiyeli taşımaktadır. Endüstriyel üretim sonucu açığa çıkan toksik kimyasallar, ağır metaller, organik ve inorganik maddeler denizler için birer kirleticidir (Chowdhary vd., 2019). Atom numarası 20'nin ve atom kütlesi 5 g/cm³'ün üzerinde olan metaller “ağır metal” olarak adlandırılmaktadır (Ali ve Khan, 2017). Çevre ve canlı sağlığına yönelik olumsuz etki potansiyeline sahip ağır metaller; eşik konsantrasyonlarının üzerinde bulunmaları durumunda, deniz canlılarının metabolik olarak aktif bölgelerinde birikerek yüksek derecede toksisite göstermektedirler (Shah, 2021). Deniz ürünlerinde biriken ağır metaller ve diğer deniz kirleticileri aynı zamanda besin zincirinin üst basamaklarındaki tüketicilere karşı tehdit ve sağlıklı besinlere erişim problemlerinin temellerini oluşturmaktadır (Texas Disposal Systems, 2024). Başta azot ve karbon kökenli olmak üzere organik maddeler, suda çözülmüş oksijen miktarını azaltmakta ve ötrofikasyona yol açarak su flora-faunasını risk altına sokmaktadır (Singh, 2024). Canlı hayatına ve çevreye karşı bu ve benzeri tehditlerin azaltılması için denizlerimizin temizlenmesi büyük ölçüde önem ve aciliyet göstermektedir.

Türkiye'nin tarım, sanayi, ticaret, turizm, ulaşım, eğitim ve sağlık faaliyetleri bakımından gelişmiş bir ili olan İzmir, Ege Denizi'ne kıyısı ile önemli bir konumdadır. İzmir'i çevreleyen; iç, orta ve dış olarak ayrılan İzmir Körfezi'nin uzunluğu 64 km, genişliği 32 km, kıyı uzunluğu 464 km, yüzey alanı 960,4 km²'dir (“İzmir Körfezi” 2006). Körfeze döküldüğü bilinen 17 akarsu mevcuttur (Tekeli, 2017). İzmir Körfezi; ticari, ulaşım ve turizm açısından büyük öneme sahip olmasının yanı sıra Akdeniz fokları gibi nesli tükenme tehlikesi altında olan canlılara ev sahipliği yapmaktadır (“Foça Özel Çevre Koruma Bölgesi”, t. y.).

21. yüzyılın başında yaklaşık 3 milyon olan İzmir nüfusunun günümüzde 4,5 milyona çıkması ve artan tüketim ile beraber ilde çevre kirliliği hız kazanmıştır (Ayhan ve Yazıcı, 2023). İzmir Körfezi, gerek feribot hatları gibi ulaşım faaliyetlerinden gerekse bilinçsiz atık boşaltımından kaynaklanan çeşitli kirleticilerden olumsuz etkilenmektedir. İzmir Büyükşehir Belediyesinin açıklamalarına göre 1960'lı yıllardan itibaren endüstriyel atıklar arıtılmaksızın İzmir Körfezi'ne deşarj edilerek körfez kirlenmeye başlamıştır (“15 Yıl Önce, 15 Yıl Sonra”, 2015). Ardından arıtılma çalışmaları yürütülmüş olsa da kirlilik sorunu tekrar etmiş, İzmir'in refah düzeyini ve bireylerin günlük hayatını olumsuz etkileyen periyodik “körfezden gelen kötü koku” ve “toplu balık ölümleri” gibi problemlere neden olmuştur (Ekizler, 2024; “İzmir Körfezi'nde “çevre felaketi”: Bakanlık belediyeye 1,8 milyon lira ceza kesti”, 2024).

Körfezin ana kirleticileri olarak kökenlerinin endüstriyel deşarjlar ve deniz trafiğine dayandığı düşünülen ağır metaller ve bundan dolayı olarak etkilenip yaşanan canlı ölümleriyle ortaya çıkan organik bileşenler görülmektedir (Lemenkova, 2016). Yapılan çalışmalarda; körfezin yüzey sedimanlarında çeşitli ağır metaller, toplam organik karbon ve sülfür konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğu (Aksu vd., 1998) ve suda özellikle endüstriyel

kökenlerle kabul edilen sınırın üstünde ağır metal kontaminasyonları tespit edilmiştir (Talas vd., 2023; Akinci vd., 2013; Atalar vd., 2013).

Körfezdeki kirlilik problemine karşın adsorpsiyon işlemi literatürde yaygın olarak; yenilenebilir olması, düşük maliyeti, “ikincil kirlilik” yaratmaması gibi başlıca avantajları ile sudan ağır metal ve diğer kirleticilerin arındırılması için diğer yöntemlere tercih edilmektedir. Örneğin; basit ve hızlı bir yöntem olan “kimyasal çöktürme” işleminde kimyasal tüketimi ve ikincil kirlilik riski oldukça fazladır, spesifik metallerin gideriminde etkili olan “iyon değişimi yöntemi” aynı zamanda yüksek bir başlangıç maliyetine sahiptir, düşük konsantrasyonlarda yüksek arıtma verimi sağlayan “membran filtrasyonu” yönteminde ise membran tıkanması gibi problem durumları mevcuttur. Buna karşın adsorpsiyon; düşük maliyetli ve çevre dostu olmasının yanı sıra düşük konsantrasyonlarda etkilidir ve materyal yelpazesi oldukça geniştir (Y. Wang vd., 2022; Nazaripour vd., 2021).

Biyokömür biyokütlenin pirolizi, oksitleyici bir madde olmaksızın yüksek sıcaklık ve basınç altında ısıtılması, sonucu elde edilen; karbon açısından zengin bir katı üründür. Yüksek gözenek hacmi, geniş yüzey alanı, karbon içeriği ve fonksiyonel gruplarının zenginliği ile su ortamından ağır metallerin gideriminde yaygın olarak kullanılmaktadır (T. Liu vd., 2021; Cha vd., 2016). Literatürde farklı hammaddelerden elde edilmiş biyokömürün; sudaki ağır metallerin uzaklaştırılması amacıyla kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Phiri vd., 2024; Devrajani vd., 2024). Aynı zamanda tarımsal uygulamalar ve toprak ıslahı amaçlı kullanılan biyokömürün çevresel avantajlarından bir diğeri, yapısında karbon tutarak karbon ayak izini azaltmasıdır (Hernandez-Charpak vd., 2023; Deng vd., 2024). Pirolize sokulan hammaddenin halihazırda bir artık olması, atmosferik karbonu tutarak karbon ayak izi ile sera gazı emisyonlarını azaltması ve ağır metal adsorpsiyon kapasitesi gibi çeşitli açılardan çalışma kapsamında biyokömür; çevre ve insan sağlığını koruma yöntemlerinde önemli bir basamak olarak görülmektedir (Kaur vd., 2024; J. Wang ve S. Wang, 2019).

Türkiye’de yetiştirilen tarım ürünleri biyokütle eşdeğeri bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. 2023 yılında ülkemizin toplam tarım alanları TÜİK (2024) verilerine göre 239.712.314 dekar olarak belirlenmiştir. “Tarımsal artık” olarak adlandırılan çeşitli otlar, hayvan gübreleri, meyve, kabuk ve budama artıkları vb. maddeler çoğunlukla ürün hasadının ardından yanlış tarım uygulamaları sonucu yakılmakta veya başı boş bırakılarak tarım alanlarının işgaline sebep olmaktadır (Koçer ve Kürklü, 2018). Tarlalarda kalan artıkların yakılması, toprağın verimsizleşmesine ve orman yangınları benzeri çevresel problemlere sebep olmasına rağmen sıklıkla uygulanan bir işlemdir (Çakal ve Çelik, 2021). Çalışmada Türkiye’nin tarımda öncü oluşu ve ortaya çıkan potansiyel artık miktarları göz önünde bulundurularak biyokömür hammaddesi olarak tarımsal artıklar belirlenmiştir. Tarımsal artıkların olumsuz sonuçlar doğuracak şekilde imha edilmesi yerine biyokömür hammaddesi olarak kullanılması çevre sağlığı açısından çalışmayı bir adım daha kapsayıcı kılmaktadır. Bu çalışmada biyokütle olarak zeytin budama artıkları seçilmiştir. Dünyanın önemli zeytin üreticilerinden biri olan Türkiye dünya zeytin üretiminin yaklaşık olarak %9’unu karşılamaktadır (Çiçek vd., 2020). Bu üretim sonucu oluşan zeytin budama artığının ise çalışma kapsamında biyokömür eldesi için kullanılması planlanmıştır. Biyokömürün İzmir Körfezi’nin ağır metalden arıtılması ve mikroalg öncesi ortam optimizasyonu için kullanılması, çevre kirliliğinin önlenmesini birden fazla açıdan ele almaktadır.

İzmir Körfezi; tuzlu olmasının yanı sıra kontaminasyon bileşenlerinin tamamı öngörülemeyen, heterojen ve inorganik-organik bileşiklerce yoğun olan bir yüzey su kaynağıdır. Bu nedenle birisinin verimini yükseltmek üzere iki farklı arıtım modeli çalışılmış, sonuç olarak “SAYA” metodu geliştirilmiştir. İkincil adsorban ve yaşam koşulları optimizasyonu için seçilen organizma “model mikroalg” olarak anılan *Chlamydomonas reinhardtii*’dir. (Merchant vd., 2007)

Yapılan çalışmalarda yaklaşık 50.000 farklı mikroalg türü keşfedilmiştir (Guiry, 2024). Mikroalgler; yağ asitleri, proteinler ve karbonhidratlar açısından zengin olan ve çevre ve sanayi alanlarında geniş uygulama potansiyeline sahip organizmalardır. Bu organizmaların lipid içeriği biyodizel ve biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına hammadde olacak niteliktedir (X. Liu vd., 2022). Gıda ve yem endüstrisinde protein ve Omega 3 yağ asitleri kaynağı olarak yer alan mikroalgler (Mosibo vd, 2024) aynı zamanda CO₂ yakalamaları sayesinde iklim değişikliğine karşı olası çözüm araçlarından biridir.

Literatürde sıklıkla biyosorpsiyon yöntemi ile atık suların arıtımı konulu çalışmalarda yer alan (Mahlangu vd., 2024; Ayele vd., 2021; Phiri ve Oh, 2024) mikroalgler aynı zamanda yaşadıkları çevrenin koşullarındaki değişikliklere (ışık yoğunluğu, sıcaklık, pH ve tuzluluk değişimleri, besin yetersizliği vb.) bağlı olarak strese maruz kalabilmektedirler (Gorelova vd., 2018). Ancak çevresel stres faktörlerine maruz kaldıklarında dahi faydalı yan ürünler üretebilme kapasitesine sahip olup, belirli seviyelerdeki kirliliğe tolerans gösterme yeteneği sergileyebilmektedirler. Bu özellikleri, mikroalglerin biyoteknolojik uygulamalarda ve çevre koruma alanında potansiyelini artırmaktadır. Örneğin azot eksikliği gibi stres koşullarında enerji yetersizliği yaşamamak adına sentezlenen ekstra lipidler, daha sonra biyodizel ve biyoyakıt üretiminde kullanılabilir (Mobin vd., 2022). Bunun yanı sıra pigmentler, antioksidanlar, polisakkaritler ve diğer metabolitler yeşil mikroalglerin stres koşulları altında sentezi hızlanan ve depolanan ürünlerindedir (Shi vd., 2020). Ancak arıtımı gerçekleştirilen atık su koşullarının mikroalge sağladığı stres miktarının aşırı olması; büyümelerinin baskılanması, kümelenme ve kirlilik etmenlerinin hücre içinde birikmesi ile sonuçlanabilmektedir. Söz edilen durumda mikroalg, ortamda yaşamaya devam edemeyeceği gibi faydalı ürünlerin metabolizmasını sürdürememekte veya arıtımı gerçekleştirememektedir. Bu probleme karşı çalışmada, arıtılmak istenen ancak mikroalg yaşam koşullarına uymayan ortamın bir ön adsorban uygulaması ile optimize edilebileceği önerilmektedir.

Bu çalışmada mikroalg arıtım öncesi ortam optimizasyonu için biyokömür kullanılmıştır. Biyokömür hammaddesi olarak muhafazası olumsuzluklara neden olan tarımsal artıklardan zeytin budama artığı seçilmiş, bu sayede sucul ortamların temizliği haricinde çevreyi korumak adına bir adım daha atılmıştır. Ayrıca deneyler kapsamında yaşam koşulları optimize edilen *Chlamydomonas reinhardtii*’nin hücresel strese bağlı olarak sentezlediği veya depoladığı bileşenler sözü edilen endüstriyel ve çevresel kullanımlarına hazır hale getirilmiştir. Adsorbanlar birbirleri ile güçlendirilerek “SAYA” metodu geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem İzmir Körfezi’nden alınan su örnekleri üzerinde uygulanmıştır.

SAYA (Sürdürülebilir Ardışık Yeşil Arıtım) metodu ile incelenen literatürlere göre birbirinden bağımsız çalışılan 2 farklı adsorpsiyon yöntemi birleştirilmekte ve birbiri ile güçlendirilmektedir. Bu metot; biyokömür ile ağır metal adsorpsiyonunun yanı sıra karbon yakalama ve artıkların geri kazanımı için önemli görülmektedir. Ayrıca mikroalglerin kullanım

yelpazesi geniş metabolik ürünleri ve suda çözülmüş inorganik-organik maddeleri arındırarak büyümesi gibi avantajlarının yanında sürdürülebilir, yenilikçi bir sistem olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada arıtılmak istenen su örneğine biyokömür uygulaması yapılarak işlem sonucunda suyun ön arıtımı gerçekleşmiş ve mikroalg yaşam koşulları sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra kontamine ortam artık ardışık arıtımın 2. aşaması olan mikroalg uygulamalar için elverişli hale getirilmiştir. Aktifleştirilmiş biyokömür ile ağır metal adsorpsiyonu da SAYA metodu kapsamında değerlendirilmiş, İzmir Körfezi su örneği üzerinde çalışılmıştır. Literatür taramaları çerçevesinde erişilebildiği kadarıyla ilk defa bu çalışmada SAYA metodu kapsamında atık su arıtımında kullanılmak üzere bir mikroalg türünün yaşam koşullarının biyokömür ile optimizasyonu çalışılmış, aktifleştirilmiş biyokömür ilk defa gerçek ve kompleks bir yüzey suyunda ağır metal adsorpsiyonuna yönelik kullanılmıştır.

Bu çalışmada biyokömürün karbon tutma gibi çevresel yararları, *Chlamydomonas reinhardtii*'nin “kirlilik” olarak nitelendirilen organik ve inorganik bileşenleri adsorbe ederek büyütülmesi ve stres koşulları altında bünyelerinde biriken maddelerin daha sonraki çalışmalarda kullanılma potansiyelleri birleştirilmiştir. Bu sayede zeytin budama atıkları bir arıtım materyali oluşturmak için değerlendirilmiş, ek olarak üretilen biyokömürler ile ayrı ayrı İzmir Körfezi özelinde suyun ağır metal bakımından arıtımı gerçekleştirilmiş ve mikroalg yaşam koşulları sağlanarak körfez ardışık arıtıma elverişli hale getirilmiştir. Ayrıca oluşan son mikroalg biyokütlesinin lipit ve karotenoid gibi yan ürünlerin üretimi ve katma değer potansiyelleri ortaya konmuştur.

Ege Bölgesi zeytin budama artıklarının pirolizi sonucu biyokömür üretimi, *Chlamydomonas reinhardtii* mikroalginin biyokömür ile optimizasyonu gerçekleştirilen deniz suyunda yaşatılması ve böylelikle ikincil bir arıtımın sağlanması, bu süre boyunca hücresel stres sonucu salgılanan katma değere sahip ürünlerin elde edilmesi ve İzmir Körfezi'nin aktifleştirilmiş biyokömür ile ağır metal kirliliklerinden arıtılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmalar iki aşamalı bir şekilde Ege Üniversitesi altyapısı kullanılarak gerçekleştirildi. İlk aşamadaki “biyokömür üretimi” ve “su örneklerinde biyokömür uygulaması” işlemleri Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Endüstriyel Kimya Döner Sermaye Laboratuvarında çalışıldı. İkinci aşamadaki “*Chlamydomonas reinhardtii* mikroalg kültürü yetiştirilmesi”, “su örneklerinde mikroalg uygulaması”, “mikroalg kültürünün geri eldesi” ve “suyun tam arıtımı” işlemleri ise Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomühendislik Bölümü Rekombinant Teknolojileri Laboratuvarında yürütüldü. Bulguları değerlendirmek adına gereken analizler; İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tümüleşik Araştırma Merkezi (İYTE TAM) ve Kimya Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi Biyomühendislik Bölümü ve İzmir Çevre Laboratuvarında (İZÇEV) gerçekleştirildi.

2.1. Materyal

Biyokömür hammaddesi olan zeytin budama artığı; çalışmanın yürütüldüğü Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Endüstriyel Kimya Döner Sermaye Laboratuvarına, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı İzmir Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğünden temin edildi. *Chlamydomonas reinhardtii* alg kültürü Chlamydomonas Kaynak Merkezi'nden temin

edildi. Çalışma süresince kullanılan diğer kimyasallar laboratuvar reaktif sınıfında bulunmakla beraber saflaştırılmaksızın kullanıldı. Arıtımı amaçlanan su örneği İzmir Körfezi'ni temsilen İzmir Bostanlı Feribot İskelesi kıyısından ($38^{\circ}27'19.3''N$ $27^{\circ}05'33.6''E$) alındı.

2.2. İzmir Körfezinden Su Örneği Alımı

Deneyler boyunca arıtmaları çalışılmak üzere her ikisi de İzmir Körfezi'nin literatürde kirliliği belirtilen Bostanlı Feribot İskelesi kıyısından olmak üzere 2 farklı su örneği alındı (Sabikoglu, 2021). İlki ağır metal adsorpsiyonu çalışılmak üzere 03.09.2024, ikincisi mikroalgal arıtım koşullarının optimizasyonu amacıyla 10.11.2024 tarihinde her biri 10 L miktarında alındı. Örnekler, deneyler boyunca oda sıcaklığında ve güneş ışığına direkt maruz kalmayacak şekilde muhafaza edildi.

2.3. Aktifleştirilmiş Biyokömür (A-BK) Üretimi

Biyokömürün yüzey alanı piroliz sıcaklığı ile doğru orantılıdır; gözenekli yapısı ise kullanılan hammaddeye bağlı olmasının yanı sıra gerçekleştirilen kimyasal veya fiziksel aktivasyon işlemleri ile artırılabilir (Kaur vd., 2024). Adsorpsiyon kapasitesi ise gözenekli yapı ve yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle çalışmada ağır metal adsorpsiyonu için kimyasal olarak aktifleştirilmiş biyokömür kullanıldı. Aktivasyon materyali olarak potasyum hidroksit (KOH) seçildi. Mikroalgal arıtım öncesi ön adsorban olarak ise biyokömürün (BK) ve aktifleştirilmiş biyokömürün (A-BK) İzmir Körfezi su örneğini optimize etme potansiyeli incelendi.

2.3.1. Hammaddenin Kimyasal Aktivasyonu

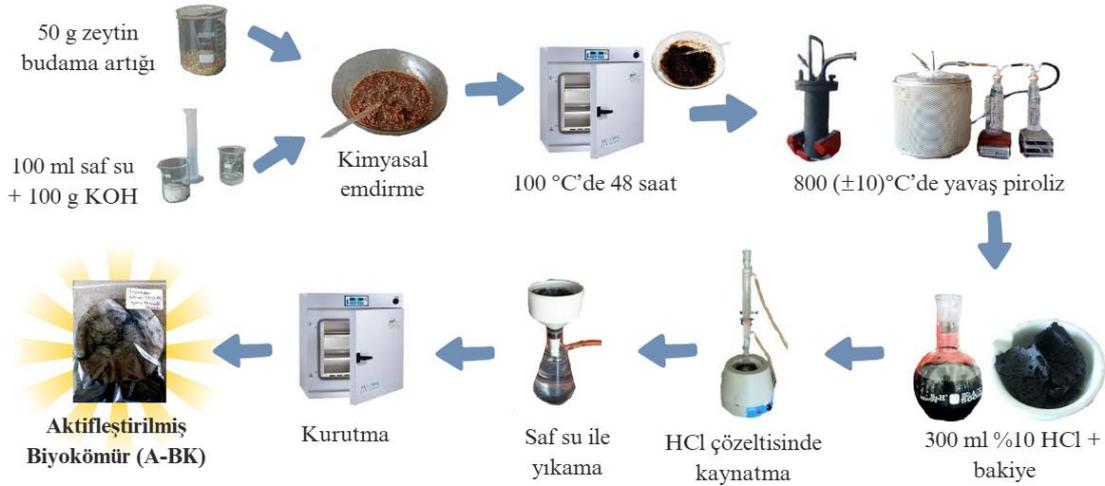
Biyokömür hammaddesi olan zeytin budama artığının gözenekli iç yapısını artırmak için kimyasal aktivasyonu potasyum hidroksit (KOH) kullanılarak kütlece 1:2 oranında gerçekleştirildi (Kaur vd., 2024). 50 g zeytin budama artığı, 100 ml saf suda çözülmüş 100 g potasyum hidroksit ile empenye edildi. Ardından karışım $100^{\circ}C$ 'de 48 saat boyunca etüvde kurutuldu. Kurutma işleminin eşit bir şekilde gerçekleşmesi için karışım ilk saatte 20 dakikada bir etüvden çıkartılıp karıştırıldı (Duman, 2021).

2.3.2. Piroliz

Aktifleştirilmiş biyokömür laboratuvar ölçekli sabit yatak yavaş piroliz sistemi kullanılarak elde edildi (Tripathi vd., 2015). İşlem sonucunda sıvı ve gaz ürünlerin az miktarda oluşmasına karşın hedeflenen katı ürünün ağırlıklı olarak oluşumu, yavaş piroliz işleminin seçilmesini sağladı (Demirbas ve Arin, 2002). 1L hacmindeki paslanmaz çelik reaktöre KOH ile kimyasal aktivasyonu tamamlanan zeytin budama artığı yüklendi ve yüksek sıcaklık fırınına yerleştirildi. Reaktörün etrafı ısı kaybını önlemek adına cam yünü ile kaplandı ve pirolize başlandı. İşlem boyunca katı ürünün saflığını olabildiğince yüksek tutmak adına birer adet gaz ve sıvı yan ürün tuzakları kuruldu. Sürekli olarak azot gazı (100 ml/dk) geçirilen reaktör $10^{\circ}C/dk$ ısıtma hızıyla $800 (\pm 10)^{\circ}C$ 'ye kadar ısıtıldı ve aynı sıcaklıkta 1 saat boyunca bekletildi (Gotore vd., 2024). Deney süresi sonunda reaktör azot gazı altında oda koşullarına kadar soğutuldu.

2.3.3. Geri Soğutma ve pH Optimizasyonu

Bir gece oda sıcaklığında soğumanın ardından reaktörden çıkartılan aktifleştirilmiş biyokömür, yüzey alanının artırılması için havan ile öğütüldü (Kaur vd., 2024). Reaktör bakiyesi, 300 ml %10 HCl çözeltisi ile 1 saat boyunca geri soğutucu altında kaynatıldı, ardından vakum altında filtrelendi ve klorür iyonları uzaklaşana kadar saf su ile yıkandı. Son ürün etüvde 100°C’de 24 saat boyunca kurutuldu. Kütlece %10 verim ile 50 gram zeytin budama artığından 5 gram KOH ile kimyasal aktivasyonu gerçekleştirilmiş aktif biyokömür (A-BK) elde edildi (Duman, 2021) (Görsel 1).



Görsel 1. Aktifleştirilmiş Biyokömür (A-BK) Üretim Aşamaları

2.4. Biyokömür (BK) Üretimi

50 g zeytin budama artığı herhangi bir aktivasyon gerçekleştirilmeksizin sistem reaktörüne yerleştirildi. Reaktörün etrafı ısı kaybını önlemek adına cam yünü ile kaplandı ve 800 (±10) °C’de aynı şartlar altında yavaş piroliz gerçekleştirildi (Gotore vd., 2024). Reaktör sıcaklığı hedeflenen değere ulaştıktan sonra 1 saat aynı sıcaklıkta bekletildi. Ardından ısı kesildi ve sistem 1 gece boyunca oda sıcaklığında azot gazı altında soğutuldu. Reaktörden çıkartılan biyokömür (BK) havanda öğütülerek tanecik boyutu küçültüldü (Kaur vd., 2024). Son ürün olarak %30 verim ile 50 g zeytin budama artığından 15 g biyokömür elde edildi (Görsel 2).



2.5. Su Örneğinde Biyokömür Uygulaması

Bu aşamada 03.09.2024 ve 10.11.2024 tarihlerinde alınan su örnekleri üzerinde ayrı ayrı

biyokömür uygulamaları çalışıldı. İlk olarak 03.09.2024 elde tarihli su örnekleri üzerinde sadece aktifleştirilmiş biyokömür uygulaması 0,125/50 (A-0,125) ve 0,250/50 (A-0,25) g/ml oranlarında gerçekleştirildi. A-0,125 ve A-0,25 adlı deney düzenekleri 24 saat boyunca 200 rpm hızda ve oda sıcaklığında orbital karıştırıcı yardımı ile karıştırıldı. Ardından her iki A-BK de filtre kâğıdı ile su örneklerinden ayrıldı. Uygulamada kullanılan A-BK'ler 1 saat boyunca etüvde kurutuldu ve oda sıcaklığında soğumaya bırakıldıktan sonra sızdırmaz kilitli poşetlerle paketlenip muhafazaya hazır hale getirildi. Bu aşama, KOH ile aktive edilmiş zeytin budama artığının yavaş pirolizi sonucu elde edilen aktifleştirilmiş biyokömürün körfez suyundaki ağır metal adsorpsiyonunu değerlendirilmek adına gerçekleştirildi. (Yuan ve Tan, 2021).

İkinci su örneği kullanılarak alg öncesi ortam optimizasyonu için 0,5 g/200 ml ve 1 g/200 ml olmak üzere iki farklı biyokömür/körfez suyu miktarı oranı denendi. Aynı zamanda kimyasal aktivasyonun mikroalg yaşam koşullarına olası etkisinin incelenmesi adına A-BK ve BK iki oran için de ayrı ayrı kullanıldı. Sonuç olarak su örneğinde biyokömür uygulaması; (A=aktifleştirilmiş biyokömür, S=biyokömür olmak üzere) A-1, A-0,5, S-1 ve S-0,5 kod adlı deneylerle gerçekleştirildi. Bütün körfez suyu-biyokömür karışımları ve olası parametreleri eşitlemek adına 200 ml biyokömür uygulanmayan körfez su örneği; oda sıcaklığında 200 rpm karıştırma hızı ile orbital karıştırıcıda 24 saat boyunca, verimi artırmak için ikiye bölünerek karıştırıldı (Ye vd., 2022). 24 saat boyunca oda sıcaklığında orbital karıştırıcıda karıştırılan karışımlar, filtre kâğıdı yardımı ile süzüldü. İkiye bölünerek karıştırılan karışımlar süzülme esnasında birleştirildi. Bağımsız değişkeni sadece biyokömür türü ve oranı tutmak amacıyla diğerleriyle beraber 1 gün boyunca karıştırılan biyokömür uygulanmamış su örneği bu aşamada da diğer örnekler gibi filtre kâğıdı ile süzüldü. Filtre kağıdında kalan biyokömürler 1 gün boyunca 100°C'de etüvde kurutuldu, sızdırmaz kilitli poşetlerde muhafaza edildi. Bu aşama sonunda eldeki 200 ml'lik 4 farklı biyokömür uygulaması gerçekleştirilmiş ve 1 adet üzerinde herhangi bir biyokömür uygulaması yapılmamış su örnekleri; analizlerin yapılması için 50 ml, mikroalg uygulaması için 100 ml ve şahit numune olarak tutulması için 50 ml şeklinde ayrıldı (Bauer vd., 2020).

Çizelge 1. Su Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen Biyokömür Uygulamaları ve Kullanılan Biyokömür Türleri

| Kullanılan Biyokömür Türü | Su Örneklerinde Gerçekleştirilen Deneyler |
|-----------------------------------|---|
| Aktifleştirilmiş Biyokömür (A-BK) | A-0,5 / A-1 / A-0,125 / A-0,25 |
| Biyokömür (BK) | S-0,5 / S-1 |

2.6. Mikroalg Kültürünün Yetiştirilmesi

Chlamydomonas reinhardtii alg kültürünün yetiştirilmesi için optimum yaşam koşulları TAP (Tris – Acetate – Phosphate) Medium metoduna göre Çizelge 2'de belirtildiği şekilde 500 ml olmak üzere hazırlandı (Harris, 1989). Mikroalg kültürü; 500 ml'lik ideal *Chlamydomonas reinhardtii* besi ortamında 1 hafta boyunca 110 rpm'de, oda sıcaklığında ve 40 μ mol foton $m^{-2}s^{-1}$ ışık şiddeti ile karıştırılarak büyütüldü. 1 hafta ardından kültür oda sıcaklığında 4.100 rpm'de 5 dakika boyunda santrifüj edilerek 1 ml'de $8,5 \cdot 10^6$ *Chlamydomonas reinhardtii* hücresi elde edildi (Görsel 3).

Çizelge 2. Tris-Acetate-Phospate (TAP) Medium Ortamı (500 ml) için Kullanılan Malzemeler ve Miktarları

| İçerik | Miktar |
|---------------------------------------|--|
| 2x Filner's Bejernics Solüsyonu | 12,5 ml |
| KH ₂ PO ₄ | 0,027 g |
| K ₂ HPO ₄ | 0,055 g |
| Trace Mineral Solüsyonu | 500 µl |
| Tris-Base (Tris-Aminomethan) | 1,21 g |
| Glasiyel Asetik Asit (17,4 mM asatat) | 505 µl |
| Saf Su | Solüsyonu 500 ml'ye tamamlayacak kadar |



Görsel 3. Chlamydomonas reinhardtii Kültürünün Yetiştirilme Aşamaları

2.7. Su Örneğinde Mikroalg Uygulaması

Bu aşama sadece 10.11.2024 tarihinde alınan su örneğinde yürütülen biyokömür uygulamaları sonrasında gerçekleştirildi. Biyokömür uygulamasının ardından 100 ml'lik 5 farklı deney düzeneğinde alg uygulaması yapıldı: Biyokömür uygulanmamış su örneği, 0,5/200 ve 1/200 g/ml oranlarında A-BK uygulanmış su örnekleri, 0,5/200 ve 1/200 g/ml oranlarında BK uygulanmış su örnekleri. Deney düzeneğindeki 5 farklı biyokömür uygulaması gerçekleştirilmiş su örneklerinin her biri için 100 ml'lik alg kültürünün santrifüjünden elde edilen hücreler uygulandı ($\sim 8,5 \cdot 10^8$ adet). Su örneklerine uygulanan *Chlamydomonas reinhardtii* hücreleri, alg kültürünün yetiştirildiği şartlarla aynı olarak 1 hafta boyunca orbital karıştırıcıda, oda sıcaklığında, 110 rpm hızda 40 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti altında karıştırılarak büyütüldü.

2.8. Suyun Tam Arıtımı ve Mikroalg Kültürü Eldesi

1 haftanın ardından alg hücreleri oda sıcaklığında, 4.100 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj işlemine tabi tutularak su örneklerinden ayrıldı. Her 100 ml'lik 5 farklı işleme tabi tutulmuş su örneğinin 50 ml'si şahit numune tutularak diğer 50 ml'si analizler için ayrıldı. Farklı oranlarda farklı biyokömür uygulamaları yapılan deney düzeneklerinde 1 hafta boyunca yetiştirilen alg kültürünün hemositometre ile hücre sayımı gerçekleştirildi.

2.9. Toplam Karotenoid, Klorofil ve Lipit Ölçümleri

Mikroalgin klorofil *a* (Chla), klorofil *b* (Chlb) ve toplam karotenoid (Tcar) ölçümleri Lichtenthaler ve Buschmann'dan (2001) uyarlanan denklemlere göre gerçekleştirildi. 5 deney düzeneğinden her birinin 2 ml'si 5.000 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj edildi ve çökelti hacimce %20 su içeren 2 ml aseton içinde vorteks karıştırıcı kullanılarak maksimum hızda 5 dakika boyunca parçalandı. Pigmentleri içeren çözelti, aynı şartlar altında 2. santrifüje tabi tutularak beyaz hücre kalıntılarından ayrıldı. Çözelti fazları (OD) 662 nm, 646 nm ve 470 nm dalga boylarında spektrofotometre kullanılarak ölçüldü, ölçülen değerler aşağıdaki denklemde yerlerine konarak pigment konsantrasyonları hesaplandı.

$$\text{Chla } (\mu\text{g ml}^{-1}) = 12,25 \times \text{OD}_{662} - 2,79 \times \text{OD}_{646}$$

$$\text{Chlb } (\mu\text{g ml}^{-1}) = 21,50 \times \text{OD}_{646} - 5,10 \times \text{OD}_{662}$$

$$\text{Tcar } (\mu\text{g ml}^{-1}) = (1000 \times \text{OD}_{470} - 1,82 \times \text{Chla} - 85,02 \times \text{Chlb}) \times 198$$

Lipit içeriğinin belirlenmesi için 5 deney düzeneğinin her birinin 10 ml'si 4.000 rpm hızda ve 4 °C'de 10 dakika santrifüj edildi. Ardından peletler liyofilize edildi ve her numunenin 10 mg'ı Folch vd.'ne (1957) göre lipit ekstraksiyonu için kullanıldı: Hücreler 2 ml'lik Eppendorf tüplerinde 250 µl %0,73 NaCl içinde resüspanse edildi. Tüplere 1250 µl soğuk kloroform:metanol 2:1 hacminde eklendi ve 1 dakika vortekslendi. Tüpler yaklaşık 2 dakika boyunca buz üzerinde inkübe edildi ve 1 dakika daha vortekslendi. Numuneler 13.400 rpm ve 4 °C'de 10 dakika boyunca santrifüj edildi. Örneğin alt fazı cam pipet ile önceden tartılmış camlara aktarıldı ve 80 °C'de 4 saat boyunca kurutuldu. Son olarak 5 dakika desikatörde tutuldu ve lipid içeriğini belirlemek adına tartıldı (Yıldırım, 2024).

2.10. Biyokömür Karakterizasyonu

2.10.1. SEM Analizi

Zeytin budama artıklarından üretilen BK ve A-BK'nin mikro gözenekli yapıları ve yüzey topografyası, ZEISS EVO MA10 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı kullanılarak incelendi. Analizden önce, yüklenmeye bağlı olarak görüntüleme sırasında oluşabilecek problemlerin önüne geçmek için numunelerin yüzeyleri argon gazı altında 5 nm altın ile kaplandı.

2.10.2. BET Analizi

Zeytin budama artıklarından üretilen BK ve A-BK numunelerinin yüzey alanı ve gözenekli yapılarındaki farklılıklar hakkında spesifik bulgular Mikromeritics cihazı kullanılarak yapılan Brunauer-Emmet-Teller (BET) analizi ile elde edildi. Analizden önce numuneler, gözeneklerde biriken gazlardan arındırılması adına 300°C'de 24 saat boyunca degaze edildi.

2.11. Adsorpsiyon Öncesi ve Sonrası Su Örneklerinde Ağır Metal Tayini

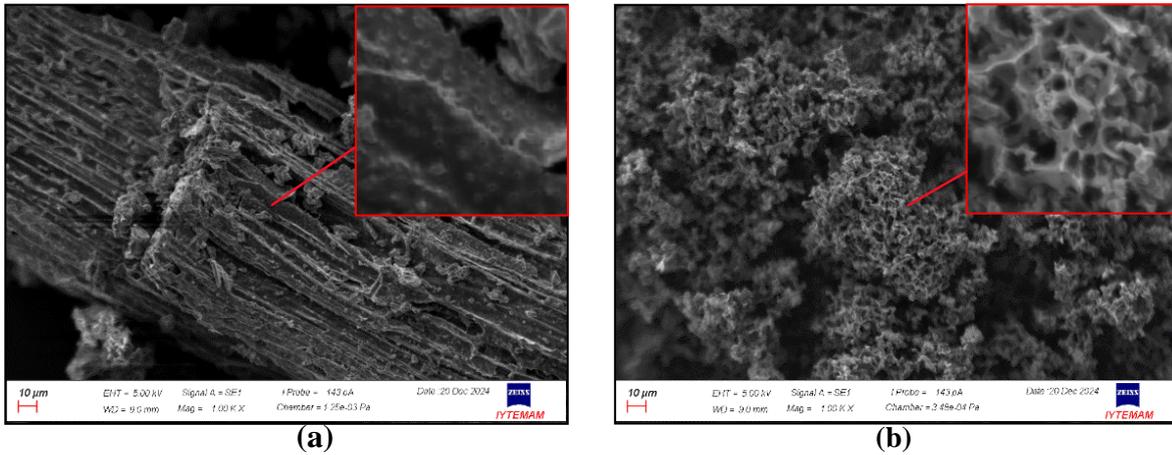
Her iki A-BK uygulaması sonunda elde edilen ve 1 adet uygulamaya tabi tutulmamış olmak üzere 3 su numunesinin ağır metal tayini; ön filtrasyon işlemlerinin ardından İndüktif Eşleşmeli Plazma - Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) metodu kullanılarak TS EN ISO 15587-1

/ 11885 standartlarında gerçekleştirildi.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. SEM Analizi Sonuçları

Görsel 4'te üretilen BK ve A-BK'nin SEM görüntüleri gösterilmektedir. Görsel 4-a içerisinde yer verilen biyokömürün lifli yapısını koruduğu ve kompakt parçalar halinde durduğu görüldü. Görsel 4-b'de gösterilen aktifleştirilmiş biyokömürün ise kullanılan biyokütleden kalan lifli yapısının piroliz öncesi aktivasyonda KOH ile bozulduğu, materyalin gözenekli yapısının aktivasyona bağlı olarak arttığı Murti vd. (2024), Duman (2021) ve Jin vd. (2014)'nin çalışmalarına benzer şekilde gözlemlendi.



Görsel 4. Biyokömür (a) ve Aktifleştirilmiş Biyokömürün (b) SEM Analizi Sonuçları

3.2. BET Analizi Sonuçları

Çizelge 3'te BK ve A-BK'nin BET Yüzey Alanı ve Mikropor Alanı değerleri gösterilmektedir. Potasyum hidroksit ile aktivasyonun yüzey alanı ve gözenekli yapıya etkisinin incelenmesi adına analiz edilen parametrelerin aktivasyona bağlı olarak keskin bir değişiklik gösterdiği tespit edildi. 1 gram A-BK'nin yüzey alanı, 1 gram BK'nin yüzey alanının yaklaşık 30 katı şeklinde gözlemlendi. Bunun yanı sıra 1 gram A-BK'nin mikropor alanının, 1 gram BK'nin aynı değerinin yaklaşık 30 katı olduğu görüldü. Murti vd. (2024)'nin çalışmasında olduğu gibi KOH aktivasyonunun biyokömür yüzey alanını artırdığı gözlemlendi. BET analizi bulguları KOH ile kimyasal aktivasyonunun zeytin budama artığı biyokütlesinin yüzey alanı ve gözenekli yapısını yaklaşık 30 kat artırdığını destekler nitelikte bulundu.

Çizelge 3. Aktifleştirilmiş Biyokömür ve Biyokömürün BET Yüzey Alanı ve Mikroporal Alan Değerleri

| Numune | BET Yüzey Alanı (m ² /g) | Mikropor Alanı (m ² /g) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Biyokömür (BK) | 21,1078 | 17,1078 |
| Aktifleştirilmiş Biyokömür (A-BK) | 672,6660 | 545,6660 |

3.3. Adsorpsiyon Öncesi ve Sonrası Su Örneklerinde Ağır Metal Ölçümleri

İzmir Körfezi üzerinde ağır metal giderim potansiyelleri incelenen iki farklı A-BK oranı

(50 mililitrede 0,125 ve 0,25 gram) uygulamasından önce ve sonra su örneklerinin ağır metal değerleri Çizelge 4’te verilmektedir. Çevre için olumsuz etkileri öne çıkan kurşun (Pb), arsenik (As) ve alüminyum (Al) değerlerinin, aktifleştirilmiş biyokömürün her iki orandaki uygulamasının ardından 0,01 ppm seviyesinin altına indiği tespit edildi. Kadmiyum (Cd) ve krom (Cr) ağır metal miktarlarında ise benzer azalmalar, A-0,125 numunesinde daha fazla olmak üzere, gözlemlendi. Adsorpsiyon öncesi ve sonrası su örneklerinde ağır metal ölçümü bulguları, aktifleştirilmiş biyokömürün İzmir Körfezi’ndeki ağır metal kirliliğine yönelik adsorban olarak kullanılması hipotezini destekler nitelikte bulundu.

Çizelge 4. 03.09.2024 Tarihinde Alınan İzmir Körfezi Su Numunesinin A-BK Uygulaması Öncesi ve Sonrası Ağır Metal Miktarları (ppm)

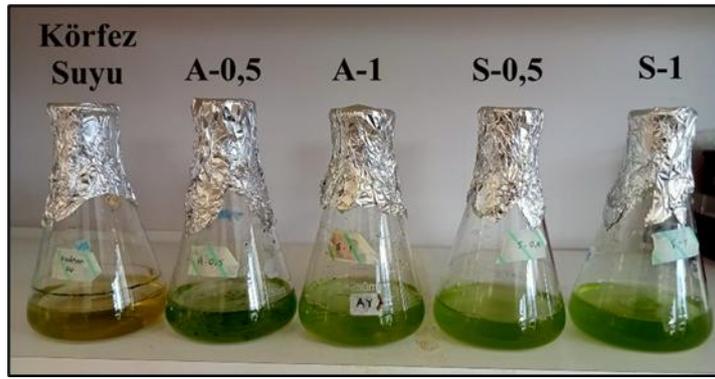
| Numune | Pb | Cd | Cr | As | Al |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Körfez Suyu | 0,256 | 0,09 | 0,088 | 0,069 | 0,266 |
| A-0,125 | <0,01 | 0,03 | 0,035 | <0,01 | <0,01 |
| A-0,25 | <0,01 | 0,036 | 0,042 | <0,01 | <0,01 |

3.4. *Chlamydomonas reinhardtii* Kültürlerinin Geri Eldesi, Lipit ve Karotenoid İçeriği

Su örneklerine sırasıyla yapılan biyokömür ve mikroalg uygulamalarının ardından santrifüj ile sudan ayrıştırılan *Chlamydomonas reinhardtii* hücrelerinin deney düzeneklerine göre son hücre sayısı ve hücresel bileşenleri Çizelge 5’te, düzenekler arasındaki gözlemlenebilir fark ise Görsel 5’te gösterilmektedir. Analiz öncesi yapılan gözlemler ve hücre sayımı sonucunda mikroalgin biyokömür uygulanmamış körfez suyunda neredeyse hiç yaşayamadığı, A-BK uygulamasının ardından ise hücrelerin yoğun strese bağlı olarak kümelenildiği ve bu yüzden son hücre sayımının yapılamayacağı ancak BK uygulanan suda mikroalgin kültürün ilk hali ile neredeyse hiç fark göstermediği tespit edildi. Toplam lipit miktarı da hücre sayısına benzer olarak en fazla S-1 uygulamasının ardından yetiştirilen kültürde ölçüldü. pH değerleri arasında nötre en yakın olanın S-1 uygulaması ardından yetişen mikroalg sonrasındaki su örneği olduğu tespit edildi. Karotenoid ve klorofil içeriği açısından A-BK ve BK uygulamalarında birbirlerine yakın sonuçlar elde edildi. BK uygulamasının, İzmir Körfezi’nde *Chlamydomonas reinhardtii* yetiştirilmeden önce ortamda bulunan gelişmeyi engelleyici kontaminantları ortadan kaldırmada diğerleri arasından en etkili olduğu görüldü. Uygulama oranları arasından S-1 (200 ml su örneğinde 1 g biyokömür) uygulamasının son hücre sayısı ve mikroalg içeriğine etkisi beraber göz önünde bulundurulduğunda çalışmada denenen diğer oranlardan daha verimli olduğuna karar verildi.

Çizelge 5. Farklı Biyokömür Uygulamaları Gerçekleştirilen Su Örneklerinde 1 Hafta Boyunca Yetişen *Chlamydomonas reinhardtii* Hücre Sayısı, Klorofil-Karoten-Lipit Miktarları ve Mikroalg Öncesi-Sonrası Su pH'si

| Numune | pH (Önce) | pH (Sonra) | Hücre Sayısı (1 ml'de) | Chl <i>a</i> (mg/g) | Chl <i>b</i> (mg/g) | Tcar (mg/g) | Lipit (mg/g) |
|-------------|-----------|------------|------------------------|---------------------|---------------------|-------------|--------------|
| Körfez Suyu | 7,77 | 8,24 | $2,5 \cdot 10^5$ | 7,377 | 4,098 | 4,432 | 500 |
| A-0,5 | 7,88 | 8,17 | - | 12,006 | 7,449 | 6,257 | 375 |
| A-1 | 7,95 | 8,06 | - | 9,084 | 6,003 | 5,280 | 111,11 |
| S-0,5 | 9,6 | 7,88 | $5,8 \cdot 10^6$ | 7,207 | 5,571 | 4,781 | 142,86 |
| S-1 | 9,28 | 7,65 | $8 \cdot 10^6$ | 9,891 | 6,831 | 6,002 | 600 |



Görsel 5. Farklı Deney Düzeneklerinde 1 Hafta Büyütülen *C. reinhardtii* Kültürleri

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışmanın sonunda, deniz kirliliği problemine karşı sürdürülebilir ve çok yönlü bir çözüm yolu geliştirildi. A-0,125 aktifleştirilmiş biyokömür uygulaması ile çevre için toksisite vb. tehditler oluşturan Pb, Cd, Cr, As ve Al ağır metallerinin giderimine yönelik önemli bulgular elde edildi. Saf su ortamında çeşitli ağır metalleri adsorbe edebildiği bilinen aktifleştirilmiş biyokömür (A-BK), ulaşılabilen literatüre göre bu çalışma ile deniz suyunda ilk kez uygulandı ve İzmir Körfezi özelinde arıtım potansiyeli değerlendirildi. Biyokömür aynı zamanda bu çalışmada mikroalg öncesi ortam optimizasyonu amaçlı kullanıldı. İzmir Körfezi'nden alınan su örneğinde biyokömür uygulamaları ile *Chlamydomonas reinhardtii* yaşam koşullarını sağlayabilecek deneyler yürütüldü ve verimleri karşılaştırıldı. Optimizasyon sonrası mikroalg; hücre sayısı ve klorofil *a-b*, karotenoid, lipit miktarları bakımından en verimli etkileyen biyokömür uygulamasının S-1 (biyokömür, 1/200 g/ml) olduğu tespit edildi. S-1 uygulaması ile 1 mililitredeki hücre sayısı neredeyse tamamen korundu, en fazla lipit sentezi gözlemlendi ve klorofil *a-b* ile toplam karotenoid değerlerinde biyokömür uygulanmayan sudaki hücrelere göre kayda değer artışlar tespit edildi. Aktifleştirilmiş biyokömür uygulamasının ise *Chlamydomonas reinhardtii* için optimum koşulları sağlayamadığı ve aşırı stres kaynaklı hücre kümelenmelerine neden olduğu görüldü. İzmir Körfezi'nde yürütülen iki aylık bu çalışmada biyokömür ile körfez hem arıtıldı hem de mikroalg gibi başka bir adsorbanla arıtılmaya elverişli hale getirildi. Bu çalışmanın bulgularının, içeriği kompleks olan İzmir Körfezi ve diğer

kirletilmiş ortamların iyileştirilmesi ile çeşitli adsorban mikroalgler için ortam optimizasyonunda biyokömür kullanımı için bir rehberlik sağlaması beklenmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda A-BK ve BK diğer kontamine yüzey su kaynaklarında ağır metal arıtımına yönelik kullanılabilmesi gibi İzmir Körfezi'nin farklı kontaminantlardan arıtımı amacıyla da ele alınabilir. Farklı aktivasyon materyali veya piroliz sıcaklığı deneyerek üretilen biyokömler; ağır metal adsorpsiyonu için değerlendirilebilir ve *Chlamydomonas reinhardtii* öncesi adsorban olarak kullanılabilir. Zeytin budama artığı dışında farklı hammaddelerden üretilen biyokömler aynı amaç doğrultusunda kullanılabilir ancak çevre kirliliğini daha kapsamlı değerlendirmek için artık bir materyal seçilmesi önerilmektedir. *C. reinhardtii* hücrelerinin büyürken sentezlediği lipit ve karotenoidlerin katma değer potansiyelleri ile besin değerleri, biyoyakıt vb. çevre dostu yöntemler ile değerlendirilebilir. Benzer şekilde diğer mikroorganizmaların hücre içinde sentezlediği katma değer potansiyeline sahip ürünlerin eldesi için SAYA metodu kullanılabilir. Çalışma; sürdürülebilir, uygulanabilir, arıtım harici ikincil avantajlara sahip ve çevre kirliliğini birden fazla açıdan ele alıyor olması ile önemli görülmektedir. İzmir Körfezi'nin *C. reinhardtii* ile arıtımı öncesi biyokömür optimizasyonu önü açık ve geliştirilebilir bir metot olarak görülmektedir. Aynı zamanda SAYA metoduna eklenmek üzere yeni su arıtım stratejilerinin de geliştirilmesi önerilmekte ve hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

15 Yıl Önce, 15 Yıl Sonra. (2015, 18 Mart). İzmir Büyükşehir Belediyesi. 23 Kasım, 2024, tarihinde <https://www.izmir.bel.tr/tr/Haberler/15-yil-Once-15-yil-sonra/13220/156> adresinden erişilmiştir.

Akinci, G., Guven, D. E. ve Ugurlu, S. K. (2013). Assessing pollution in Izmir Bay from rivers in western Turkey: heavy metals. *Environmental Science Processes & Impacts*, 15(12), 2252. <https://doi.org/10.1039/c3em00333g>.

Aksu, A. E., Yaşar, D. ve Uslu, O. (1998). Assessment of marine pollution in İzmir Bay: heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments. *DergiPark (Istanbul University)*. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbtkengineering/issue/12197/145458>.

Ali, H. ve Khan, E. (2017). What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term ‘heavy metals’ – proposal of a comprehensive definition. *Toxicological & Environmental Chemistry Reviews*, 100(1), 6–19. <https://doi.org/10.1080/02772248.2017.1413652>.

Atalar, M., Kucuksezgin, F., Duman, M. ve Gonul, L. T. (2013). Heavy metal concentrations in surficial and core sediments from Izmir Bay: an assessment of contamination and comparison against sediment quality benchmarks. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91(1), 69–75. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1008-5>.

Ayele, A., Suresh, A., Benor, S. ve Konwarh, R. (2021). Optimization of chromium(VI) removal by indigenous microalga (*Chlamydomonas* sp.)-based biosorbent using response surface methodology. *Water Environment Research*, 93(8), 1276–1288. <https://doi.org/10.1002/wer.1510>.

Ayhan, F. ve Yazici, H. (2023). İzmir ili nüfusunun gelişimi ve değişimine dair demografik analiz çalışması. *Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 7(2), 273–290. <https://doi.org/10.46452/baksoder.1392186>.

Bauer, T., Minkina, T., Mandzhieva, S., Burachevskaya, M. ve Zharkova, M. (2020). Biochar application to detoxification of the heavy metal-contaminated fluvisols. *E3S Web of Conferences*, 175, 09009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017509009>.

Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S., Ryu, C., Jeon, J., Shin, M., & Park, Y. (2016). Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 40, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>.

Chowdhary, P., Bharagava, R. N., Mishra, S. ve Khan, N. (2019). Role of industries in water scarcity and its adverse effects on environment and human health. *Springer eBooks* (pp. 235–256). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5889-0_12.

Çakal, S., ve Çelik, S. (2021). Türkiye Geneline En Çok Yetiştirilen Tarımsal Ürünlerin Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*. <https://doi.org/10.31202/ecjse.872565>.

Çiçek, G., Sümer, S. K., Egesel, C. Ö., Say, S. M. ve Aydın, A. (2020). Zeytin ağacı budama artık potansiyelinin hesaplanmasına yönelik katsayının belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(2), 313–318. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogva.vi.690022>.

Demirbas, A. ve Arin, G. (2002). An overview of biomass pyrolysis. *Energy Sources*, 24(5), 471–482. <https://doi.org/10.1080/00908310252889979>.

Deng, X., Teng, F., Chen, M., Du, Z., Wang, B., Li, R. ve Wang, P. (2024). Exploring negative emission potential of biochar to achieve carbon neutrality goal in China. *Nature Communications*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45314-y>.

Devrajani, S. K., Ahmed, Z., Qambrani, N. A., Kanwal, S., Sundaram, U. M. ve Mubarak, N. M. (2024). Mechanism of arsenic removal using brown seaweed derived impregnated with iron oxide biochar for batch and column studies. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69117-9>.

Duman, G. (2021). Preparation of novel porous carbon from hydrothermal pretreated textile wastes: Effects of textile type and activation agent on structural and adsorptive properties. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102286. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102286>.

Ekizler, T. (2024, 01 Ekim). *İzmir Körfezi'ndeki kötü koku, Kordon esnafının işlerini olumsuz etkiledi*. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/izmir-korfezindeki-kotu-koku-kordon-esnafinin-islerini-olumsuz-etkiledi/3347264>.

Foça Özel Çevre Koruma Bölgesi. (t.y.). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Özel Çevre Koruma Bölgeleri. 17 Kasım, 2024, tarihinde <https://web.archive.org/web/20180128192017/https://ockb.csb.gov.tr/foca-ozel-cevre-koruma-bolgesi-i-2760> adresinden erişilmiştir.

Folch, J., Lees, M. ve Stanley, G. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497–509. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5).

Gorelova, O., Baulina, O., Ismagulova, T., Kokabi, K., Lobakova, E., Selyakh, I., Semenova, L., Chivkunova, O., Karpova, O., Scherbakov, P., Khozin-Goldberg, I. ve Solovchenko, A. (2018). Stress-induced changes in the ultrastructure of the photosynthetic apparatus of green microalgae. *PROTOPLASMA*, 256(1), 261–277. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1294-1>.

Gotore, O., Masere, T. P. ve Muronda, M. T. (2024). The immobilization and adsorption mechanisms of agro-waste based biochar: A review on the effectiveness of pyrolytic temperatures on heavy metal removal. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 6, 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2024.04.002>.

Guiry, M. D., (2024). How many species of algae are there? A reprise. Four kingdoms, 14 phyla, 63 classes and still growing. *Journal of Phycology*, 60(2), 214–228. <https://doi.org/10.1111/jpy.13431>.

Harris, E. H. (1989). The Chlamydomonas Sourcebook. *Elsevier eBooks*. <https://doi.org/10.1016/c2009-0-02778-0>.

Hernandez-Charpak, Y., Mozrall, A., Williams, N., Trabold, T. ve Diaz, C. (2023). Biochar as a sustainable alternative to carbon black in agricultural mulch films. *Environmental Research*, 246, 117916. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117916>.

İlk Küresel Entegre Deniz Değerlendirmesi: Dünya Okyanus Değerlendirmesi I. (10 Temmuz 2016). UNEP- Birleşmiş Milletler Çevre Programı. <https://www.unep.org/resources/report/first-global-integrated-marine-assessment-world-ocean-assessment-i>.

İzmir Körfezi. (2006, 20 Haziran). *Wikipedia içinde*.

https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0zmir_K%C3%B6rfezi.

İzmir Körfezi'nde "çevre felaketi": Bakanlık belediyeye 1,8 milyon lira ceza kesti. (2024, 10 Eylül). BBC News Türkçe. 23 Kasım, 2024, tarihinde <https://www.bbc.com/turkce/articles/cgm7kzvy8rzo> adresinden erişilmiştir.

Jin, H., Capareda, S., Chang, Z., Gao, J., Xu, Y. ve Zhang, J. (2014). Biochar pyrolytically produced from municipal solid wastes for aqueous As(V) removal: Adsorption property and its improvement with KOH activation. *Bioresource Technology*, 169, 622–629. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.06.103>.

Kaur, D., Pallavi, N., Singh, A., Sarkar, S., Thakur, S. ve Kaur, J. (2024). Biochar: A sustainable tool for soil health, reducing greenhouse gas emissions and mitigating climate change. *Journal of Applied and Natural Science*, 16(3), 1049–1061. <https://doi.org/10.31018/jans.v16i3.5665>.

Koçer, A. ve Kürklü, A. (2018). Zeytin Budama Artıklarının Peletleme ile Değerlendirilmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(2), 67–72. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tarmak/issue/42394/510528>.

Lemenkova, P. (2016, Ekim). *Chemical pollution of coastal waters in the Izmir Bay, Aegean Sea* [Konferans sunumu]. Biodiversity and Evolution, Vladivostok, Russia. [10.6084/m9.figshare.7210214](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7210214).

Lichtenthaler, H. K. ve Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1(1). <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>.

Liu, T., Lawluy, Y., Shi, Y., Ighalo, J. O., He, Y., Zhang, Y. ve Yap, P. (2021). Adsorption of cadmium and lead from aqueous solution using modified biochar: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 106502. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106502>.

Liu, X., Yu, D., Luo, H. ve Li, C. (2022). Green solvents for lipid extraction from microalgae to produce biodiesel. *Frontiers in Chemistry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.884274>.

Mahlangu, D., Mphahlele, K., De Paola, F., & Mthombeni, N. H. (2024). Microalgae-Mediated Biosorption for Effective Heavy Metals Removal from Wastewater: A Review. *Water*, 16(5), 718. <https://doi.org/10.3390/w16050718>

Merchant, S. S., Prochnik, S. E., Vallon, O., Harris, E. H., Karpowicz, S. J., Witman, G. B., Terry, A., Salamov, A., Fritz-Laylin, L. K., Maréchal-Drouard, L., Marshall, W. F., Qu, L., Nelson, D. R., Sanderfoot, A. A., Spalding, M. H., Kapitonov, V. V., Ren, Q., Ferris, P., Lindquist, E., . . . Grossman, A. R. (2007). The Chlamydomonas Genome Reveals the Evolution of Key Animal and Plant Functions. *Science*, 318(5848), 245–250. <https://doi.org/10.1126/science.1143609>.

Mobin, S. M. A., Alam, F. ve Chowdhury, H. (2022). Environmental impact of algae-based biofuel production: A review. *AIP Conference Proceedings*, 2681, 020084. <https://doi.org/10.1063/5.0117093>.

Mosibo, O. K., Ferrentino, G. ve Udenigwe, C. C. (2024). Microalgae proteins as sustainable ingredients in novel foods: Recent developments and challenges. *Foods*, 13(5), 733. <https://doi.org/10.3390/foods13050733>.

Murti, G. W., Rahmawati, N., Valentino, N., Hikmat, H., Firmandoko, B. A., Dwiratna, B., Bangun, H. ve Prasetyo, J. (2024). KOH activated-biochar from oil palm solid wastes via pyrolysis for energy storage application. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 8(1), 39–51. <https://doi.org/10.32493/jitk.v8i1.37710>.

Nazaripour, M., Reshadi, M. A. M., Mirbagheri, S. A., Nazaripour, M. ve Bazargan, A. (2021). Research trends of heavy metal removal from aqueous environments. *Journal of Environmental Management*, 287, 112322. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112322>.

Oxford University. (t.y.) Kirlilik. *A Dictionary of Chemistry* içinde. 2 Kasım, 2024, tarihinde <https://doi.org/10.1093/acref/9780198841227.001.0001> adresinden erişilmiştir.

Phiri, J. T. ve Oh, S. (2024). Biosorption of Cd(II), Co(II), and Cu(II) onto microalgae under acidic and neutral conditions. *Sustainability*, 16(15), 6342. <https://doi.org/10.3390/su16156342>.

Phiri, Z., Moja, N. T., Nkambule, T. T., & De Kock, L. (2024b). Utilization of biochar for remediation of heavy metals in aqueous environments: A review and bibliometric analysis. *Heliyon*, 10(4), e25785. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25785>.

Sabikoglu, I. (2021). Statistical analysis and susceptibility properties of heavy/light metal pollution in surface seawater of Izmir Bay. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(38), 54048–54056. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14607-w>.

Shah, S. B. (2021). Heavy metals in the marine environment—An overview. *SpringerBriefs in earth sciences* (pp. 1–26). https://doi.org/10.1007/978-3-030-73613-2_1.

Shi, T., Wang, L., Zhang, Z., Sun, X. ve Huang, H. (2020). Stresses as first-line tools for enhancing lipid and carotenoid production in microalgae. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00610>.

Singh, V. (2024). Water pollution. *Textbook of Environment and Ecology* (253–266). https://doi.org/10.1007/978-981-99-8846-4_17 erişim tarihi 02.11.2024

Talas, E., Duman, M., Eronat, A. H. ve Küçüksezgin, F. (2023). Multi-index assessment of sea bottom sediments of the Izmir Gulf, Aegean Sea: A study of interrelation between anthropogenic and hydrodynamic effects. *Marine Pollution Bulletin*, 194, 115293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115293>.

Tekeli, İ. (2017). İzmirliilerin Denizle İlişisini Güçlendirmekte Uygulanacak Tasarım Stratejisi (İZMİR-DENİZ PROJESİ). Metu. https://www.academia.edu/32339109/%C4%B0zmirlilerin_Denizle_%C4%B0li%C5%9Fkisini_G%C3%BC%C3%A7lendirmekte_Uygulanacak_Tasar%C4%B1m_Stratejisi_%C4%B0Z_M%C4%B0R-DEN%C4%B0Z_PROJES%C4%B0

Texas Disposal Systems. (2024, 2 Şubat). Ocean pollution: causes, effects, prevention. <https://www.texasdisposal.com/blog/ocean-pollution-causes-effects-and-prevention/>

Tripathi, M., Sahu, J. ve Ganesan, P. (2015). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (t.y). Tarımsal üretim istatistikleri. 13 Kasım, 2024, tarihinde <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> adresinden erişildi.

Ye, Q., Li, Q. ve Li, X. (2022). Removal of heavy metals from wastewater using biochars: adsorption and mechanisms. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 34(1), 385–394.

<https://doi.org/10.1080/26395940.2022.2120542>.

Yıldırım, A. (2024). Effect of the streptomycin removal process on metabolite profile of *Chlamydomonas reinhardtii*: the potential of antibiotic stress on lipid production for biodiesel. *Journal of Applied Phycology*. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03393-w>.

Yuan, S. ve Tan, Z. (2021). Effect and mechanism of changes in physical structure and chemical composition of new biochar on Cu(II) adsorption in an aqueous solution. *Soil Ecology Letters*, 4(3), 237–253. <https://doi.org/10.1007/s42832-021-0102-6>.

Wang, J. ve Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1002–1022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>.

Wang, Y., Li, H., & Lin, S. (2022). Advances in the study of heavy metal adsorption from water and soil by modified biochar. *Water*, 14(23), 3894. <https://doi.org/10.3390/w14233894>.

Willis, K. A., Serra-Gonçalves, C., Richardson, K., Schuyler, Q. A., Pedersen, H., Anderson, K., Stark, J. S., Vince, J., Hardesty, B. D., Wilcox, C., Nowak, B. F., Lavers, J. L., Semmens, J. M., Greeno, D., MacLeod, C., Frederiksen, N. P. O. ve Puskic, P. S. (2021). Cleaner seas: reducing marine pollution. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32(1), 145–160. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09674-8>.

YAYGIN OLARAK KULLANILAN GIDA BOYALARI VE ANALİTİK TAYİNLERİ COMMONLY USED FOOD DYES AND THEIR ANALYTICAL DETERMINATIONS

Prof. Dr. Nail ALTUNAY

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, naltunay@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-9053-7570

Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, seckinf@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0009-0003-3584-3868

ÖZET

Gıda talebinin artışı gıda endüstrisinde gıda boyalarının kullanımındaki artışı beraberinde getirmiştir. Gıda endüstrisi gıda boyalarını ürünün albesini artırmak ve ürünün renk tonunu ayarlamak için sıklıkla kullanmaktadır. Bu durum gıda endüstrisinin üretim hedefleri açısından her ne kadar olumlu görülsede, insan sağlığı aleyhine birçok problem ortaya çıkmaktadır. Özellikle bazı sentetik boyaların aşırı miktarları ve uygun olmayan koşullarda kullanımı ciddi sağlık problemleri doğurmaktadır. Bu problemler çoğu zaman yüksek toksisite ve karsinojenite ile karakterizedir. Dolayısıyla, gıda boyalarının analitik tayini insan sağlığı açısından ciddi derecede önemlidir. Mevcut çalışmada, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan gıda boyalarının bazılarının (Tartrazin, Allura Red, Sunset Yellow, Brilliant Blue) tayininde kullanılan analitik yöntemler genel bağlamda değerlendirilmiştir. Bu yöntemler kapsamında kullanılan Spektrofotometrik, kromatografik ve elektrokimyasal yöntemler incelenerek literatürde yapılan çalışmalara örnekler verilmiştir. Ayrıca, yöntemlerin çevresel yönlerine de kısaca değinilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışma gıda boyalarıyla ilgili bilgilendirici olduğu gibi, gıda boyalarıyla ilgili analitik süreci anlatmasıyla da ilgili de çok yönlü olma özelliğine sahiptir.

Anahtar Kelimeler : Gıda boyaları, Spektrofotometri, Kromatografi, Analitik prosedürler

ABSTRACT

The increase in food demand has led to an increase in the use of food dyes in the food industry. The food industry frequently uses food dyes to enhance the appearance of products and adjust their color tone. Although this may seem positive in terms of the food industry's production goals, it raises many issues that are detrimental to human health. In particular, excessive amounts of certain synthetic dyes and their use under inappropriate conditions cause serious health problems. These problems are often characterized by high toxicity and carcinogenicity. Therefore, the analytical determination of food dyes is critically important for human health. In this study, analytical methods used in the determination of some food dyes (Tartrazine, Allura Red, Sunset Yellow, Brilliant Blue) commonly used in the food industry were evaluated in a general context. Spectrophotometric, chromatographic, and electrochemical methods used within the scope of these methods were examined, and examples from studies in the literature were provided. In addition, the environmental aspects of the methods are briefly discussed. Therefore, this study is informative about food dyes and also has the characteristic of being multifaceted in that it describes the analytical process related to food dyes.

Keywords: Food dyes, Spectrophotometry, Chromatography, Analytical procedures

1. GİRİŞ

Gıda boyaları modern zamanın en çok kullanılan gıda katkı maddelerindedir. Ürünlerin raf ömrünü uzatmak, müşteride ilgili ürün için beğeni oluşturmak ve renk ton ayarlaması için gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. İnsanların beğeni duygularına olumlu bir şekilde hitap etse de, gıda boyalarının aşırı ve bilinçsiz bir şekilde kullanımı birçok sağlık sorunu doğurmaktadır.

Gıda boyaları kaynağına göre doğal gıda boyaları ve sentetik gıda boyaları olarak sınıflandırılmaktadır. Doğal gıda boyaları bitkisel, hayvansal veya mineral kökenli olup sağlık açısından daha güvenlidir. Doğal kökenli gıda boyaları çevresel ve kimyasal koşullara karşı dirençsiz oldukları için gıda endüstrisinde daha çok sentetik gıda boyaları kullanılmaktadır. Kararlılıklarının yanı sıra sentetik boyalar düşük maliyet ve yüksek renk yoğunluğu gibi avantajlara da sahip olmalarına rağmen biyolojik sistemlerde oluşturdukları ürünler çoğu zaman sağlığa zararlıdır. Bu zararlardan kullanımlarına bazı düzenlemeler getirilmiştir.

Gıda güvenilirliğinin test edilmesi ve oluşacak zararların önlenmesi amacıyla gıda boyalarının farklı örneklerden analitik tayininin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, mor ötesi görünür bölge (UV-Vis) spektrofotometri, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), elektrokimyasal yöntemler ve kapiler elektroforez (CE) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin seçiminde gıda boyasının kimyasal yapısı, duyarlılık, seçicilik, maliyet ve analitik enstrümanın bulunabilirliği gibi kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Günümüzde artan çevre ve sağlık endişeleri göz önüne alındığında, analitik prosedürlede karşılanması gereken bir diğer kriter de yeşillik kriteri olmuştur. Bu kapsamda geliştirilen analitik teknikler Yeşil Analitik Kimya'nın ilkelerini dikkate almaktadır.

Bu çalışmada, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan sentetik boyalar ve bu boyaların tayininde kullanılan analitik teknikler genel bağlamda incelenmiştir. Ayrıca yeşil kapsamdaki analitik metotlarda genel eğilimlere değinilmiş ve gelecek açısından değerlendirilmiştir.

2. GIDA BOYALARININ SINIFLANDIRILMASI

2.1. Doğal Gıda Boyaları

Üst satırlarda bahsedildiği gibi, doğal gıda boyaları bitkisel, hayvansal veya mineral kökenli ve düşük toksisiteli bileşiklerdir. Bitkisel kaynaklı pigmentler arasında karotenoidler (beta karoten; havuç), antosiyaninler (siyanidin, delfinidin; üzüm kabuğu, nar) betalainler (betasiyaninler; kırmızı pancar) ve klorofiller (klorofil türevleri; yeşil sebzeler) öne çıkmaktadır. Bu boyalar sebze, meyve ve kök ekstraktlarından elde edilmektedir ve toksik etkileri minimum düzeydir (Downham & Collins, 2000). Hayvansal kaynaklı boyalara karmin örnek verilebilir. Doğal boyalar ısı, ışık ve pH gibi etkilere karşı dayanıksız oldukları için kullanımları sınırlıdır (Sigurdson, Tang & Giusti, 2017).

2.2. Sentetik Gıda Boyaları

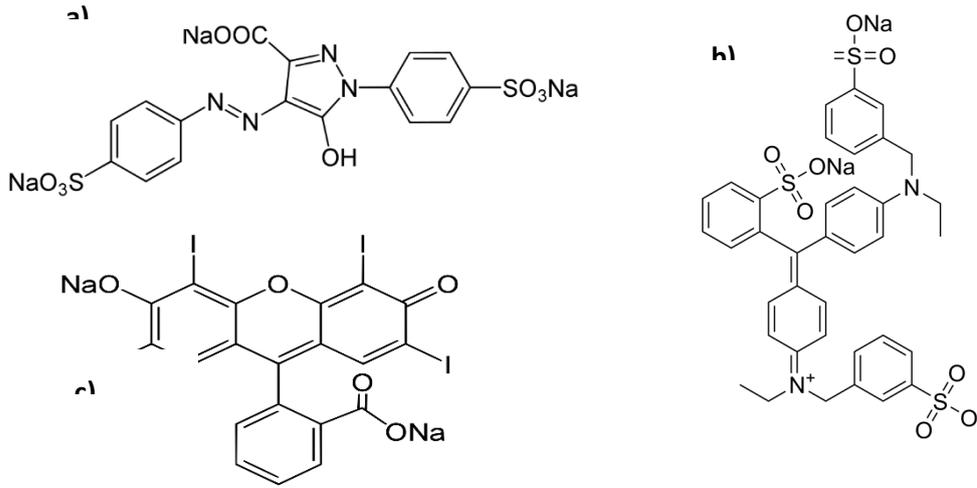
Sentetik gıda boyaları aromatik organik bileşikler kategorisindedir. Bu boyalar renk skalalarının geniş, maliyetlerinin düşük ve yüksek çözünürlükleri sayesinde avantajlıdır. Yaygın olarak kullanılan sentetik boyaların büyük çoğunluğu aşağıdaki gibi gruplanmaktadır. Bu gruplama kimyasal yapılarına göre yapılmıştır.

Azo boyalar: Bu grup en yaygın gruptur ve $-N=N-$ kromofor grubunu içeren aromatik türevi olmalarından dolayı azo boyalar olarak adlandırılmaktadır. Azo bağı ve konjuge π sistemlerinden dolayı azo boyalar görünür bölgede güçlü absorpsiyon yapmaktadır. Tartrazin (E102), Sunset Yellow FCF (E110) ve Allura Red AC (E129) gibi boyalar bu gruptadır (Glória & Fernandes, 2004).

Triarilmetan boyalar: Triaril metan boyalar katyonik yapıda olup yüksek molar absorptivite katsayılarına sahiptir. Bu sayede düşük derişimlerini bile tayin etmek mümkündür. Brilliant Blue FCF (E133) bu gruba örnektir (Miniotti vd., 2007).

Ksanten ve indigoid boyalar: Ksanten boyalar, ksanten (üç aromatik halkalı eter grubu) türevi bileşiklerden oluştuğu için bu isimlendirmeyi almaktadır. Erythrosine (E127) en önemli ksanten grubu sentetik boyadır. İndig boyalar ise iki indoksil halkasının bir çift bağ ile birleştiği fonksiyonel yapılardan oluşmaktadır. İndigo carmine (E132) bu sınıfta yer almaktadır. İndigo boyalar yapısındaki bağlardan dolayı redoks reaksiyonlarına yatkın olup elektrokimyasal olarak aktiftir (Shabir vd., 2018).

Gıda boyaları analitik açıdan değerlendirildiğinde çözünürlük, pKa, polarite, absorpsiyon maksimumu (λ_{max}) ve stabilite gibi özellikler göz önünde bulundurulmalıdır. Örnek olarak; azo boyalar genellikle suda çözünür tuz formunda bulunurken, triarylmethane boyalar yapısı gereği daha çok organik çözücülerde çözünmektedir. Bu boyalar genelde genellikle 400–600 nm aralığında maksimum absorpsiyon verdiği için spektrofotometrik olarak tayin edilmeleri kolaydır. Absorpsiyon maksimumlarının çakıştığı durumlarda ise türev spektroskopisi veya HPLC gibi kromatografik yöntemler kullanılır (Shindhal vd., 2021; Bafana vd., 2011; Pizarro vd., 2016).



Şekil 1. Tartrazin (a), Brilliant Blue FCF (b) ve Eritrosin (c) gıda boyalarının yapısı

3. GIDA BOYALARININ ANALİTİK TAYİNİ

Gıda boyalarının analitik tayini kalite kontrol ve gıda güvenliğinin değerlendirilmesi için oldukça önemlidir. Uygun yöntemin seçiminde, boyanın kimyası, matriksin yapısı ve istenen duyarlılık düzeyi belirleyici olmaktadır. Literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler, UV-Vis spektrofotometri, HPLC, kapiler elektroforez (CE) ve elektrokimyasal teknikler yer almaktadır.

3.1. Spektrofotometrik Yöntemler

Spektrofotometri, basit, düşük maliyetli ve çeşitli uygulama alanı sebebiyle farklı gıda katkı maddelerinde olduğu gibi gıda boyalarının analitik tayininde de sıklıkla kullanılmaktadır. Karışım halindeki boyaların toplam absorbansından faydalanılarak renk yoğunluğunun belirlenmesinde veya karışımdaki türlerin ayrı ayrı derişimlerini hesaplamada tercih edilmektedir. Kullanılan spektrofotometrelerin çoğu laboratuvarında bulunması da bu teknikleri oldukça avantajlı kılmaktadır. Buna rağmen, seçicilik sınırlı olup, benzer türdeki boyaların spektrofotometrik ayrımı belirli durumlarda zor olmaktadır. Bu durum ayırma ve zenginleştirme tekniklerinin kullanımıyla aşılabilmektedir (Fesliyan & Elik, 2024).



Şekil 2. Bir UV-Vis spektrofotometre

3.2. Kromatografik Yöntemler

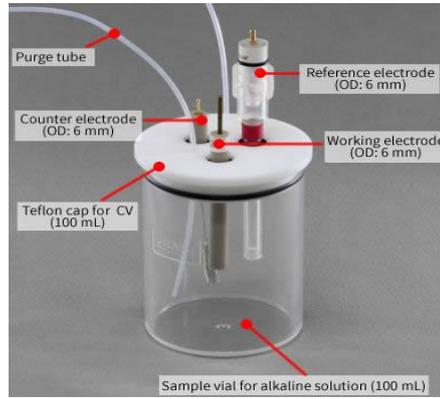
HPLC, gıda boyalarının tayininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerekli duyarlılığın sağlanması için UV veya diyot dizisi dedektörü (diode-array dedektör, DAD) ile kombine edilen HPLC sistemleri, bu konfigürasyonlarıyla yüksek duyarlılık ve seçicilik sergilemektedir. HPLC’de farklı elüsyon türleri kullanılmaktadır. Bu bağlamda, mobil faz bileşimi analiz boyunca değiştirilerek veya sürekli sabit tutularak istenen boya türleri karışımdan ayrılabilir. Buna ek olarak, uygun kolon türünün seçimi de bu ayırmayı etkin kılan diğer bir faktördür. Örnek olarak, tartazin, sunset yellow ve allura red gibi azo boyalar genelde C18 kolonlarda ve asetonitril/su (% 0,1 fosforik asit) mobil faz karışımıyla ayrılmaktadır (Park vd., 2024). HPLC tekniğinde en iyi sonuçlar kütle spektrometresi ile kombine sistemlerde elde edilmektedir (HPLC-MS veya HPLC MS/MS). Kütle spektrometresi, HPLC kolonundan çıkan boyaları kütle/yük oranına göre tespit ederek yüksek doğruluk ve duyarlılık sağlar. HPLC’de kullanılan organik çözücüler nispeten yüksek miktardadır ve bu çözücüler toksik olabilir. Geliştirilecek analitik yöntemlerin yeşil etkileri bu bağlamda ele alınmalıdır (Bonan vd., 2013; Ntrallou vd., 2020).



HPLC Cihazının görünümü

3.3. Elektroanalitik Yöntemler

Özellikle voltametrik teknikler gıda boyaların tayininde sıklıkla kullanılmaktadır. Önceki satırlarda da bahsettiğimiz gibi, gıda boyalarının elektro aktif yapıları (redoks reaksiyonları vermeleri) onları bu tekniklerle tayin edilebilir kılmaktadır. Karmaşık ve pahalı cihaz kullanımı gerektirmediği gibi, çözücü tüketimi düşük ve hızlı teknikler olmalarıyla elektroanalitik yöntemler oldukça avantajlıdır. Elektroaktif birçok türün bulunduğu ortamdan yalın elektronlar düşük seçicilik gösterse de elektrot yüzeyi modifiye edilerek analitten gelen sinyaller etkin bir şekilde artırılabilir (Christ-Ribeiro vd., 2022). Fakat bu elektrot yüzeylerinin tekrarlanabilirliğinin zamanla azalabiliyor ve kararsızlaşabiliyor olması dezavantaj oluşturabilmektedir. Ayrıca doğrusal aralığın dar olması gıda boyaların tayininde bazı sınırlamalara sebebiyet verebilir (Dilgin, 2025).



Şekil 3. Bileşenleriyle birlikte bir voltammetrik hücre

3.4. Kapiler Elektroforez

Kapiler elektroforez (CE), boyaların yük ve büyüklük farkına (yük/kütle oranına) göre ayırmak için elektrik alanı kullanılmaktadır. Analiz için düşük örnek tüketimi ile kısa analiz süresi sunmaktadır. Ancak cihaz maliyeti ve metodun optimizasyon gereksinimi nedeniyle bazı sınırlamaları vardır. Ayrıca, elektroozmotik akış (EOF), sıcaklık, kapiler yüzey kalitesi ve tampon bileşimindeki çok küçük değişikliklere karşı bile hassastır (Saldan vd., 2022).

3.5. Yöntemlerin Analitik Parametreler Açısından Değerlendirilmesi

Duyarlılık

Duyarlılık, analitin derişimindeki küçük değişikliklere karşı yöntemin verdiği yanıt olarak değerlendirilmektedir. Gıda boyaları tayininde genellikle tespit sınırlarının $\mu\text{g L}^{-1}$ seviyesinde olması hedeflenir.

Spektrofotometrik yöntemlerde cihaz konfigürasyonuna bağlı olarak genel olarak 10^{-5} - 10^{-6} mol L^{-1} aralığında tespit limiti elde edilebilmektedir. HPLC-DAD ile bu değerler 10^{-7} mol L^{-1} seviyelerine kadar, HPLC-MS/MS ile ise 10^{-8} ve 10^{-9} mol L^{-1} seviyelerine çekilebilmektedir. Elektrokimyasal tekniklerde ise özellikle nanomalzeme ile modifiye edilmiş elektrotlarda 10^{-10} mol L^{-1} tespit limitleri elde edilebilir (Talath & Hani, 2024; Easterling vd., 2020)

Seçicilik

Seçicilik, geliştirilen yöntemin hedef analiti mevcut matris ortamında tespit edebilme yeteneğinin bir ölçüsüdür.

- UV-Vis, benzer kimyasal yapıya sahip boyaaların (matristeki benzer kimyasal türler) absorpsiyon bantlarında örtüşme olabileceği için, yeterli ayırma sağlanmayabilir. Ayırma zenginleştirme yöntemleri bu sorunu azaltabilmektedir (Thomsen vd, 2003).
- Kromatografik teknikler ise seçicilik açısından en güçlü tekniklerdir. Mobil fazın pH'sı, iyonik güç ve kolon türü gibi faktörlerin optimize edilmesi boya-sabit faz ve boya-hareketli faz etkileşimlerinin ölçüsünü değiştirebildiği için seçicilik daha fazladır (Escarpa & Gonzalez,1998).
- Kapiler elektroforezde ayırma tayin edilecek türlerin elektroforetik hareketliliklerine ve tampon çözeltideki hidrodinamik boyutlarına göre gerçekleştiği için seçicilik yüksektir. Ancak, tampon çözeltinin bileşiminin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Tampon çözelti bileşimi ayırma verimini artırdığı gibi, karmaşık matrislerde matris bileşenlerinin iyonik girişimlerine sebebiyet verebilir
- Elektrokimyasal sensörlerde seçicilik, elektrot yüzeyinin modifikasyonun bir fonksiyonudur. Uygun şekilde modifiye edilmiş ensörlerle (elektrotlarla), geniş bir yüzey alanı elde edilebilir ve analitin sebep olduğu akımın artırılmasıyla seçicilik de artırılabilir. Aynı zamanda sinyal/gürültü oranı da iyileştirilmektedir (Cao & Niu, 2025).

Matris Etkisi

Gıda örnekleri kompleks matris yapılarıyla bilinmektedir. Özellikle yapıda bulunan şekerler, organik asitler ve kullanılan koruyucular analitin sinyaline girişim yapabilmektedir. Hangi enstrüman kullanılırsa kullanılsın matris girişimi yöntemin analitik parametrelerini etkileyen ,önemli ve belirgin bir sorundur. Bu sorunun giderilmesi, analiz öncesi ayırma ve zenginleştirme tekniklerinin kullanımıyla giderilmektedir. Matris ortamından uzaklaştırılıp daha düşük bir faza ayrılan ve zenginleştirilen analitin tayini analitik prosedürün en önemli aşamasıdır. Literatürde bu amaçla en çok öne çıkan teknikler mikroekstraksiyon teknikleridir. Bu teknikler analitik parametrelerin iyileştirmesini sağlamakla kalmaz, analitik prosedürlere yeşil bir karakter kazandırır (Fesliyan vd., 2025).

Tablo 1. Literatürde gıda boyalarının tayin edildiği çalışmalar

| Gıda Boyası | Örnek | Mikroekstraksiyon Tekniği | Tayin Tekniği | LOD | Kaynak |
|---|---|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Rhodamine B | Şeker, içecek, puding, şurup | DLLME | UV-Vis spektrofotometri | 3.5 µg L ⁻¹ | Duman vd., 2020 |
| Ponceau 4R, Carmoisine, Erythrosine | Şeker | LLME | HPLC | 0.05–0.1 µg L ⁻¹ | Salamat vd., 2018 |
| Rhodamine B | Sabun, tekstil boyası, musluk suyu | DLLME | UV-Vis spektrofotometri | 1.05 µg L ⁻¹ | Taziki vd., 2012 |
| Rhodamine B | İçecekler, acı biber yağı | SPME | HPLC | 0.28 ng mL ⁻¹ | Xu vd., 2016 |
| Malachite Green | çiftlik ve süs akvaryum balıkları su numunesi | LLME | UV-Vis spektrofotometri | 3.6 µg L ⁻¹ | Aydin vd., 2017 |
| Amaranth, Ponceau 4R, Allura red, Azorubine, Erythrosine, Thymol | İçecekler, jöle, çikolata | DLLME | HPLC | 0.01–0.08 µg L ⁻¹ | Faraji, 2019 |
| Erythrosine, amaranth, ponceau 4R, | Farklı gıda örnekleri | - | CE-LID | (0.2-0.5 µg mL ⁻¹) | Ryvolová vd., 2007 |
| Tartrazine, sunset yellow, brilliant blue, sunset yellow | İçecek örnekleri | - | Diferansiyel puls voltammetri | 13.1-143 nmol L ⁻¹ | Medeiros vd., 2012 |

4. SONUÇ

Bu çalışmada, gıda boyaları analitik bağlamda genel hatlarıyla incelenmiştir. Gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılan sentetik boyaların tayininde kullanılan analitik yöntemler belirli analitik parametreler açısından değerlendirilmiştir. Mevcut çalışma ışığında, gıda boyaları HPLC ve elektrokimyasal tekniklerin daha düşük tespit limitleri ve yüksek doğruluk vaat etmeleriyle öne çıktığı söylenebilir. Ancak özellikle HPLC’de nispeten toksik çözücülerin diğer tekniklere göre çok daha yüksek miktarlarda kullanımı çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri açısından olumsuz karşılanabilir. UV-Vis spektrofotometri, birçok yönden avantaj sağlamaktadır. Spektrofotometrenin uygun maliyetli olması bu cihazı çoğu laboratuvarında kolaylık erişilebilir kılmaktadır. Ayrıca, spektrofotometrenin kullanımı oldukça basittir. UV-Vis spektrofotometri kullanılarak çok düşük miktarlarda çözücülerin kullanıldığı minimalist analitik prosedürlerin geliştirilmesi de mümkündür. Ayırma zenginleştirme tekniklerinin kullanımıyla birlikte yöntemin analitik parametreleri de önemli derecede iyileşmektedir. Gıda boyalarının analizi ile ilgili sürece genel bağlamda değinilen bu çalışma ele aldığı noktalar açısından yöntem seçiminde faydalı olabilir ve konu hakkında genel kapsamda bir bakış sunabilir.

KAYNAKLAR

- Downham, A., & Collins, P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. *International journal of food science & technology*, 35(1), 5-22.
- Sigurdson, G. T., Tang, P., & Giusti, M. M. (2017). Natural colorants: Food colorants from natural sources. *Annual review of food science and technology*, 8(1), 261-280.
- Glória, M. B. A., & Fernandes, C. (2004). Synthetic colorants. *FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER-*, 138(2), 1513.
- Minioti, K. S., Sakellariou, C. F., & Thomaidis, N. S. (2007). Determination of 13 synthetic food colorants in water-soluble foods by reversed-phase high-performance liquid chromatography coupled with diode-array detector. *Analytica Chimica Acta*, 583(1), 103-110.
- Shabir, G., Saeed, A., & Ali Channar, P. (2018). A review on the recent trends in synthetic strategies and applications of xanthene dyes. *Mini-Reviews in Organic Chemistry*, 15(3), 166-197.
- Shindhal, T., Rakholiya, P., Varjani, S., Pandey, A., Ngo, H. H., Guo, W., ... & Taherzadeh, M. J. (2021). A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater. *Bioengineered*, 12(1), 70-87.
- Bafana, A., Devi, S. S., & Chakrabarti, T. (2011). Azo dyes: past, present and the future. *Environmental Reviews*, 19(NA), 350-371.
- Pizarro, A. H., Molina, C. B., & Rodriguez, J. J. (2016). Decoloration of azo and triarylmethane dyes in the aqueous phase by catalytic hydrotreatment with Pd supported on pillared clays. *RSC Advances*, 6(115), 113820-113825.
- Bonan, S., Fedrizzi, G., Menotta, S., & Elisabetta, C. (2013). Simultaneous determination of synthetic dyes in foodstuffs and beverages by high-performance liquid chromatography coupled with diode-array detector. *Dyes and Pigments*, 99(1), 36-40.
- Ntrallou, K., Gika, H., & Tsochatzis, E. (2020). Analytical and sample preparation techniques for the determination of food colorants in food matrices. *Foods*, 9(1), 58.
- Park, J., Cho, Y. S., Seo, D. W., & Choi, J. Y. (2024). An update on the sample preparation and analytical methods for synthetic food colorants in food products. *Food Chemistry*, 459, 140333.

Christ-Ribeiro, A., Maciel, J. V., Bier, E. M., Pinto, J. S., & Dias, D. (2022). Application of electrochemical sensors in the determination of synthetic dyes in foods or beverages and their toxicological effects on human health: a review. *Food Analytical Methods*, 15(9), 2394-2413.

Dilgin, D. G. A Review on the Simultaneous Electrochemical Determination of Azo Dyes Used as Colorants in Foods and Beverages. *Akademik Gıda*, 23(3), 231-245.

Saldan, A., Król, M., Woźniakiewicz, M., & Kościelniak, P. (2022). Application of capillary electromigration methods in the analysis of textile dyes. *Molecules*, 27(9), 2767.

Fesliyan, S., & Elik, A. (2024). A deep eutectic solvent-based microextraction method for the extraction of Erythrosine from complex samples: statistical approach. *Journal of Food Composition and Analysis*, 135, 106605.

Talath, S., & Hani, U. (2024). Spectrophotometric methods in pharmaceutical analysis: principles, reagents, and applications. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 34(3).

Easterling, L. F., Yerabolu, R., Kumar, R., Alzarini, K. Z., & Kenttämaa, H. I. (2020). Factors affecting the limit of detection for HPLC/tandem mass spectrometry experiments based on gas-phase ion–molecule reactions. *Analytical Chemistry*, 92(11), 7471-7477.

Thomsen, V., Schatzlein, D., & Mercurio, D. (2003). Limits of detection in spectroscopy: a diagrammatic view of the concept of detection limits is presented that effectively shows its relationship to the reproducibility of measurements on the blank. *Spectroscopy*, 18(12), 112-115.

Escarpa, A., & Gonzalez, M. C. (1998). High-performance liquid chromatography with diode-array detection for the determination of phenolic compounds in peel and pulp from different apple varieties. *Journal of chromatography A*, 823(1-2), 331-337.

Cao, B., & Niu, Q. (2025). Electrochemical detection of nanomaterial runoff from synthetic sports surfaces using graphene oxide-based sensors. *Microchemical Journal*, 115357.

Fesliyan, S., Bişgin, A. T., & Altunay, N. (2025). Preparation and testing of green solvents for reliable determination of nitrite in processed meat products: statistical analysis and dispersive liquid-phase microextraction. *Food Chemistry*, 145722.

Medeiros, R. A., Lourenco, B. C., Rocha-Filho, R. C., & Fatibello-Filho, O. (2012). Simultaneous voltammetric determination of synthetic colorants in food using a cathodically pretreated boron-doped diamond electrode. *Talanta*, 97, 291-297.

Ryvolová, M., Táborský, P., Vrábel, P., Krásenský, P., & Preisler, J. (2007). Sensitive determination of erythrosine and other red food colorants using capillary electrophoresis with laser-induced fluorescence detection. *Journal of chromatography A*, 1141(2), 206-211.

ANALİTİK PROSEDÜRLERİN YEŞİL PROFİLİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN ARAÇLAR

TOOLS USED IN EVALUATING THE GREEN PROFILE OF ANALYTICAL PROCEDURES

Prof. Dr. Nail ALTUNAY

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, naltunay@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-9053-7570

Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, seckinf@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0009-0003-3584-3868

ÖZET

Analitik prosedür geliştirme süreci, doğası gereği birtakım endişeler barındırmaktadır. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de birçok yankı uyandıran bu endişeler çoğunlukla çevre ve sağlık ile ilgilidir. Bu süreç, analitik parametrelerin önemi kadar ‘‘yeşil’’ kavramının da analitik prosedürler için büyük bir önem ifade etmesine yol açmıştır. Çevre ve araştırmacı sağlığını korumayı amaçlayan Yeşil Analitik Kimya yaklaşımı, analitik prosedürler için karşılanması gereken 12 ilkeyi tanıtmıştır. Bu sürecin devamında ise analitik prosedürlerin yeşil karakterinin değerlendirilmesini amaçlayan farklı araçlar geliştirilmiştir. NEMI, Analytical Eco-Scale, GAPI, AGREE ve ComplexGAPI bu araçların en önemlileridir. Bu çalışmada bahsi geçen araçlar kapsam, parametreler ve kullanılabilirlik açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Diğerlerine göre belirgin üstünlükler sergileyen araçlar olsada, çoğu zaman geliştirilecek prosedürün kapsamına ve hedeflenen çevresel etkilerin boyutuna göre doğru araç seçimi yapılabilmektedir. Bu çalışmada bahsi geçen araçlar karşılaştırmalı olarak inceleneceği için okuyuculara yol haritası sağlanması ve analitik prosedürlerin çevresel performansının değerlendirmesinde farkındalık oluşturulması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Yeşil analitik kimya, Sürdürülebilirlik, AGREE, GAPI

ABSTRACT

The analytical procedure development process inherently involves certain concerns. As in the past, these concerns, which continue to generate significant discussion today, are mostly related to the environment and health. This process has led to the concept of “green” becoming as important as analytical parameters in analytical procedures. The Green Analytical Chemistry approach, which aims to protect the environment and researcher health, has introduced 12 principles that must be met for analytical procedures. Subsequently, various tools have been developed to evaluate the green character of analytical procedures. NEMI, Analytical Eco-Scale, GAPI, AGREE, and ComplexGAPI are the most important of these tools. This study comparatively examines the aforementioned tools in terms of scope, parameters, and usability. Although some tools demonstrate clear advantages over others, the right tool can often be selected based on the scope of the procedure to be developed and the scale of the targeted environmental impacts. As the tools mentioned in this study will be examined comparatively, the aim is to provide readers with a roadmap and raise awareness in the assessment of the environmental performance of analytical procedures.

Keywords: Green analytical chemistry, Sustainability, AGREE, GAPI

1. GİRİŞ

Son yıllarda, analitik kimyacılar tarafından geliştirilen analitik prosedürlerin temel odak noktasının çevresel sürdürülebilirlik olduğu görülmektedir. Doğruluk, duyarlılık, tekrarlanabilirlik gibi analitik parametrelerin verimliliğinin yanı sıra, yöntemin yeşilliğinin karşılanması da temel amaçlardandır. Bunun sebepleri hiç şüphesiz çalışmalarda kullanılan reaktiflerin toksisitesi, enerji ihtiyacının artması, atık ve yan ürünlerin miktarca fazla olması gibi durumlardır (Armenta vd., 2015). Bu durumlara sebep olan kimyasal aktivitelerin olumsuz sonuçlarına alınacak önlemler ise önemli hale gelmiştir. Kimyasal süreçlerin olumsuz sonuçları azaltmak için Anastas ve Warner 1998 yılında Yeşil Kimya yaklaşımını ve bu yaklaşımın 12 ilkesini tanıtmıştır (Anastas & Warner, 1998).

Çevre ve sağlık açısından birçok olumsuz sonuç doğurma potansiyeli taşıyan analitik süreçlerden dolayı, Yeşil Kimya'nın ilkelerinin analitik kimyaya kapsamında oluşturulmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu gereklilik ise kendisini Yeşil Analitik Kimya (Green Analytical Chemistry, GAC) olarak göstermiştir. GAC'ın 12 ilkesi 2013 yılında Galuszka ve çalışma arkadaşları tarafından tanıtılmıştır (Galuszka vd., 2013). Bu ilkeler özetle; kimyasal tüketimin azaltılması, toksik reaktiflerin çevre dostu alternatifleriyle değiştirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması, atık miktarının düşürülmesi ve yerinde analizlerin yapılmasını teşvik etmektedir.

GAC, 12 ilkesi ile yeşil bir analitik yöntemin sahip olması gerekenleri etkin bir şekilde anlatsa da, o dönemde analitik prosedürün yeşillik derecesinin ölçülmesi gibi bir eksiklik mevcuttu. Dolayısıyla, yeşillik derecesinin kişisel olmayan sistematik bir ölçümü için belirli araçların geliştirilmesi önemli bir ihtiyaç olmuştur. Bu ihtiyacın karşılanması için takip eden dönemlerde tarihsel sıralamayla NEMI (National Environmental Methods Index), Analytical Eco-Scale, GAPI (Green Analytical Procedure Index) ve AGREE (Analytical GREENness Metric Approach) araçları geliştirilmiştir. Bu araçların prensiplerinin, kapsamlarının ve analitik süreçlere katkılarının bilinmesi geliştirilecek yöntemlere nitelik katacağı gibi çevre ve sağlık üzerinde de kazanımlar sağlayacaktır (Płotka-Wasyłka, 2018).

Bu çalışmada, çalışmalarda en çok kullanılan NEMI, Analytical Eco-Scale, GAPI (Green Analytical Procedure Index ve AGREE araçları okuyucuya aktarılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında bu araçların performansları, değerlendirdikleri kriterler, değerlendirme kapsamaları ve uygulanabilirlikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. Yeşil Profil Değerlendirme Araçlarının Genel Sınıflandırması

Bahsi geçen araçlar genellikle nitel, nicel ve görsel (piktogram) tabanlı olmak üzere üç ayrı sınıflandırma ile incelenmektedir.

Nitel araçlar görsel oluşturarak değerlendirme yapabilseler de bunlar basit görseller olup, sayısal bir değer sunmadıkları için nitel olarak sınıflandırılırlar. Burada geçerli/uygun ve geçersiz/uygunsuz gibi değerlendirme yapılır. NEMI nitel değerlendirme aracı olarak karşımıza çıkmaktadır (Keith vd., 2007).

Nicel araçlarda yeşillik değerlendirmesi sayısal puanlamalarla yapılmaktadır. Analytical Eco-Scale bir nicel yeşillik değerlendirme aracıdır (Gałuszka vd., 2012),.

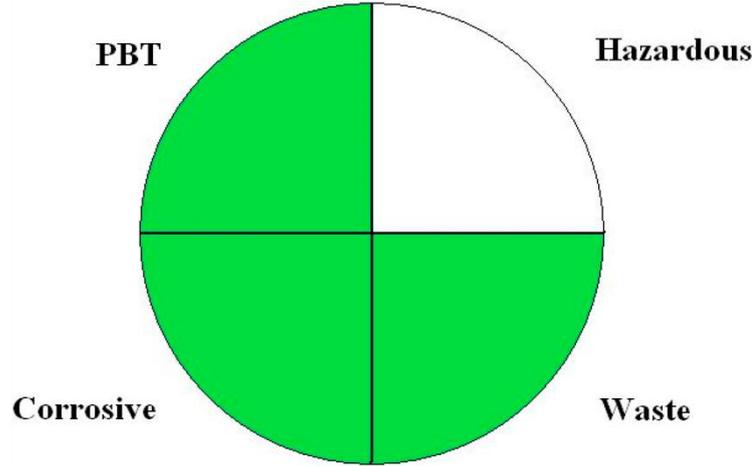
Görsel tabanlı değerlendirme araçları ise değerlendirmeyi farklı renk skalalarını içeren piktogramla veya grafiklerle vermektedir. Bu skalalar genellikle değerlendirme yapılan kriteri temsil etmekte ve renk tonuna göre kriterin karşılanma düzeyi anlatılmaktadır. Görsel tabanlı değerlendirme araçlarına GAPI ve AGREE örnek verilebilir (Pena-Pereira vd., 2020; Yin vd. 2024).

3. Yeşil Profil Değerlendirme Araçlarına Genel Bakış

3.1. National Environmental Methods Index (NEMI)

NEMI, ilk yeşil profil değerlendirme aracı olduğu için diğer araçların atası özelliğindedir. ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından geliştirilen NEMI, analitik yöntemin yeşilliğini dört kriter bazında değerlendiren oldukça basit bir araçtır. Dört kriterden hangisi karşılanıyorsa o kriterin piktogramdaki karşılığı yeşil renk ile boyalı olur (Şekil 1.). Dört kriter aşağıdaki gibidir:

1. Kullanılan reaktiflerin RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) kapsamında “tehlikeli” olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmadığı,
2. Kalıcı, biyobirikimli, toksik (PBT olarak ifade edilir) özellik gösterip göstermemesi: Kullanılan kimyasallar EPA’nın PBT listesinde yer alıyorsa piktogramın PBT kısmı beyaz renkli olur.
3. Aşındırıcı (corrosive) özellik: İşleme alınan çözeltilerin pH değeri ≤ 2 veya $\geq 12,5$ ise bu çözelti aşındırıcı sayılır. Bu durumda piktogramdaki bölüm beyaz renkli olur.
4. Atık miktarının büyüklüğü: 50 gramdan az atık üretilirse piktogramdaki ilgili bölümde yeşil renk; fazla ise beyaz renk görülür (Keith vd., 2007).



Şekil 1. NEMI piktogramı

NEMI kolay ve hızlı olmasının yanında düzenleyici kurumlara dayalı olmasıyla avantaj sağlasa da, dört kriter analitik prosedürlerin yeşilliğini değerlendirmek için yeterli sayılmamaktadır. Belirli bir skorla puan yapmaması da dezavantaj olarak sayılabilmektedir.

3.2. Analytical Eco-Scale

Analytical Eco-Scale nicel ölçüm araçlarının ilkidir. Bu aracın temelleri 2006 yılında (yarı nicel) atılsa da (Van Aken vd., 2006), tam çalışma prensipleri ve değerlendirmede temel alınan noktalarla birlikte 2012 yılında tam olarak tanıtılmıştır (Gałuszka vd., 2012).

Analytical Eco-Scale yöntemin yeşil profilini sayısal olarak 100 üzerinden değerlendirmektedir. Bu yaklaşımda ceza puanları (penalty points) uygulanmaktadır. Ceza puanları yöntemin yeşil profilini azaltacak durumlar göre belirlenir ve genelde her bir durum için 1-8 arası ceza puanı uygulanmaktadır. Elde edilen genel skor ise 100 puandan bu ceza puanlarının çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır;

$$\text{Yöntemin Analytical Eco Scale Skoru} = 100 - \text{toplam ceza puanları}$$

Ceza puanları ise genelde beş kategoride değerlendirilir;

1. Kimyasal reaktiflerin türü: Yöntemde kullanılan kimyasallar toksisitesine ve çevre dostluğuna göre değerlendirilmektedir. Bu bölümde eğer çok toksik çözücü veya reaktif kullanıldıysa 8 puana kadar ceza uygulanabilir.

2. Oluşan atık miktarı: Burada analiz ile oluşan atık miktarı değerlendirilmektedir. Çok fazla atık oluşuyorsa (500 mL veya daha fazla) 6 puana kadar ceza uygulanabilmektedir.

3. Enerji tüketimi: Yöntemde kullanılan analitik enstrümanlar, ayırma ve karıştırma amaçlı kullanılan cihazlarla meydana gelen enerji tüketimi değerlendirilmektedir. Ayrıca çalışma sıcaklığını sağlamak için gereken enerji de belirli miktarda enerji tüketimine sebep olduğu için bu faktör de hesaba katılır. UV-Vis (düşük enerji) veya GC, HPLC gibi enstrümanların (daha yüksek enerji) kullanımına göre 0-6 puan arasında ceza uygulanmaktadır.

4. Operatör/Uygulama güvenliği: Bu kısımda ise yöntemin uygulanması sırasında genel olarak bileşenlerin (cihaz, ısı kaynağı, reaktifler) risk barındırıp barındırmamasına göre ceza uygulanır (0-4 puan arasında).

5. Örnek hazırlama aşamasının mevcudiyeti: Bu adım daha sonraki süreçte değerlendirmeye dahil olsa da (bazen), burada örneğin doğrudan analizlenip analizlenmediğine bakılır. Eğer ön zenginleştirme (hazırlama) yöntemleri varsa bunların hangi yöntemler olduğuna bakılır. Burada da önceki maddelerdeki ceza puanlarını artıracak unsurların olup olmamasına göre puan hesaplanmaktadır. Doğrudan analiz, ekstraksiyon, türevleme aşamaları dikkate alınmaktadır.

Elde edilen Analytical Eco-Scale skoruna göre yöntemin yeşilliği hakkında;

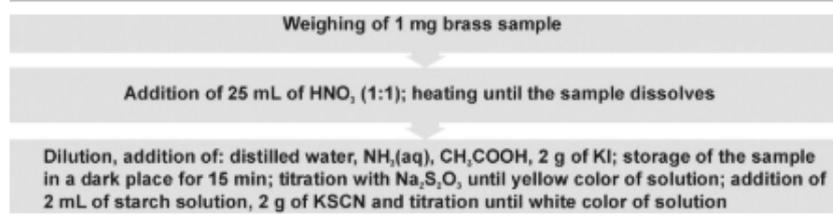
< 50: yeşil olmayan yöntem

50-75: Yeşil denilebilir (kabul edilebilir).

>75: Mükemmel yeşillikte yöntem.

Analytical Eco-Scale aracı uygulanabilir, hızlı ve sayısal skor belirtmesi açısından avantajlıdır. Fakat bazı dezavantajları da vardır; standardizasyondan uzak olup puanlamaların kişisel fikirlere göre yapılması olasıdır. Dolayısıyla araştırmacılar tarafından çalışmada kullanılan yöntemin enerji tüketiminin az olup olmadığı kişisel bazda yapılabilir. Günümüzde yeşillik değerlendirmesi yaparken daha fazla kriter kullanımı gerekli olabilmektedir (Tobiszewski, 2016). Şekil 2’de gerçek bir yöntem üzerinden hesaplama örneği gösterilmiştir.

- (1) Cu determination in a brass sample by titration is presented in Fig. 4, and the details about assigning penalty points are given in Table 3,



[Download: Download full-size image](#)

Figure 4. Analytical procedure for a determination of copper in a brass sample by titration.

Table 3. The penalty points (PPs) for Cu determination by titration in a brass sample

| Reagents | Penalty points |
|---|----------------|
| HNO ₃ : 10mL | 8 |
| NH ₃ (aq.): 2mL | 6 |
| CH ₃ COOH: 10mL | 2 |
| KI: 2g | 0 |
| Na ₂ S ₂ O ₃ | 0 |
| Starch | 0 |
| KSCN: 2g | 1 |
| | Σ17 |

Şekil 2. Analytical Eco-Scale ile örnek hesaplama

3.3.Green Analytical Procedure Index (GAPI)

GAPI, önceki iki yeşil değerlendirme aracının eksikliklerinin giderilmesi amacıyla 2018 yılında geliştirilmiştir (Płotka-Wasyłka, 2018). Önceki iki aracın aksine, GAPI analitik süreci geniş kapsamda, numune hazırlama ve analiz sonrası da dahil, değerlendirmektedir. GAPI yöntemin yeşil profilini bir piktogram ile ifade etmektedir. Şekil 3a'da GAPI piktogramının üzerindeki numaralandırılmış kısımlar değerlendirmede kullanılan 15 kriteri belirtmektedir. Bu kriterler aşağıdaki gibidir;

Örnek hazırlama ile ilgili olanlar;

1. Örnek toplama (in-line, offline)
2. Koruma (sırasıyla yeşil-sarı-kırmızı, koruma yok, kimyasal koruma, fizikokimyasal koruma)

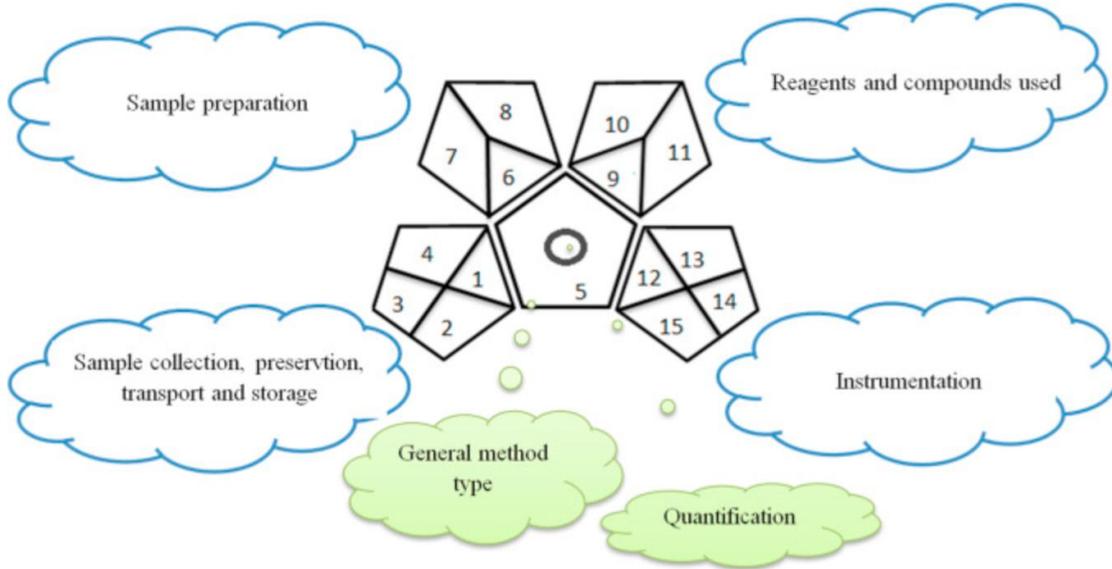
3. Taşıma

Metot türüyle ilgili olanlar;

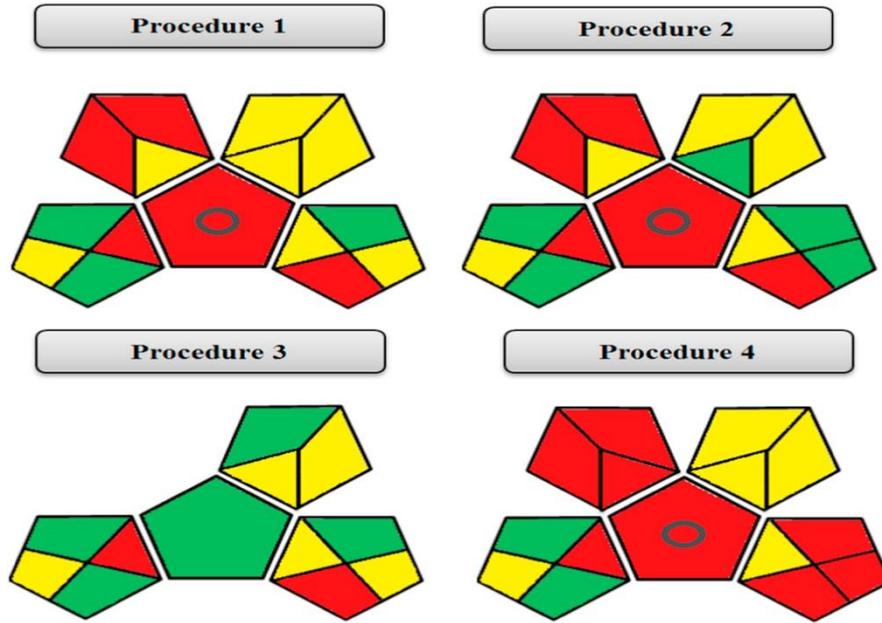
4. Depolama: Yok, normal koşullar altında, özel koşullarda
5. Doğrudan analiz veya örnek hazırlama mevcudiyeti: Doğrudan, basit ön hazırlama (dekantasyon vb), ekstraksiyon gerekliliği
6. Ekstraksiyonun ölçüsü (nano, mikro, makro)
7. Kullanılan çözücüler: Çözücüsüz metot, yeşil çözücü kullanımı, yeşil olmayan çözücü kullanımı
8. İlave numune işleme: yok, basit numune işleme (clean-up vb), türevlendirme
Çözücü ve reaktiflerle ilgili olan:
9. Miktarları: <10 mL (<10 g), 10–100 mL (10–100 g), >100 mL (>100 g)
10. Sağlık etkileri: hafif toksik, orta derece toksik, ciddi toksisite (kısa süreli marüziyette bile problem oluşturan veya karsinojenik)
11. Güvenlik tehlikesi: Özel bir tehlikesi yok, orta derece yanıcılık veya kararsızlık, yüksek yanıcılık veya kararsızlık
Enstrümantasyon ile ilgili olanlar;
12. Enerji tüketimi: Numune başına: ≤ 0.1 kWh, ≤ 1.5 kWh, > 1.5 kWh
13. İş tehlikesi: Analitik prosesin hermetik sızdırmazlığı, - , atmosfere buhar emisyonu
14. Atık miktarı: <1 mL (<1 g), 1–10 mL (1–10 g), >10 mL (<10 g)
15. Atık arıtımı: Geridönüşüm, bozulma-pasifleştirme, arıtma yok

GAPI piktogramında her kriter yeşil uygunluğuna göre yeşil, sarı ve kırmızı renkle gösterilir. Burada anlaşılacağı üzere, yeşil açıdan uygun olan yeşil, orta düzeyde uygun olan sarı, uygun olmayan ile kırmızı renklidir.

GAPI analitik süreci kapsamlı olarak ele alması, görsel bir piktogramla anlaşılabilirliği artırması, uygulanabilirliği ve önceki araçlardan daha kapsayıcı olmasıyla avantajlıdır. Ancak, parametrelerin eşit öneme sahip olması ve sayısal sonuç vermemesi açısından dezavantajlı da sayılabilir. Şekil 3b’de GAPI piktogramı görülmektedir.



Şekil 3a. Yukarıda bahsi geçen kriterlerin GAPI piktogramındaki konumu.



Şekil 3b. Analitik prosedürlerin yeşil değerlendirmesinden elde edilen GAPI piktogramları

3.4.AGREE (Analytical GREENness Metric Approach)

Analytical Eco-Scale ve GAPI gibi araçlar bu alanda verimli sonuçlar sağlamış olsa da, ele alınan kriterde kapsam darlığı ve genel olarak standardizasyondan uzak yapıları nedeniyle bazı dezavantajlar ortaya koymaktadır. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması için Pena-Pereira ve çalışma arkadaşları 2020 yılında AGREE aracını tanıtmışlardır. Oldukça yeni bir

araç olan AGREE, aynı zamanda en kapsamlı yeşil değerlendirme aracıdır. AGREE bir analitik prosedürü, çevreciliği, minimalistliği ve kimyacı güvenliği bağlamında geniş bir kapsamda değerlendirilerek sonucu sayısal skor içeren bir piktogram halinde vermektedir. AGREE'nin en üstün yönü de 12 değerlendirme kriterinin Yeşil Analitik Kimya'nın 12 ilkesinden oluşmasıdır (Pena-Pereira vd, 2020). AGREE'nin değerlendirme kriterleri aşağıdaki gibidir:

1. Örnek işleme (doğrudan analiz):
2. Örnek miktarı (Minimum sayıda örnek kullanılması)
3. Ölçüm cihazı pozisyonu (taşıma veya korumanın azalması için yerinde ölçümlerinin yapılması)
4. Örnek hazırlama aşamaları
5. Otomatizasyon ve minyatürizasyon
6. Türevlendirme
7. Atık miktarı ve oluşan atıkların yönetimi
8. Çok parametrelili veya çok analitli yöntemlerin tercihi
9. Enerji tüketimi
10. Reaktiflerin kaynağı (biyolojik/yenilenebilir)
11. Toksik reaktiflerin kaldırılması veya daha az toksik olanlarla ikamesi
12. Operatör güvenliği

AGREE bu kriterlere karşılık gelen durumları değerlendirir ve 0-1 arası puan belirler. Her kriterden elde edilen puanlar aracın hesaplama sisteminde hesaplanır ve 0-1 arasında genel skor belirlenir. Eğer genel skor 0.6 ve daha üzerinde ise yeşil olarak kabul edilmektedir.

0.5 puan orta uygunlukta olup daha düşük değerler yöntemin yeşil olmadığını belirtmektedir. AGREE piktogramı dairesel olup dairedeki bölmelere her kriterin karşılığı gelmektedir. Kriterin karşılanma durumuna göre bu bölmeler yeşil, sarı veya kırmızı olmaktadır. Bu piktogramın ortasındaki sayı ise elde edilen genel skoru belirtmektedir.

Şekil 4'te AGREE piktogramı verilmiştir. AGREE sayısal veri sağlamasıyla ve tam entegre oluşuyla diğer araçlardan daha objektif bir değerlendirme sunmaktadır.

AGREE'nin Yeşil Analitik Kimya'nın 12 ilkesine dayalı olması diğer bir avantajıdır. AGREE aracı indirilebilir bir araçtır ve bilgisayara kurularak, subjektif yorumlamalara sebep olabilese de kullanıcılar veri girişi gerçekleştirebilmektedir (El-Sayed vd., 2024)

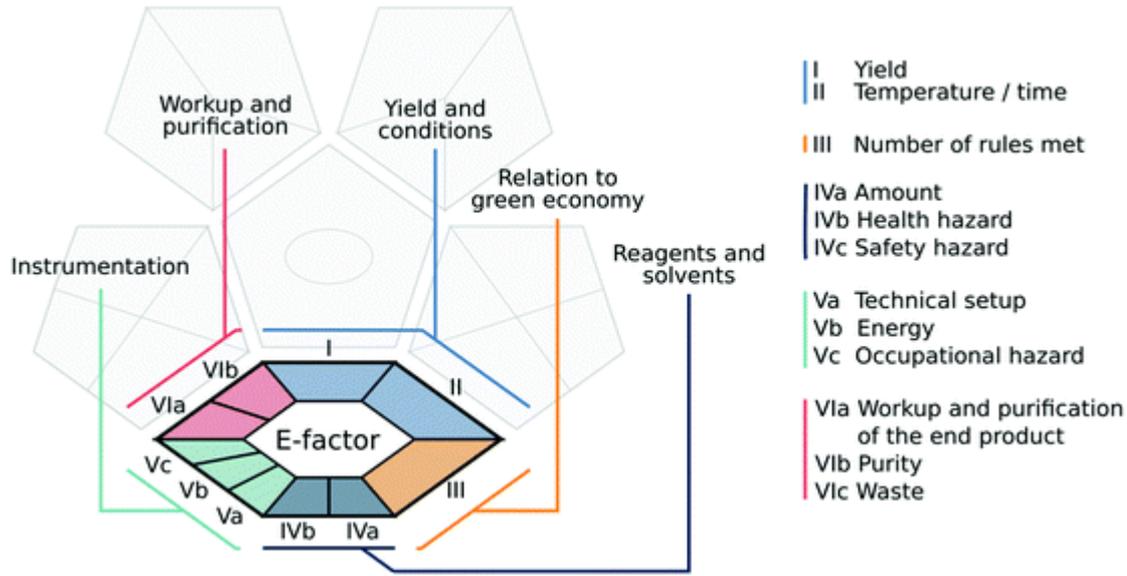


Şekil 4. AGREE piktogramı

Hatırlanacağı üzere, 2018 yılında geliştirilen GAPI aracı analitik prosedürü genel hatlarıyla ve tüm aşamalarıyla değerlendiren ve bir piktogramla değerlendirmeyi sunan önemli değerlendirme aracıydı (kısım 3.3.). Ancak, günümüzde Yeşil Analitik Kimya'nın ilkelerini karşılamak için analitik sürece (süreç dışı gibi görünse de) yeni yeşil çözücülerin, sorbentlerin ve kolon vb türlerin sentezlenmesi gibi süreçler de enregre olmuştur. Dolayısıyla analitik prosedürün yeşilliğini ve sürdürülebilirliğini değerlendirirken bu süreçleri hariç tutmak önemli bir eksiklik olmaktadır. Bu eksikliği gidermek için Płotka-Wasyłka ve Wojnowski 2021 yılında GAPI'nın geliştirilmiş modeli olan ComplexGAPI aracını oluşturmuşlardır (Płotka-Wasyłka & Wojnowski, 2021). ComplexGAPI, numune toplama, taşıma, saklama ve depolamadan numune hazırlama ve nihai analize kadar bir analitik prosedürün tüm yönlerini, aynı zamanda genel analitik metodolojiden önce gerçekleştirilen bu yönleri ve süreçleri de kapsamaktadır.

ComplexGAPI piktogramı, klasik GAPI piktogramına ek olarak altıgen bir alan içermektedir. Bu alan ön analiz süreçlerini temsil eder ve verim ve koşullar, reaktifler ve çözücüler, enstrümantasyon, son ürünlerin işlenmesi ve saflaştırması gibi durumları kapsamaktadır (Şekil 5). Ek altıgen bölgenin ortasında ise E faktörü yer almaktadır. E faktörü çalışma ve saflaştırma aşamasıyla ilgilidir. Bu aşamada üretilen atık, yan ürünler, kullanılmış katalizörler ve katalizör destekleri, çözücü kayıpları ve atık olarak kabul edilebilecek her şey E-faktör parametresinin hesabıyla verilir. Bir kimyasal işlemin E faktörü ne kadar yüksekse, oluşan atık miktarı o kadar fazla, olumsuz çevresel etkisi o kadar büyük ve sürdürülebilirliği o kadar az olur. GAPI de olduğu gibi burada da her aşama için

üç renk skalası kullanılır. Yeşil: Düşük çevresel etki / yüksek sürdürülebilirlik; Sarı: Orta düzeyde etki; Kırmızı: Yüksek çevresel etki anlamına gelmektedir. Her alan, açıklanan süreçlerin ve analitik protokolün farklı bir özelliğini yansıtır ve belirli gereklilikler karşılandığında yeşil renkle doldurulur.

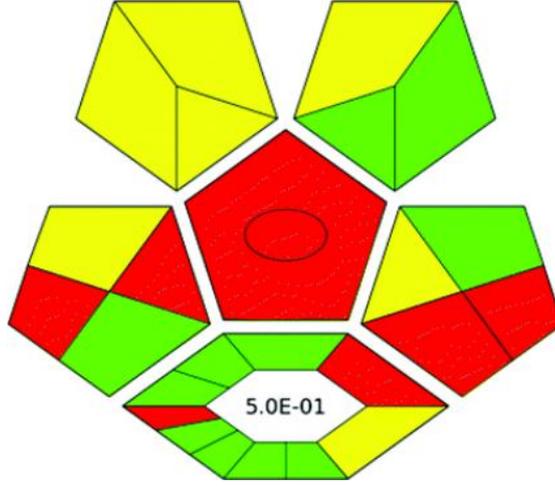


Şekil 5. ComplexGAPI piktogramındaki ek altıgen bölge ve bu bölgedeki kısımların karşılıkları.

ComplexGAPI’de ek kriterler özet olarak şu şekildedir

- Reaktiflerin, çözücülerin veya sorbentlerin üretim aşamaları
- Sentez sırasında kullanılan enerji türü ve miktarı
- Verim, saflaştırma işlemleri, sentez yan ürünleri
- Kullanılan yeşil kimya prensiplerine uygunluk (örneğin atom ekonomisi)

ComplexGAPI’nin en önemli avantajlarından biri de kullanıcı veri girişine dayalı bir yazılımla desteklenmesidir. Araştırmacılar analitik prosedüre ilişkin parametreleri manuel olarak girer ve araç bunu değerlendirmeye alarak her kriterin çevresel yönünün renklerle belirlendiği bir piktograma dönüşür. Piktogram sayısal veri içermez. Şekil 6’da örnek bir ComplexGAPI piktogramı verilmiştir.



Şekil 5. ComplexGAPI piktogramı

4. SONUÇ

Bu mevcut çalışmada analitik prosedürlerin yeşilliğini ve sürdürülebilirliğini değerlendirmeyi amaçlayan beş farklı araç (NEMI, Analytical Eco-Scale, GAPI, AGREE ve ComplexGAPI) genel hatlarıyla incelenmiştir. Nitel değerlendirmelerle (NEMI) başlayan bu sürecin daha kapsamlı, analitik sürecin tamamının Yeşil Analitik Kimya'nın ilkeleri kapsamında değerlendirilip sayısal skor içeren renkli piktogramlarla sunulduğu araçlara (AGREE, ComplexGAPI) evrildiği görülmektedir. Çevresel sorunların arttığı günümüz şartlarında bu araçlar yöntemin yeşilliğini değerlendirmede oldukça faydalı olup çevresel duyarlılığın artmasına da katkı sağlamaktadır. Araştırmacılar bu araçlarda sunulan değerlendirmeler ve piktogramlar sayesinde literatürdeki çalışmalarını hızlıca karşılaştırarak yol haritası da edinebilmektedir. Analitik sürecin yenilikçi dinamizminin gelecekte de devam edeceği göz önünde bulundurulduğunda, geliştirilen prosedürlerin gerçekçi, bilimsel ve objektif değerlendirmeleri ve karşılaştırmaları araştırmacılara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

Armenta, S., Garrigues, S., & de la Guardia, M. (2015). The role of green extraction techniques in Green Analytical Chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 2-8.

Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). Principles of green chemistry. *Green chemistry: Theory and practice*, 29(3).

Gałaszka, A., Migaszewski, Z., & Namieśnik, J. (2013). The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 50, 78-84.

Płotka-Wasyłka, J. (2018). A new tool for the evaluation of the analytical procedure: Green Analytical Procedure Index. *Talanta*, 181, 204-209.

Keith, L. H., Gron, L. U., & Young, J. L. (2007). Green analytical methodologies. *Chemical reviews*, 107(6), 2695-2708.

Gałaszka, A., Migaszewski, Z. M., Konieczka, P., & Namieśnik, J. (2012). Analytical Eco-Scale for assessing the greenness of analytical procedures. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 37, 61-72.

Pena-Pereira, F., Wojnowski, W., & Tobiszewski, M. (2020). AGREE—Analytical GREENness metric approach and software. *Analytical chemistry*, 92(14), 10076-10082.

Yin, L., Yu, L., Guo, Y., Wang, C., Ge, Y., Zheng, X., ... & Shi, M. (2024). Green analytical chemistry metrics for evaluating the greenness of analytical procedures. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 14(11), 101013.

Van Aken, K., Strekowski, L., & Patiny, L. (2006). EcoScale, a semi-quantitative tool to select an organic preparation based on economical and ecological parameters. *Beilstein journal of organic chemistry*, 2(1), 3.

Tobiszewski, M. (2016). Metrics for green analytical chemistry. *Analytical methods*, 8(15), 2993-2999.

El-Sayed, N. W., Youssef, R. M., Morshedy, S., & Kamal, M. F. (2024). Greenness appraisal and development of validated spectrophotometric methods for assay of amprolium: Comparative study using Analytical Eco-Scale, GAPI, and AGREEmetric approaches. *Green Analytical Chemistry*, 9, 100107.

Płotka-Wasyłka, J., & Wojnowski, W. (2021). Complementary green analytical procedure index (ComplexGAPI) and software. *Green Chemistry*, 23(21), 8657-8665.

TARIMSAL ÜRETİMDE ZARARLI VE FAYDALI BÖCEKLERİN BİYOÇEŞİTLİLİĞİ ÜZERİNDE BİR DEĞERLENDİRME

Prof. Dr. Mehmet KAPLAN

Siirt Üniversitesi, mehmetkaplan@siirt.edu.tr –

ORCID ID: 0000-0002-2495-8075

ÖZET

Tarım, insanlık tarihinin en eski ekonomik faaliyetlerinden biri olarak gıda üretiminde sürekliliğin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla bu üretim alanlarında verim ve kalitede artış sağlanması yanında önemli ekonomik kayıplarda rol alan bir canlı grupları arasında böcek biyoçeşitliliği önemli bir orana sahiptir. Böcek biyoçeşitliliği, tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve ekolojik dengesinin temel bileşenlerinden biridir. Böcekler, doğrudan ya da dolaylı biçimde bitkisel üretimi etkileyen en geniş canlı grubunu oluştururlar. Zararlı böcekler (fitofag türler), bitki dokularıyla beslenerek verim kayıplarına, kalite düşüşlerine ve ekonomik zararlara neden olurken; faydalı böcekler (tozlayıcılar, predatörler ve parazitoidler gibi) ekosistem hizmetlerini destekleyerek bu kayıpları sınırlar ve doğal dengeyi sağlar. Ancak günümüzde artan pestisit kullanımı, monokültür tarım sistemleri, habitat kayıpları ve iklim değişikliği gibi faktörler, bu doğal dengeyi tehdit etmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda faydalı böcek popülasyonlarının küresel ölçekte azalmakta olduğunu, özellikle tozlayıcı arılar, predaör ve parazitoit böcek türlerinin pestisitlere karşı yüksek duyarlılık gösterdiğini ve popülasyonların önemli düşüşler yaşanmaktadır. Zararlı böceklerin ise adaptasyon yetenekleri sayesinde pestisitlere direnç geliştirdiği, bu durumun daha fazla kimyasal kullanımını teşvik ederek kısır bir döngü yarattığı belirlenmiştir. Bu bağlamda, böcek biyoçeşitliliğinin korunması yalnızca çevresel bir gereklilik değil, aynı zamanda ekonomik ve gıda güvenliği açısından da stratejik bir önceliktir.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal Ekosistem, Böcek biyoçeşitliliği, zararlı böcekler, faydalı böcekler

AN ASSESSMENT OF THE BIODIVERSITY OF HARMFUL AND BENEFICIAL INSECTS IN AGRICULTURAL PRODUCTION

ABSTRACT

Agriculture, one of the oldest economic activities in human history, plays a critical role in ensuring the continuity of food production. In this context, insect biodiversity holds a significant place among the living groups that contribute to increased yield and quality, as well

as those responsible for major economic losses in agricultural production. Insect biodiversity is one of the fundamental components of the sustainability and ecological balance of agricultural ecosystems. Insects constitute the largest group of organisms that directly or indirectly affect plant production. While harmful insects (phytophagous species) feed on plant tissues, causing yield losses, quality reductions, and economic damage, beneficial insects (such as pollinators, predators, and parasitoids) support ecosystem services, limit these losses, and maintain natural balance. However, factors such as increasing pesticide use, monoculture farming systems, habitat loss, and climate change are now threatening this natural balance.

Recent studies have shown that populations of beneficial insects are declining globally, with pollinators, predator, and parasitoid species being highly sensitive to pesticides and experiencing significant population decreases. Conversely, harmful insects have developed resistance to pesticides due to their adaptive abilities, creating a vicious cycle that encourages further chemical use. In this context, the conservation of insect biodiversity is not only an environmental necessity but also a strategic priority in terms of economic sustainability and food security.

Keywords: Agricultural ecosystem, insect biodiversity, harmful insects, beneficial insects.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus ve gıda talebi, tarımsal üretim sistemlerini daha verimli, ancak aynı zamanda daha yoğun hale getirmiştir. Bu dönüşüm, doğal ekosistemlerin yerini yapay tarım ekosistemlerine bırakmasına yol açarken, biyolojik çeşitlilik üzerinde ciddi baskılar oluşturmuştur. Bu baskıların en belirgin hissedildiği canlı gruplarından biri de böceklerdir. Böcekler, doğadaki tür çeşitliliğinin büyük kısmını oluşturur ve yaklaşık 1 milyon tanımlanmış türle kara ekosistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir (Stork, 2018). Tarımsal ekosistemlerde ise böcekler, hem faydalı hem zararlı işlevleriyle ekolojik süreçlerin merkezindedir.

Faydalı böcekler, ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesinde hayati roller üstlenir. Tozlayıcı böcekler (örneğin bal arıları *Apis mellifera*, yaban arıları ve kelebekler), dünya genelinde bitkisel üretimin yaklaşık %75'inin polinasyonuna katkı sağlamaktadır (Klein et al., 2007). Doğal düşmanlar olarak bilinen predatör ve parazitoid türler, zararlı popülasyonlarını baskılayarak pestisit ihtiyacını azaltır. Toprakta yaşayan ayrıştırıcı böcekler ise organik maddenin geri dönüşümünü sağlayarak toprak verimliliğini artırır. Buna karşılık, zararlı böcekler bitkisel üretimde verim kayıplarına ve ekonomik zararlara yol açmaktadır. Dünya genelinde tarımsal üretimdeki ürün kaybının %20-40'ının böcek kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir (FAO, 2020). Bu zararın azaltılması amacıyla uygulanan pestisit kullanımı, kısa vadede etkili bir çözüm gibi görünse de uzun vadede hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülemez sonuçlar doğurmaktadır. Pestisitler, sadece hedef zararlı türleri değil, aynı zamanda faydalı böcekleri de olumsuz etkileyerek doğal dengeyi bozmaktadır.

Son yıllarda özellikle Avrupa Birliği, FAO ve IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) tarafından yayımlanan raporlar, böcek popülasyonlarında küresel çapta ciddi azalmalar yaşandığını göstermektedir (IPBES, 2019). Bu durum, gıda güvenliğini, ekosistem dayanıklılığını ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Türkiye’de de benzer bir eğilim gözlemlenmekte; yoğun tarım alanlarında faydalı böceklerin çeşitliliği azalırken, pestisit direnci gelişen zararlı türler çoğalmaktadır (Güler & Yücel, 2021).

Bu çalışma, zararlı ve faydalı böceklerin tarımsal ekosistemlerdeki etkileşimlerini inceleyerek, sürdürülebilir üretim modelleri açısından bu ilişkilerin nasıl yönetilebileceğini yönelik bilgiler sunmaktadır. Ekosistem temelli yaklaşımlarla biyoçeşitliliğin korunması, tarımsal verimliliğin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmektedir.

2. BÖCEK BİYOÇEŞİTLİLİĞİNİN EKOSİSTEM HİZMETLERİNDEKİ ROLÜ

Böcekler, dünya üzerindeki kara ekosistemlerinde yaşam döngüsünün sürekliliğini sağlayan en önemli canlı gruplarından biridir. Böcek biyoçeşitliliği, yalnızca tür sayısı açısından değil, ekosistem süreçlerine katkı düzeyi bakımından da tarımsal üretim sistemlerinin temel dayanaklarından birini oluşturur. Böceklerin ekosistem hizmetleri üzerindeki rolleri genel olarak dört ana başlık altında incelenebilir:

- Tozlaşma (polinasyon),
- Biyolojik zararlı kontrolü,
- Ayrıştırma ve besin döngüsü
- Ekolojik bioindikatör işlevi

2.1. Tozlaşma (Polinasyon) Hizmeti

Tozlaşma, tarımsal üretimin doğrudan verimliliğini etkileyen ekosistem hizmetlerinin başında gelir. Dünya üzerindeki çiçekli bitkilerin yaklaşık %87’si, tozlaşma için böceklere bağımlıdır (Ollerton et al., 2011). Özellikle bal arıları (*Apis mellifera*), yaban arıları (*Bombus* spp.), sinekler, kelebekler ve bazı böcek türleri bitkisel üretimin devamlılığında kritik roller üstlenmektedir.

Polinasyon hizmetinin ekonomik değeri oldukça yüksektir. FAO (2020) verilerine göre, küresel gıda üretiminin yaklaşık 235–577 milyar ABD dolarlık kısmı böceklerin gerçekleştirdiği tozlaşma faaliyetlerine bağlıdır. Türkiye’de de özellikle elma, kiraz, ayçiçeği, pamuk ve kanola gibi ürünlerde polinatör böceklerin etkinliği verim artışında belirleyici olmaktadır. Ancak pestisitlerin kontrolsüz kullanımı ve habitat kayıpları nedeniyle arı popülasyonlarında son yıllarda ciddi azalmalar gözlenmektedir (Kadioğlu & Karaca, 2020). Bu durum, hem ürün verimliliğinde düşümlere hem de genetik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır.

2.2. Biyolojik Mücadele (Doğal Zararlı Kontrolü)

Faydalı böceklerin ekosistemdeki bir diğer önemli rolü, zararlı türlerin popülasyonlarının doğal yollarla sınırlandırılmasıdır. Bu etkileşim, biyolojik kontrol olarak adlandırılır. Predatör böcekler ve parazitoidler, zararlı türlerin yumurta, larva veya ergin dönemlerinde onlarla beslenerek popülasyon artışını engeller.

Örneğin uğur böcekleri (Coccinellidae) ve Sınır kanatlılar (Chrysopidae), yaprak bitleri üzerinde etkili doğal düşmanlardır. Parazitoid türleri (*Trichogramma* spp.) ve brakonidler (*Braconidae*) ise zararlı lepidopter türlerinin yumurtalarını parazitleyerek zararlı popülasyonlarını kontrol altına alır. Bu doğal denge, pestisit kullanımına duyulan ihtiyacı azaltır ve tarımsal ekosistemlerde kimyasal yükün hafiflemesine katkı sağlar (Altieri, 1999). Ancak monokültür üretim sistemlerinde doğal düşman çeşitliliği azaldığı için, zararlı türlerin popülasyon artışları daha sık görülmektedir. Entegre Zararlı Yönetimi (Integrated Pest Management) yaklaşımı, bu dengeyi korumayı amaçlayarak biyolojik, kültürel ve mekanik yöntemleri bir arada kullanır. Böylece hem zararlı böceklerin ekonomik zarar eşiği altında tutulması hem de faydalı türlerin korunması sağlanır.

2.3. Ayrıştırma ve Besin Döngüsü

Toprakta yaşayan böcekler, özellikle Coleoptera (kırkanatlılar) ve Diptera (sinekler) familyalarına ait türler, organik maddelerin ayrışmasında ve toprağın besin döngüsünde temel rol oynar. Bu böcekler, bitki ve hayvan atıklarını parçalayarak organik maddelerin mineralizasyonunu hızlandırır ve toprak verimliliğini artırır (Lavelle et al., 2006). Örneğin, gübre böcekleri (*Scarabaeidae*) hayvan dışkılarını toprağa gömerek hem azot döngüsüne katkı sağlar hem de toprağın havalanmasını kolaylaştırır. Bu süreç, tarımsal üretim alanlarında kimyasal gübre ihtiyacını azaltabilir. Ayrıca, ayrıştırıcı böceklerin faaliyetleri toprak yapısını iyileştirir, su tutma kapasitesini artırır ve bitkilerin kök gelişimini destekler. Bu nedenle ayrıştırıcı böcek çeşitliliğinin korunması, uzun vadeli toprak sağlığının sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmezdir.

2.4. Biyoindikatör (Ekolojik Gösterge) Rolü

Böcekler, çevresel değişikliklere karşı yüksek duyarlılıkları nedeniyle ekosistem sağlığının göstergesi olarak kullanılır. Özellikle kelebekler, karıncalar ve bazı sucul böcek türleri, habitat kalitesindeki değişimleri yansıtan biyolojik göstergeler olarak kabul edilir (McGeoch, 2007). Bu özellik, tarımsal alanlarda çevresel izleme çalışmalarında böceklerin kullanılmasını mümkün kılar. Örneğin pestisit kalıntıları, habitat parçalanması veya iklimsel streslerin etkileri, böcek topluluk yapısındaki değişimlerle ölçülebilir. Türkiye’de yapılan bazı çalışmalar, organik tarım yapılan alanlarda faydalı böcek çeşitliliğinin, konvansiyonel tarım alanlarına göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Öztürk & Yıldırım, 2019). Bu durum, biyolojik çeşitliliğin tarım politikalarında izleme göstergesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

2.5. Ekosistem Hizmetlerinin Ekonomik ve Sosyal Önemi

Böceklerin sağladığı ekosistem hizmetleri yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutlara da sahiptir. Böceklerin doğal faaliyetleri, tarım ekonomisinde doğrudan maliyet tasarrufu sağlar. Polinasyon, biyolojik zararlı kontrolü ve toprak verimliliği gibi hizmetler, çiftçilerin kimyasal girdilere olan bağımlılığını azaltır ve üretim maliyetlerini düşürür. Bununla birlikte, böcek çeşitliliğinin korunması kırsal kalkınma açısından da önemlidir. Arıcılık, ipekböcekçiliği ve biyolojik mücadele ajanı üretimi gibi faaliyetler, kırsal ekonomilere doğrudan gelir sağlar. Dolayısıyla böcek biyoçeşitliliğinin sürdürülebilir yönetimi, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliğin ortak paydasını oluşturur.

3. ZARARLI BÖCEK TÜRLERİ VE TARIMSAL ETKİLERİ

Böcekler, tarımsal üretim ekosistemlerinde hem yararlı hem zararlı roller üstlenir. Ancak zararlı böcekler (fitofag türler), bitki dokularıyla beslenerek ürün kayıplarına, kalite düşüşüne ve ekonomik zararlara neden olduklarından tarımsal üretim için en önemli biyotik stres etmenlerinden biridir. FAO (2020) verilerine göre, dünya genelinde tarımsal üretimdeki verim kayıplarının %20 ila %40'ı böcek zararlılarından kaynaklanmaktadır. Zararlı böceklerin etkisi, yalnızca ürün miktarını değil, aynı zamanda ticari kalitesini ve ihracat potansiyelini de doğrudan etkilemektedir.

3.1. Zararlı Böceklerin Sınıflandırılması

Zararlı böcekler, beslendikleri bitki organlarına ve zarar şekillerine göre çeşitli gruplara ayrılır:

- **Yaprak zararlıları:** Bitki yapraklarını yiyerek fotosentez kapasitesini azaltırlar. Örnek türler arasında *Locusta migratoria* (çöl çekirgesi), *Spodoptera littoralis* (pamuk yaprakkurdu) ve *Pieris brassicae* (lahana kelebeği) yer alır.
- **Meyve ve tohum zararlıları:** Bitkinin ekonomik değer taşıyan kısımlarına zarar verirler. *Cydia pomonella* (elma içkurdu), *Helicoverpa armigera* (pamuk kozası kurdu) ve *Drosophila suzukii* (kiraz sirke sineği) bu gruptadır.
- **Kök zararlıları:** Toprak altında yaşayan türler olup kök sistemiyle beslenirler. *Agriotes spp.* (tel kurdu) ve *Melolontha melolontha* (Mayıs böceği) kök zararlıları arasında sayılır.
- **Emici zararlılar:** Bitki öz suyunu emerek beslenir ve virüs taşınmasına neden olabilirler. *Aphis gossypii* (pamuk yaprak biti), *Bemisia tabaci* (beyaz sinek) ve *Myzus persicae* (şeftali yaprak biti) en bilinen türlerdendir.

Bu zararlı türlerin etkileri, tarımsal üretim sistemine, iklim koşullarına ve kullanılan mücadele yöntemlerine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

3.2. Türkiye'de Yaygın Zararlı Böcek Türleri

Türkiye, sahip olduğu farklı iklim kuşakları nedeniyle geniş bir zararlı böcek çeşitliliğine sahiptir. Ülke genelinde 3.000'in üzerinde böcek türü ekonomik öneme sahip zararlılar arasında yer almaktadır (Kaya & Yücel, 2019).

Bazı yaygın türler şunlardır;

- **Pamuk yaprakkurdu (*Spodoptera littoralis*):** Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde pamuk, mısır ve domates gibi ürünlerde önemli kayıplara yol açmaktadır.
- **Zeytin sineği (*Bactrocera oleae*):** Zeytin meyvesine zarar vererek kaliteyi düşürür; özellikle Akdeniz Bölgesi'nde yaygındır.
- **Mısır kurdu (*Ostrinia nubilalis*):** Mısır saplarında tünel açarak bitkinin su ve besin taşınımını engeller.
- **Elma içkurdu (*Cydia pomonella*):** Elma ve armut üretiminde %30'a varan ürün kayıplarına yol açabilir.

- **Süne (*Eurygaster integriceps*):** Orta Anadolu Bölgesi'nin buğday üretiminde en önemli zararlılardan biridir; hem verim hem kalite kaybı yaratır.

Bu türlerin büyük çoğunluğu, iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışları ve tarımsal monokültür nedeniyle daha uzun yaşam döngüsüne ve daha fazla döl verme kapasitesine ulaşmıştır (Demircan et al., 2021). Bu durum, zararlı baskısının artmasına neden olmaktadır.

3.3. Pestisit Kullanımı ve Direnç Gelişimi

Zararlı böceklerle mücadelede en yaygın kullanılan yöntem kimyasal pestisit uygulamalarıdır. Ancak bu uygulamalar kısa vadede etkili görünse de, uzun vadede ciddi çevresel ve ekolojik sorunlara yol açmaktadır. Pestisitlerin yoğun kullanımı, faydalı böcek popülasyonlarının azalmasına, zararlı türlerde direnç gelişimine ve doğal dengenin bozulmasına neden olur (Geiger et al., 2010). Direnç gelişimi, zararlı popülasyonunun pestisit etkisine karşı genetik olarak uyum sağlamasıdır. Türkiye'de *Tuta absoluta* (domates güvesi) ve *Helicoverpa armigera* gibi türlerde birçok insektisit grubuna karşı yüksek direnç rapor edilmiştir (Öztemiz & Kornoşor, 2020). Bu durum, çiftçileri daha yoğun veya karışık pestisit kullanmaya yöneltmekte; dolayısıyla çevresel yük giderek artmaktadır.

Pestisitlerin bir diğer olumsuz etkisi de biyolojik çeşitliliğin azalmasıdır. Kimyasallar sadece hedef zararlıları değil, aynı zamanda tozlayıcı arıları, predatörleri ve parazitoidleri de öldürür. Bu da faydalı böcek popülasyonlarının azalmasına, dolayısıyla ekosistem hizmetlerinin zayıflamasına yol açar. Pestisit kalıntıları ayrıca toprak ve su kaynaklarını kirleterek gıda güvenliği açısından da risk oluşturur (Aktar et al., 2009).

3.4. İklim Değişikliğinin Zararlı Böcekler Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği, böcek popülasyonlarının yaşam döngüsünü ve coğrafi dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. Artan sıcaklıklar, zararlı türlerin daha erken aktif hale gelmesine, daha fazla döl vermesine ve yeni bölgelere yayılmasına neden olmaktadır (Deutsch et al., 2018). Örneğin, *Tuta absoluta* türü 2006 yılında Güney Amerika'dan Avrupa'ya taşınmış, kısa sürede Akdeniz havzasında yayılmış ve Türkiye'de domates üretiminde büyük zararlara yol açmıştır. Benzer şekilde, *Helicoverpa armigera* türünün iklim değişikliğiyle birlikte kuzey bölgelere doğru genişlediği rapor edilmiştir. Bu süreç, zararlı türlerle mücadeleyi zorlaştırmakta ve sürdürülebilir tarım sistemlerinde daha karmaşık stratejiler gerektirmektedir. İklim değişikliğine karşı dirençli tarım politikalarının oluşturulması, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve biyolojik mücadele programlarının yaygınlaştırılması bu açıdan kritik öneme sahiptir.

3.5. Zararlı Böceklerin Ekonomik ve Sosyal Etkileri

Zararlı böcekler sadece ekolojik değil, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal boyutlarıyla da önemli kayıplara yol açmaktadır. FAO'nun (2020) tahminlerine göre, dünyada zararlı böcek kaynaklı ürün kaybı yılda yaklaşık 220 milyar dolar düzeyindedir. Türkiye'de bu kayıpların tarımsal üretim değerine oranı %10–15 arasında değişmektedir (TÜİK, 2022).

Zararlı yoğunluğunun artması, küçük ölçekli üreticiler üzerinde orantısız bir mali yük oluşturur. Kimyasal girdilere bağımlılığın artması üretim maliyetlerini yükseltirken, pestisit kalıntısı nedeniyle ürünlerin pazarlanma koşulları azalır. Ayrıca pestisit uygulamaları sırasında tarım işçilerinin maruz kaldığı sağlık riskleri de önemli bir halk sağlığı sorunu olarak

değerlendirilmektedir (Güler & Aktaş, 2020). Bu nedenle zararlı böceklerle mücadelede entegre yönetim, biyolojik kontrol ve ekosistem temelli yaklaşımlar, sürdürülebilir tarım politikalarının temel bileşenleri arasında yer almalıdır.

4. FAYDALI BÖCEK TÜRLERİ VE TARIMSAL ÜRETİME KATKILARI

Tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliği, zararlı ve faydalı böcekler arasındaki ekolojik dengenin korunmasına bağlıdır. Faydalı böcekler, doğrudan veya dolaylı olarak tarımsal üretime katkıda bulunarak ekosistem hizmetlerinin devamlılığını sağlarlar. Bu türler, tozlaşma, biyolojik zararlı kontrolü, ayrıştırma, toprak verimliliğinin artırılması ve çevresel denge gibi birçok işlevi üstlenir. Modern tarım sistemlerinde faydalı böceklerin korunması ve desteklenmesi, hem üretim maliyetlerinin azaltılması hem de ekosistem dayanıklılığının artırılması açısından stratejik öneme sahiptir.

4.1. Polinatör Böcekler (Tozlayıcılar)

Tozlayıcı böcekler, tarımsal üretimin en önemli biyotik unsurlarından biridir. Çiçekli bitkilerin büyük çoğunluğu, tohum ve meyve oluşturmak için böceklerle taşınan polene ihtiyaç duyar. Dünya genelinde yaklaşık 20.000'den fazla arı türü tanımlanmıştır ve bunların büyük kısmı yaban arısı türleridir (Michener, 2007).

Bal arısı (*Apis mellifera*), hem doğal ekosistemlerde hem de tarım alanlarında en yaygın tozlayıcıdır. Bal arıları, özellikle meyve, sebze ve yağ bitkilerinde (örneğin ayçiçeği, kanola, elma, kiraz, kavun) verim artışını doğrudan etkiler. Bunun dışında yaban arıları (*Bombus* spp.), kelebekler (Lepidoptera), sinekler (Diptera) ve böcekler (Coleoptera) de önemli polinatör grupları arasında yer alır.

Türkiye, 10.000'e yakın böcek türüyle polinatör çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Özellikle Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri, doğal arı popülasyonlarının korunması açısından ekolojik öneme sahiptir (Kadioğlu & Karaca, 2020). Ancak pestisit kullanımı, monokültür tarım, iklim değişikliği ve habitat parçalanması, arı ölümlerine ve polinatör çeşitliliğinde azalmaya yol açmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir tarım uygulamalarında polinatör dostu stratejilerin (çiçek şeritleri, pestisit kısıtlaması, doğal yaşam alanlarının korunması) benimsenmesi gereklidir.

4.2. Doğal Düşmanlar: Predatörler ve Parazitoidler

Faydalı böceklerin bir diğer önemli grubu, zararlı türlerin popülasyonlarını doğal yollarla baskılayan doğal düşmanlardır. Bu grup iki ana kategoriye ayrılır:

- Predatörler : Zararlı böcekleri avlayarak beslenirler.
- Parazitoidler: Zararlı böceğin içinde veya üzerinde gelişerek onu öldürürler.

4.2.1. Predatör Böcekler

Predatörler, ekosistemde biyolojik dengeyi korumada büyük rol oynar. Örneğin:

- Uğur böcekleri (*Coccinellidae*), yaprak bitleri, kabuklu bitler ve unlu bitlerle beslenir.
- Siner kanatlılar (*Chrysopidae*), özellikle pamuk ve sebze üretim alanlarında etkili biyolojik kontrol ajanlarıdır.

- Syrphidae (çiçek sinekleri) familyasındaki türlerin larvaları, yaprak bitlerinin doğal düşmanlarıdır. Bu böceklerin korunması, pestisit kullanımının azaltılması ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi açısından kritik önemdedir (Altieri, 1999).

4.2.2. Parazitoid Böcekler

Parazitoid türler, zararlı böceklerin yumurta, larva veya pupa dönemlerinde konaklayarak gelişir ve konak bireyin ölümüne yol açar.

- *Trichogramma* spp. türleri, kelebek yumurtalarına saldırarak zararlı popülasyonlarını azaltır.
- Braconidae ve Ichneumonidae familyalarına ait yaban arıları, tarımsal ekosistemlerde Önemli biyolojik kontrol ajanlarıdır. Türkiye’de özellikle *Trichogramma evanescens* türü, mısır kurdu ve pamuk zararlılarına karşı başarıyla kullanılmaktadır (Kornoşor & Öztemiz, 2018).

Doğal düşmanların etkinliği, habitat çeşitliliği ve kimyasal girdi düzeyiyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejilerinde predatör ve parazitoid türlerin desteklenmesi öncelikli hedeflerden biridir.

4.3. Ayırıştırıcı ve Toprakta Yaşayan Faydalı Böcekler

Ayırıştırıcı böcekler, ekosistem döngülerinin görünmeyen kahramanlarıdır. Bu türler, bitkisel ve hayvansal organik maddelerin parçalanmasını sağlayarak toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirir.

- Gübre böcekleri (*Scarabaeidae*) dışkıları toprağa gömer ve azot döngüsünü destekler.
- Tenebrionidae familyasına ait türler organik madde dönüşümünde görev alır.
- Karıncalar (Formicidae) toprak havalanmasını artırır, su geçirgenliğini düzenler ve tohum taşımayla bitki dağılımına katkı sağlar.

Ayırıştırıcı böceklerin yoğun olarak bulunduğu ekosistemlerde toprak verimliliği yüksek, erozyon riski ise düşüktür (Lavelle et al., 2006). Bu nedenle, sürdürülebilir tarım uygulamalarında toprak canlılarının korunması, kimyasal gübre kullanımının azaltılması ve organik madde girdisinin artırılması önerilmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Böcek biyoçeşitliliği, tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve ekolojik dengesinin temel bileşenlerinden biridir. Böcekler, doğrudan ya da dolaylı biçimde bitkisel üretimi etkileyen en geniş canlı grubunu oluştururlar. Zararlı böcekler (fitofag türler), bitki dokularıyla beslenerek verim kayıplarına, kalite düşüşlerine ve ekonomik zararlara neden olurken; faydalı böcekler (tozlayıcılar, predatörler ve parazitoidler gibi) ekosistem hizmetlerini destekleyerek bu kayıpları sınırlar ve doğal dengeyi sağlar. Ancak günümüzde artan pestisit kullanımı, monokültür tarım sistemleri, habitat kayıpları ve iklim değişikliği gibi faktörler, bu doğal dengeyi tehdit etmektedir. Sürdürülebilir tarım, yalnızca çevre dostu bir üretim biçimi değil; aynı zamanda ekonomik istikrar, gıda güvenliği ve toplum sağlığının teminatıdır. Bu yüzden Böcek biyoçeşitliliği, bu sistemin devamlılığını sağlayan en kritik ekolojik unsurlardan biridir.

Faydalı böceklerin korunması ve zararlı türlerin ekolojik temelli yöntemlerle yönetilmesi, geleceğin tarım politikalarının merkezinde yer almalıdır.

Sonuç olarak, çevre dostu üretim sistemleri, pestisit bağımlılığını azaltan politikalar ve faydalı böcek popülasyonlarını destekleyen uygulamalar; hem ekolojik hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir tarım geleceğinin temelini oluşturacaktır. Bu bağlamda, böcek biyoçeşitliliğinin korunması yalnızca çevresel bir gereklilik değil, aynı zamanda ekonomik ve gıda güvenliği açısından da stratejik bir önceliktir.

KAYNAKÇA

- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Altieri, M. A. (2002). Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1–3), 1–24. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)
- Demircan, V., Kaya, E., & Arslan, H. (2021). Türkiye’de pestisit kullanımının ekonomik ve çevresel etkileri üzerine bir değerlendirme. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 27(2), 75–89. <https://doi.org/10.24181/tarekoder.2021.27.2.75>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., ... Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>
- Güler, N., & Aktaş, N. (2020). Tarım işçilerinde pestisit maruziyeti ve sağlık etkileri: Türkiye örneği. *Halk Sağlığı Dergisi*, 2(1), 45–56.
- Güler, N., & Yücel, B. (2021). Türkiye’de polinatör böcek çeşitliliği ve ekosistem hizmetleri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(2), 125–138.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>

- Kadıoğlu, I., & Karaca, I. (2020). Tarımsal üretimde entegre zararlı yönetimi ve sürdürülebilirlik. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 21–30.
- Kaya, A., & Yücel, B. (2019). Tarımsal biyoçeşitlilik ve sürdürülebilir üretim ilişkisi. *Uluslararası Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(2), 112–121.
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kogan, M. (1998). Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43(1), 243–270. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.243>
- Kornoşor, S., & Öztemiz, S. (2018). Türkiye’de zararlılara karşı biyolojik mücadelede güncel yaklaşımlar. *Bitki Koruma Bülteni*, 58(1), 45–56.
- Kornoşor, S., & Öztemiz, S. (2020). Türkiye’de zararlılarla mücadelede entegre yaklaşımlar ve biyolojik kontrol uygulamaları. *Bitki Koruma Bülteni*, 60(1), 85–94. <https://doi.org/10.16955/bitkorb.2020.60.1.85>
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42(S1), S3–S15. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.007>
- McGeoch, M. A. (2007). The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews*, 82(4), 465–501. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00080.x>
- Michener, C. D. (2007). *The bees of the world* (2nd ed.). Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 268(2), 157–177. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.01.025>
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Öztürk, E., & Yıldırım, H. (2019). Türkiye’de biyoçeşitlilik ve sürdürülebilir tarım politikaları üzerine bir değerlendirme. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 12(1), 34–49. <https://doi.org/10.30782/tarimbilimleri.2019.12.1.34>
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2014). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. In *Integrated Pest Management* (pp. 47–71). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7796-5_3
- Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annual Review of Entomology*, 63(1), 31–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>
- TÜİK. (2022). *Tarım istatistikleri 2022*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu Yayınları.

- WHO. (2021). *The impact of pesticides on human health and the environment*. Geneva: World Health Organization.
- Woodcock, B. A., Bullock, J. M., Shore, R. F., Heard, M. S., Pereira, M. G., Redhead, J., ... Pywell, R. F. (2016). Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science*, 356(6345), 1393–1395. <https://doi.org/10.1126/science.aam7470>
- Yıldız, A., Kara, M., & Koç, G. (2021). Türkiye’de yeraltı sularında pestisit kalıntılarının analizi. *Çevre Bilimleri Dergisi*, 42(2), 85–98.

AGROEKOSİSTEMLERDE KULLANILAN PESTİSİTLERDE KALINTI SORUNU VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Prof. Dr. Mehmet KAPLAN

Siirt Üniversitesi, mehmetkaplan@siirt.edu.tr –

ORCID ID: 0000-0002-2495-8075

ÖZET

Tarımsal üretimde zararlı organizmalarla mücadele amacıyla kullanılan pestisitler, modern tarım sistemlerinin vazgeçilmez bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Ancak bu kimyasalların kontrolsüz, yoğun ve bilinçsiz biçimde uygulanması; çevresel kirlilik, biyolojik çeşitlilik kaybı ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Pestisitlerin agroekosistemlerde kalıcılığı, yalnızca hedef zararlı türlerle sınırlı olmayıp; toprak, su, hava ve tüm canlı organizmalarda birikim göstermektedir. Özellikle pestisit kalıntılarının gıda zincirinde yer alması, hem ekolojik dengeyi bozmakta hem de halk sağlığını tehlikeye sokmaktadır.

Bu çalışma, pestisitlerin çevresel kalıcılığı, biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri, su ve toprak kirliliği ile ilişkisi bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bulgular, Avrupa ülkelerinde çevre dostu politikalar ve yasal düzenlemelerle pestisit kullanımında azalma sağlandığını, ancak Türkiye’de kullanım miktarlarının son yirmi yılda belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Pestisit kalıntılarının özellikle toprak mikrobiyal aktivitesini azaltarak verimliliği düşürdüğü, sucul ekosistemlerde biyolojik birikime yol açtığı ve tozlayıcı popülasyonlar üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, pestisitlerin tamamen ortadan kaldırılması kısa vadede mümkün görünmemektedir. Ancak, entegre zararlı yönetimi, biyolojik mücadele ve agroekolojik uygulamaların yaygınlaştırılması; kimyasal bağımlılığı azaltmak ve sürdürülebilir tarımı desteklemek açısından zorunludur. Bu kapsamda ulusal mevzuatın güçlendirilmesi, çiftçi eğitimlerinin artırılması ve biyopestisitlerin kullanımının teşvik edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pestisit, kalıntı, çevresel etki, agroekosistem, sürdürülebilir tarım.

RESIDUE PROBLEM AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF PESTICIDES USED IN AGROECOSYSTEMS

ABSTRACT

Pesticides, used to combat harmful organisms in agricultural production, have become indispensable components of modern farming systems. However, the uncontrolled, excessive, and unintentional use of these chemicals poses serious threats to environmental quality, biodiversity, and human health. The persistence of pesticides in agroecosystems is not limited to target pest species; they accumulate in soil, water, air, and all living organisms. In particular,

the presence of pesticide residues in the food chain disrupts ecological balance and endangers public health.

This study provides a holistic assessment of pesticide persistence, their effects on biodiversity, and their relationship with soil and water pollution. The findings indicate that while environmentally friendly policies and legal regulations in European countries have led to a reduction in pesticide use, the amount used in Türkiye has increased significantly over the past two decades. Pesticide residues have been found to reduce soil microbial activity and fertility, cause bioaccumulation in aquatic ecosystems, and negatively affect pollinator populations.

In conclusion, the complete elimination of pesticides does not appear feasible in the short term. However, the promotion of integrated pest management, biological control, and agroecological practices is essential to reduce chemical dependence and support sustainable agriculture. In this context, it is recommended to strengthen national legislation, enhance farmer education, and promote the use of biopesticides.

Keywords: Pesticide, residue, environmental impact, agroecosystem, sustainable agriculture.

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim, insanlığın varoluşundan bu yana temel ekonomik ve sosyal faaliyetlerden biri olmuştur. Gıda güvencesinin sağlanması, artan dünya nüfusunun besin ihtiyacının karşılanması ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilmesi açısından tarım sektörü stratejik öneme sahiptir. Ancak 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yoğun kimyasal kullanımına dayalı tarımsal üretim sistemleri, hem çevresel sürdürülebilirliği hem de halk sağlığını tehdit eden sonuçlar doğurmuştur (Carvalho, 2017). Tarımsal üretimde verimliliği artırmak ve ürün kayıplarını azaltmak amacıyla geliştirilen pestisitler, başlangıçta modern tarımın en önemli yeniliklerinden biri olarak görülmüştür. Fakat zamanla bu kimyasalların çevre, insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri ortaya çıkmıştır. Özellikle pestisitlerin doğada kalıcı bileşiklere dönüşmesi, toprakta, suda ve tarımsal ürünlerde kalıntı oluşturması, hem agroekosistemlerin dengesini hem de gıda güvenliğini tehlikeye sokmaktadır (Yılmaz, 2015a; Aktar, Sengupta & Chowdhury, 2009).

Pestisitlerin kontrolsüz ve bilinçsiz kullanımı, yalnızca zararlı organizmaları değil; toprak mikroorganizmaları, tozlayıcı böcekler, balıklar, kuşlar ve diğer faydalı türleri de etkilemektedir. Bu durum ekosistemin biyolojik dengesini bozmakta, doğal döngüleri sekteye uğratmaktadır. Aynı zamanda, pestisitlerin besin zinciri yoluyla insanlara taşınması, sağlık açısından ciddi riskler oluşturmakta; kronik hastalıklar, hormonal bozukluklar, nörolojik etkiler ve kanser gibi sonuçlara yol açabilmektedir (WHO, 2020; Goulson, 2013).

Türkiye’de ve dünyada pestisit kullanımının giderek artması, bu maddelerin kontrolü, denetimi ve kalıntı yönetimi konularında ciddi politika ve uygulama gereksinimlerini gündeme getirmiştir. Avrupa Birliği (AB), “kirliliği kaynağında önleme” ilkesini benimseyerek pestisitlerin çevreye salınımını sınırlamaya yönelik yasal düzenlemeler geliştirmiştir (Grossman, 2006). Türkiye’de de benzer şekilde, “Bitki Koruma Ürünlerinin Kalıntı Limitleri

Yönetmeliği” ve “Entegre Mücadele Programı” kapsamında pestisitlerin izlenmesi ve kalıntı analizlerinin yapılması zorunlu hâle getirilmiştir (Erdoğan, 2024).

Rachel Carson’ın 1962 yılında yayımlanan *Silent Spring* (Sessiz Bahar) adlı eseri, pestisitlerin doğa üzerindeki yıkıcı etkilerine dikkat çekerek çevreci hareketlerin doğuşuna öncülük etmiştir. Carson’ın bu çalışması, çevre politikalarının gelişmesinde ve DDT gibi kalıcı organik kirleticilerin yasaklanmasında büyük rol oynamıştır. Onun ardından yapılan birçok araştırma, pestisitlerin toprak yapısını bozduğunu, sucul ekosistemlerde toksisiteye neden olduğunu ve biyolojik çeşitliliği azalttığını göstermiştir (Pimentel, 2005; Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Agroekosistemlerde pestisitlerin neden olduğu çevresel baskı, aynı zamanda ekonomik bir sorun olarak da değerlendirilmektedir. FAO (2022) raporlarına göre, pestisitlerin çevresel ve sağlık zararlarının küresel ekonomik maliyeti yıllık 50 milyar doların üzerindedir. Bu durum, pestisit kullanımında denge politikalarının önemini ve alternatif mücadele yöntemlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Son yıllarda, biyolojik mücadele, entegre zararlı yönetimi (IPM) ve agroekolojik üretim modelleri pestisit kullanımına alternatif olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, Bayhan ve Ölmez Bayhan (2023), Türkiye’de pamuk zararlılarıyla mücadelede bitkisel ekstraktların ve biyoteknik yöntemlerin etkinliğini araştırarak kimyasal pestisitlerin azaltılabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde, Yahya Al-Mizori ve Bayhan (2022), pamuk zararlıları üzerinde biyolojik mücadele uygulamalarının başarıyla sonuçlandığını bildirmiştir.

Bu literatür çerçevesinde, pestisitlerin yalnızca bir tarımsal girdi değil, aynı zamanda çevresel, sağlık ve politik boyutları olan karmaşık bir sistem unsuru olduğu görülmektedir.

2. TARIMSAL ÜRETİMDE PESTİSİT KALINTI SORUNU

Pestisit kalıntıları, tarımsal üretim sürecinde kullanılan kimyasalların hasat sonrası bitkilerde, toprakta, suda veya atmosferde belirli süre boyunca varlığını sürdürmesiyle oluşan toksik artık maddelerdir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2020) pestisit kalıntılarını, “ürünlerde, yemlerde veya çevrede insan ve hayvan sağlığı açısından risk oluşturabilecek düzeyde bulunan pestisit bileşenleri veya türevleri” olarak tanımlamaktadır.

Tarımsal ürünlerin işlenme süreçleri pestisit kalıntılarının miktarı, dağılımı ve yoğunluğu açısından önemlidir. Pestisitlerin insan ve hayvan yiyeceği olarak kullanılan ürünlerde bulunmasına göz yumulabilen kalıntı miktarına kalıntı (tolerans) denir. Pestisitlerin kullanımından sonra bitkiler ürünler üzerinde kalıntı miktarının tolerans değerinin altına düşmesi için geçmesi gereken belli bir süreye ihtiyaç bulunmaktadır. Tarımsal üretimde pestisit kalıntısı düzeyine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında ürünün çeşidi, pestisit çeşitli özellikleri (etki şekli, kimyasal yapısı, vb.), iklim şartları, pestisit uygulama zamanı ile hasat arasında geçen süre sayılabilir.

Domateslerde yapılan çalışmada, ilki fideler şaşırtıldıktan bir ay sonra olmak üzere, bitkilere 2 kez chlorpyrifos uygulaması yapılmıştır. Ağustos, eylül ve ekimde hasat edilen meyvelerde sırasıyla 0.27, 0.25 ve 0.18 ppm kalıntı, saptanmıştır. İşlenen domateslerde kalıntı %21-39

düzeyinde azalırken, salçada 3-4 kat artmıştır (Aysal, et al., 1999). Ürünlerdeki kalıntı miktarlarına yıkama, soyma, pişirme vb. işlemlerin de etkisi bulunmaktadır. Ispanak, karnabahar, patates, domates ve bamyada chlorpyrifos kalıntısı konusunda yapılan bir çalışmada, kalıntı yıkama ile %15-33, kabuk soyma ile %65-85 ve pişirme ile de %12-48 oranında azalmıştır. Diğer taraftan, ana pestisit parçalanma ürünü olan chlorpyrifos'un ise, 3,5,6-trichloro-2-pyridano (TCP) yoğunluğu, ısı işlem sonrasında artış göstermiştir (Randhawa et al., 2007).

Pestisit kalıntıları, agroekosistemlerin sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen en kritik çevresel sorunlardan biridir. Özellikle tarımda pestisitlerin aşırı ve bilinçsiz kullanımı, toprakta ve yeraltı sularında birikime neden olmakta, böylece ekosistem sağlığını tehdit etmektedir. Tarımsal ürünlerde kalıntı miktarının yüksek olması, gıda güvenliği açısından da büyük bir tehlike yaratmaktadır (FAO, 2022). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi'nin (EFSA, 2019) yıllık raporuna göre, Avrupa Birliği ülkelerinde analiz edilen 88.000 gıda örneğinin %4,1'inde yasal sınırların üzerinde pestisit kalıntısı tespit edilmiştir. Türkiye'de ise Anonim (2023) tarafından yürütülen Kalıntı İzleme Programı kapsamında, incelenen 12.000 gıda örneğinin yaklaşık %3,8'inde limit üstü pestisit kalıntısı bulunmuştur. Bu durum, pestisit kalıntılarının hem küresel hem de ulusal düzeyde ciddi bir halk sağlığı sorunu olduğunu göstermektedir.

Pestisitlerin kalıcılığı, kullanılan maddenin kimyasal yapısına, uygulama dozuna, çevresel koşullara ve tarım alanındaki toprak özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle klorlu hidrokarbonlar ve organofosfat grubu pestisitler, çevrede uzun süre kalıcı olabilmekte, yağmur suları aracılığıyla geniş alanlara taşınabilmektedir (Aktar et al., 2009). Bu nedenle pestisit kalıntıları sadece uygulama yapılan alanlarda değil, kilometrelerce uzaktaki doğal ekosistemlerde de tespit edilebilmektedir (Goulson, 2013).

3. PESTİSİTLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Pestisitlerin çevre üzerindeki etkileri çok boyutludur. Bu etkiler yalnızca hedef zararlı organizmalarla sınırlı kalmaz; toprak, su, hava, biyolojik çeşitlilik ve genel ekosistem fonksiyonları üzerinde de kalıcı değişimlere yol açar (Carvalho, 2017).

3.1. Toprak Üzerindeki Etkiler

Pestisitlerin büyük bir kısmı uygulama sonrası toprakta birikir. Topraktaki mikrobiyal aktivite, pestisitlerin parçalanması ve ekosistem dengesinin sürdürülmesinde kritik bir role sahiptir. Ancak pestisit kalıntıları, toprak mikroorganizmalarının çeşitliliğini azaltarak organik madde döngüsünü olumsuz etkiler (Zhang et al., 2020).

Türkiye'de yapılan bazı çalışmalarda pestisitlerin toprak biyotasını bozduğunu, özellikle yoğun tarım yapılan alanlarda solucan popülasyonlarının azaldığını göstermektedir (Erdoğan, 2024). Bu durum, toprağın fiziksel yapısını ve su tutma kapasitesini olumsuz yönde etkileyerek verim kaybına neden olmaktadır.

3.2. Su Kaynakları Üzerindeki Etkiler

Pestisitlerin önemli bir kısmı, yağış ve yüzey akışı yoluyla yeraltı ve yerüstü sularına karışmaktadır. FAO (2022) raporuna göre, dünya genelinde tatlı su kaynaklarının %35'inde

pestisit kalıntılarında rastlanmıştır. Türkiye’de de Ege ve Akdeniz bölgelerinde yürütülen araştırmalar, sulama sularında organofosfat ve karbamat pestisit kalıntılarının bulunduğunu göstermektedir (Yılmaz, 2015a; Karaer & Gürlük, 2003). Bu tür kirlenmeler, sadece tarımsal alanlarda yaşayan canlıları değil, sucul ekosistemlerdeki balıklar, kabuklular ve alg türlerini de etkilemektedir. Pestisitlerin suda birikmesi, besin zinciri aracılığıyla biyomagnifikasyona neden olmakta; bu da insan sağlığı üzerinde dolaylı toksik etkilere yol açmaktadır (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

3.3. Hava ve Atmosfer Üzerindeki Etkiler

Uçucu özellik taşıyan pestisit bileşikler, uygulama sırasında ya da sonrasında atmosfere karışarak rüzgâr yoluyla taşınabilir. Bu süreç, pestisitlerin geniş alanlarda yayılmasına ve tarım dışı ekosistemlerin de etkilenmesine neden olur. Örneğin, klorpirifos ve permetrin gibi bileşiklerin atmosfere salınarak uzak bölgelere taşındığı ve orman ekosistemlerinde bile tespit edildiği bildirilmektedir (Pimentel, 2005). Ayrıca, pestisitlerin fotokimyasal reaksiyonlarla bozunması sırasında ortaya çıkan gazlar, atmosferde sera gazı etkisi yaratabilir. Bu durum, iklim değişikliği süreçleriyle dolaylı bir ilişki kurmaktadır (FAO, 2022).

3.4. Biyoçeşitlilik Üzerindeki Etkiler

Pestisitlerin biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri, son yıllarda en çok tartışılan konulardan biridir. Özellikle tozlayıcı böcekler, doğal düşman türleri ve kuş popülasyonları üzerinde gözlenen azalmalar, pestisit kullanımının doğrudan bir sonucu olarak değerlendirilmektedir (Goulson, 2013). Avrupa’da yapılan araştırmalar, neonikotinoid grubu pestisitlerin arı ölümlerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Türkiye’de de tarımsal alanlarda yoğun pestisit kullanımının, arı kolonilerinin dayanıklılığını azalttığı rapor edilmiştir (Yiğit Baş et al., 2019).

Pestisitlerin hedef dışı organizmalar üzerindeki toksik etkileri, yalnızca tür sayısının azalmasına değil, ekosistem fonksiyonlarının zayıflamasına da yol açmaktadır. Özellikle biyolojik kontrolün doğal denge unsurlarını zayıflatması, zararlı türlerin yeniden artmasına neden olarak “pestisit bağımlılığı döngüsünü tetiklemektedir (Bayhan & Ölmez Bayhan, 2021).

4. İNSAN SAĞLIĞI VE GIDA GÜVENLİĞİ AÇISINDAN PESTİSİT KALINTILARI

Pestisit kalıntıları yalnızca çevresel sistemleri değil, doğrudan insan sağlığını da tehdit etmektedir. Gıdalarda biriken pestisit kalıntıları, vücuda alındığında çeşitli biyokimyasal bozukluklara neden olabilir. Her pestisit zararlı olan günlük alınabilir miktarı bulunmaktadır. Tarımsal ürünlerde pestisit kalıntılarının varlığı direk insan sağlığını etkilediğinden gıda güvenliği kapsamında ilgilenilen önemli konulardan birisidir (Kaushik et al., 2009).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2020), her yıl yaklaşık üç milyon kişinin pestisit zehirlenmesinden etkilendiğini ve 200.000 kişinin bu nedenle yaşamını yitirdiğini bildirmektedir. Pestisitlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri, maruziyet düzeyi, kimyasal yapısı ve bireysel duyarlılığa bağlı olarak değişmektedir. Akut zehirlenmeler, kısa sürede yüksek dozda pestisit alımıyla meydana gelir ve baş dönmesi, mide bulantısı, kas krampları gibi

belirtilerle kendini gösterir. Kronik zehirlenmeler ise uzun süreli düşük doz maruziyet sonucu gelişir; kanser, hormonal bozukluklar, üreme sistemi hasarları, nörolojik hastalıklar gibi kalıcı sonuçlar doğurabilir (Damalas & Eleftherohorinos, 2011). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA, 2019), pestisit kalıntılarının özellikle çocuklarda nörogelişimsel bozukluklarla ilişkili olabileceğini vurgulamıştır. Türkiye’de yürütülen saha çalışmaları da, pestisitlere maruz kalan çiftçilerde nörolojik belirtiler ve karaciğer fonksiyon bozukluklarının arttığını ortaya koymuştur (Yılmaz, 2015a; Erdoğan, 2024).

Pestisit kalıntılarının gıda zincirine geçişi, en sık meyve ve sebzeler üzerinden gerçekleşmektedir. Elma, üzüm, domates, biber, çilek ve salatalık gibi ürünlerde yapılan analizlerde, bazı pestisitlerin MRL değerlerini aştığı belirlenmiştir (Anonim, 2023). Bu durum, hem ihracatta kalıntı kaynaklı red oranlarını artırmakta hem de tüketici güvenini zedelemektedir. Bu nedenle, pestisit kalıntılarının izlenmesi ve azaltılması yalnızca bir çevre politikası değil, aynı zamanda bir halk sağlığı stratejisi olarak görülmelidir. Türkiye’de pestisitlerin kullanımını düzenleyen yönetmelikler geliştirilmiş olsa da, uygulamada denetim eksiklikleri ve eğitim yetersizlikleri sorunun sürmesine neden olmaktadır (Eryılmaz & Kılıç, 2018).

5. SOSYO-EKONOMİK VE POLİTİK BOYUT

Pestisit kullanımı, yalnızca teknik bir tarım sorunu değil, aynı zamanda ekonomik, politik ve toplumsal bir meseledir. Pestisitlerin yaygın kullanımının arkasında, kısa vadeli verim artışı hedefi, üretici alışkanlıkları, piyasa baskıları ve ulusal tarım politikalarının etkisi vardır. Gelişmiş ülkelerde pestisit kullanımı, sıkı yasal düzenlemeler ve izleme programlarıyla kontrol altında tutulmaktadır. Avrupa Birliği, 2009/128/EC sayılı “Sürdürülebilir Pestisit Kullanımı Direktifi” ile pestisitlerin çevresel ve sağlık risklerinin azaltılmasını hedeflemiştir. Bu direktif kapsamında, “Entegre Zararlı Yönetimi (IPM)” ilkeleri benimsenmiş; pestisitlerin yalnızca zorunlu durumlarda kullanılması, kimyasal yerine biyolojik ve kültürel yöntemlerin önceliklendirilmesi öngörülmüştür (European Commission, 2020).

Türkiye’de ise pestisit kullanımı ve ruhsatlandırılması “Bitki Koruma Ürünleri Yönetmeliği” kapsamında düzenlenmektedir. Ancak, pestisitlerin satış ve uygulama süreçlerinde denetim eksiklikleri, bilinçsiz kullanımın sürmesine neden olmaktadır (Erdoğan, 2024). Ayrıca, çiftçilerin ekonomik nedenlerle ucuz ve yüksek kalıcılığa sahip pestisitleri tercih etmesi, çevre ve sağlık üzerindeki etkileri artırmaktadır (Yılmaz, 2015b).

Sosyo-ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, pestisitlerin olumsuz etkileri genellikle kırsal kesimde yaşayan çiftçileri ve tarım işçilerini doğrudan etkilemektedir. Koruyucu ekipman eksikliği, düşük eğitim düzeyi ve yetersiz sağlık denetimleri bu grupları daha savunmasız hâle getirmektedir (FAO, 2022). Ayrıca, pestisit kalıntısı nedeniyle reddedilen tarım ürünleri, üreticilerin gelir kaybına uğramasına yol açmakta, bu durum tarım ekonomisinde istikrarsızlık yaratmaktadır (Karaer & Gürlük, 2003).

Pestisit politikalarının etkin olabilmesi için yalnızca yasal düzenlemeler değil, aynı zamanda çiftçilerin farkındalığını artıracak eğitim programlarının uygulanması gerekmektedir. Tarımsal danışmanlık hizmetlerinin güçlendirilmesi, üretici birliklerinin pestisit yönetiminde aktif rol

üstlenmesi ve çevre dostu teşvik sistemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Grossman, 2006).

6. SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Sürdürülebilir tarım, mevcut üretim ihtiyaçlarını karşılarken gelecek kuşakların doğal kaynaklardan yararlanma hakkını koruyan bir üretim sistemidir. Bu yaklaşım, kimyasal pestisitlere bağımlılığın azaltılması ve çevre dostu mücadele yöntemlerinin benimsenmesi üzerine kuruludur.

6.1. Entegre Zararlı Yönetimi (IPM)

IPM, zararlı popülasyonlarını ekonomik zarar eşiği altında tutmak amacıyla biyolojik, kültürel, fiziksel ve kimyasal mücadele yöntemlerinin entegre biçimde uygulanmasını öngörür. IPM programları, pestisit kullanımını %50'ye kadar azaltırken, üretimde verim kaybı yaşanmadan çevresel riskleri düşürmektedir (Pimentel, 2005; FAO, 2022). Türkiye'de bazı pilot bölgelerde IPM uygulamaları başarılı sonuçlar vermiş; özellikle pamuk, narenciye ve sebze üretiminde pestisit tüketimi önemli oranda azalmıştır (Erdoğan, 2024).

6.2. Biyolojik Mücadele ve Doğal Ürünler

Biyolojik mücadele, zararlı organizmaların doğal düşmanlarının kullanımı yoluyla popülasyonlarının kontrol edilmesini hedefler. Türkiye'de yürütülen çalışmalar, bitkisel kökenli doğal pestisitlerin birçok zararlı üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Örneğin, *Melia azadirachta* (Neem ağacı) ekstraktlarının yaprak bitlerine karşı etkin olduğu (Bayhan, Ölmez Bayhan & Taşkıran, 2018), kekik uçucu yağlarının ise *Sitophilus* türleri üzerinde toksik etki yarattığı bildirilmiştir (Yiğit Baş et al., 2023). Ayrıca, mikrobiyal preparatlar (ör. *Bacillus thuringiensis*) ve entomopatojen nematodlar da biyolojik mücadelede yaygın biçimde kullanılmaktadır (Yahya Al-Mizori & Bayhan, 2022). Bu tür uygulamalar, pestisit bağımlılığını azaltarak agroekosistemlerin ekolojik dengesini korumada önemli bir araçtır.

6.3. Organik Tarım ve Agroekolojik Yaklaşımlar

Organik tarım, sentetik kimyasal girdilerin tamamen dışlandığı ve doğal döngülerin ön planda tutulduğu bir üretim sistemidir. Türkiye'de organik tarım alanı 2023 itibarıyla 550.000 hektarın üzerindedir (TÜİK, 2024). Bu üretim modelinde, zararlı kontrolü biyolojik preparatlar, feromon tuzakları ve kültürel önlemlerle sağlanmaktadır.

Agroekoloji ise ekosistem prensiplerini tarım sistemlerine entegre ederek hem çevresel hem sosyal sürdürülebilirliği hedefler. Bu yaklaşım, pestisit kalıntılarını minimize ederken toprağın biyolojik aktivitesini artırmakta ve karbon döngüsünü dengelemektedir (Altieri & Nicholls, 2017).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pestisitlerin kullanımı, tarımsal üretimde zararlı organizmalarla mücadelede yüksek verim ve ürün kalitesi sağlamak açısından önemli bir araçtır. Ancak, pestisit sorununun kalıcılığı,

günümüz tarımsal sisteminin en önemli zorluklarından biridir. Pestisitler kısa vadede ürün kayıplarını azaltarak gıda güvenliğini desteklese de, uzun vadede çevresel tahribat, biyolojik çeşitlilik kaybı, insan sağlığına yönelik riskler ve ekonomik bağımlılıklar yaratmaktadır.

1. **Çevresel boyut:** Pestisitler toprak, su ve hava yoluyla ekosistemlere yayılmakta; biyoakümülyasyon ve biyomagnifikasyon yoluyla besin zincirinde birikmektedir. Polinatör kayıpları ve ekosistem hizmetlerindeki zayıflama, bu sürecin en belirgin sonuçlarıdır.

2. **Sağlık boyutu:** Akut zehirlenmeler, kronik hastalık riskleri, gıdalardaki kalıntılar ve çocuklar gibi hassas gruplar üzerindeki etkiler, pestisitleri küresel bir halk sağlığı sorunu haline getirmektedir.

3. **Sosyo-ekonomik ve politik boyut:** Çiftçilerin pestisit bağımlılığı, çok uluslu şirketlerin pazar hakimiyeti ve yetersiz düzenleyici politikalar, sorunun çözümünü güçleştirmektedir.

Sorunun çözümü, yalnızca pestisit kullanımının kısıtlanmasına indirgenemez. Entegre zararlı yönetimi, organik ve agroekolojik tarım gibi sürdürülebilir alternatifler; etkin denetim mekanizmaları; çiftçilerin bilinçlendirilmesi ve desteklenmesi; küresel işbirliği ile mümkün olabilir.

Sonuç olarak, pestisit kullanımının, teknik, sosyal, ekonomik ve politik boyutlarıyla bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Aksi takdirde, kısa vadeli verimlilik uğruna hem ekosistemlerin hem de gelecek nesillerin sağlığı ciddi şekilde tehlikeye girecektir.

KAYNAKÇA

- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). *Agroecology: Science and politics*. IIED and FAO.
- Anonim. (2021a). *Pestisitlerin insan ve çevre üzerindeki etkileri*. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. <https://www.zmo.org.tr>
- Anonim. (2023). *Bitki Koruma Ürünleri Kalıntı İzleme Programı Yıllık Raporu*. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü.
- Aysal, P., K. Gözek, N. Artık and Tunçbilek, A.S., (1999). 14C-chloropyrifos residues in tomatoes and tomato products. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 62: 377-382.
- Bayhan, E., & Ceylan, A. (2024). Pesticides in agricultural products and health effect. In Y. E. Arıcan & E. H. Osmanoğlu (Eds.), *Food Safety* (pp. 145–158). Nobel Publishing.
- Bayhan, E., & Ölmez Bayhan, S. (2021). Tarımsal zararlılara karşı biyolojik mücadele yöntemi. In Y. K. Haspolat, C. Çeltik, K. B. Çarman, Ü. E. Akbulut, & T. Taş (Eds.), *Çocuk Kronik Hastalıklarında Beslenme 4: Halk Sağlığı ve Beslenme* (pp. 645–650). Orient Yayınları.
- Bayhan, E., & Ölmez Bayhan, S. (2023). New approaches in chemical pest control against insects. In H. Çetinkaya, İ. Gül, D. Şentürk Demirel, & Y. K. Haspolat (Eds.), *New Horizons in Agriculture – Part 1* (pp. 155–161). Orient Yayınları.

- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin.
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60.
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402–1419.
- Erdoğan, C. (2024). Türkiye’de ve dünyada bitki koruma ürünlerinin kullanımının değerlendirilmesi ve öneriler. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(2), 382–392.
- Eryılmaz, G. A., & Kılıç, O. (2018). Türkiye’de sürdürülebilir tarım ve iyi tarım uygulamaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 624–631.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2019). Annual report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, 17(6), e05743. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5743>
- European Commission. (2020). *Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system*. Brussels: European Union Publications.
- FAO. (2022). *The state of the world’s agriculture and food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Goulson, D. (2013). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 977–987.
- Groosman, J. (2006). The impact of pesticide use on agricultural ecosystems. *Environmental Research Journal*, 12(3), 145–158.
- Kaplan, M. (2019). Determining the criterion and biotechnical struggle methods against *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae) harming in apricot orchards in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(9), 6701–6706.
- Karaer, F., & Gürlük, S. (2003). Gelişmekte olan ülkelerde tarım-çevre-ekonomi etkileşimi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 4(2), 197–206.
- Kaushik, G., Satya, S., Naik, S.N., (2009). Food processing a tool to pesticide residue dissipation – A review. *Food Research International* 42: 26–40.
- Kışlalıoğlu, M., & Berkes, F. (1985). *Ekoloji ve çevre bilimleri*. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayınları.
- Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7(2), 229–252.
- Randhawa, M.A., F.M. Anium, A. Ahmed and M.S. Randhawa, (2007). Field incurred chlorpyrifos and 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol residues in fresh and processed vegetables. *Food Chemistry*, 103:1016-1023

- Tiryaki, O. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 154–169.
- TÜİK. (2024). *Tarımsal Girdi Fiyat Endeksi ve Pestisit Kullanım İstatistikleri 2024*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.
- Whorton, J. (1974). *Before Silent Spring: Pesticides and public health in pre-DDT America*. Princeton University Press.
- World Health Organization (WHO). (2020). *Pesticide residues in food – 2020 report*. Geneva: WHO Press.
- Yahya Al-Mizori, H., & Bayhan, E. (2022). The effects of some insecticides on cotton pests and their predators. In S. Ölmez Bayhan & M. Kaplan (Eds.), *Sürdürülebilir Tarımda Bitki Koruma Çalışmaları* (pp. 145–164). Paradigma Akademi Yayınları.
- Yılmaz, H. (2015a). Analysis in terms of environmental awareness of farmers' decisions and attitudes in pesticide use: The case of Turkey. *Bulgarian Chemical Communications*, 47(3), 771–775.
- Yılmaz, H. (2015b). Farm level analysis of pesticide use in sweet cherry (*Prunus avium* L.) growing in West Mediterranean region of Turkey. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 14(3), 115–129.
- Yiğit Baş, Ş., Akça, İ., Bayhan, E., Ölmez Bayhan, S., Tekin, F., & Saruhan, İ. (2019). Determining the toxicity of some thyme essential oils against the pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae). *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(3), 226–230.
- Zhang, J., Yin, Y., Wang, H., & Zhou, X. (2020). Effects of pesticide residues on soil microbial diversity. *Environmental Pollution*, 261, 114205.

SOCIO-CULTURAL AND ECOLOGICAL DIMENSIONS OF GREEN LANDSCAPES IN INDUSTRIAL AREAS

Feran AŞUR¹, Elif AKPINAR KÜLEKÇİ²

¹Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape
Architecture,
feranekasur@gmail.com, ORCID-ID: 0000-0001-9480-5536

²Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape Architecture,
eakpinar@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2818-8562

Abstract

With rapid technological change and the acceleration of global urbanization, former industrial sites on the urban periphery have been relegated to urban centers. Increasingly, industrial facilities are being abandoned when they no longer fulfill their intended purpose. This puts significant pressure on urban ecology and land resource management. These abandoned industrial sites not only cause persistent pollution problems but also exacerbate the urban heat island effect, leading to an unfavorable microclimate. Furthermore, these structures, which have endured from the past to the present, form a part of urban space and urban memory. Therefore, it is necessary to evaluate industrial heritage sites within the context of cultural landscapes. To address these problems, the concept of green landscaping has emerged as a sustainable ecological restoration strategy and is an important tool for urban renewal and industrial land transformation.

This study examines the social and ecological impacts of green landscaping, particularly in abandoned and abandoned industrial areas in urban areas. It emphasizes the crucial role of green infrastructure and planting designs in reducing the urban heat island effect and improving the quality of life by supporting the sustainable development of urban landscapes, from a social and ecological perspective.

Keywords: Industrial areas, landscape rehabilitation, ecological impacts, urban renewal.

Introduction

Although cities have a history dating back approximately five thousand years, they continue to change and develop. Their transformation continues as a result of technological advancements, economic development, and changes (Uzun, 2017). Today, urban industrial areas generally refer to abandoned industrial land, buildings, and facilities located within a city. These include factories, warehouses, railway facilities, power plants, mining sites, and other industrial structures or areas. After abandonment, these areas face problems such as pollution, waste accumulation, and insufficient resource utilization. They create a "gray zone" within the city and negatively impact the city's aesthetics and ecological functions (Li et al., 2016; Chan et al., 2019). Whether a small warehouse or a large industrial site, the impact of factories on a population's daily lives is complex and often negative. The impacts can encompass a range of interrelated scales and aspects at the site, building, and process levels, from ecological concerns to perceptual-aesthetic and social issues.

Industrial facilities alter every aspect of their environment, creating numerous environmental problems and creating an artificial environment. These problems include soil, water, and air pollution, pollution from waste, poorly selected industrial sites, noise and visual pollution, the failure to protect existing green spaces, and the formation of ecosystems that are inimical to life.

Problems and Solutions in Industrial Landscapes

The industrial revolution, which affected cities and their residents economically and socially, led to an increasing number of industrial structures, which over time became a major problem for the city. Unable to keep pace with technological advancements, these structures were also unable to keep pace with the city's rapid development due to factors such as population growth, the physical expansion, and expansion of the city. Due to these problems, industrial structures located on the city peripheries remained idle in city centers (Huber, 2000; Fan et al., 2020; Yiğitoğlu, 2020) and were abandoned. These massive structures, which remained within the city and became dysfunctional spaces, began to harm the city and its residents ecologically, economically, and socially. These areas, which began to burden the city and create visual pollution and are also called decay, were evaluated through approaches such as demolition, renewal, restoration, recycling, and reuse (Erdem et al., 2022). Furthermore, some industrial facilities fail to meet modern environmental standards and are forced to close or relocate, leaving behind contaminated land that has become industrial facilities. These areas often harbor hazardous substances that contaminate soil and water (Khan and Ghour, 2011; Li et al., 2016). In industrial facilities, extensive exposed hard surfaces and abandoned building materials absorb solar heat, creating localized high-temperature zones. Furthermore, the lack of vegetation on industrial land significantly intensifies the urban heat island effect (Tian et al., 2021).

Industrial areas offer significant reuse potential. With appropriate renovation and optimized design, these areas can be transformed into urban green spaces, parks, or ecological restoration zones and seamlessly reintegrated into the urban functional framework. Drawing on the concept of green infrastructure, green landscapes can play a key role in restoring and repurposing urban industrial areas (Harnik, 2012). With appropriate planning and design, these areas can be

transformed into new drivers of urban development, and their reuse can become a key theme in urban planning. In recent years, the concept of green infrastructure has gained significant traction and emerged as a key ecological solution in urban planning (Chatzimentor, 2020). Green infrastructure is a holistic urban and regional planning concept focused on a network of interconnected green spaces. These spaces include urban greenways, parks, wetlands, rain gardens, and native vegetation. The fundamental principle of green infrastructure is to utilize natural elements to create comfortable and functional environments.

The Relationship of Abandoned Industrial Areas with the Urban Landscape

The rapid increase in land values in cities, the perceived value of industrial areas due to their location, and their ability to enhance the quality of urban space have necessitated the reprogramming and renewal of these spaces (Kaya et al., 2015). In recent years, the idea of locating industrial areas outside city centers, which have begun to gain value and undergo transformation with technological advancements, has been adopted. Furthermore, there is a growing interest in utilizing unused, dysfunctional, and dilapidated industrial areas within the city. Transforming these spaces into parks through landscaping will enhance the quality of life of people under urban pressure by impacting their daily lives, such as recreation, entertainment, and sports. The renovation of old industrial areas within the city is also an indication that cities are entering a process of restructuring with new functions and new forms (Yurtseven, 2021).

At this point, the issue of preserving historical industrial heritage comes to the fore. Industrial heritage consists of the architectural, historical, and social remnants of industrial culture. Factories, workshops, warehouses, and industrial spaces form part of these remnants. The idea of repurposing industrial structures first gained prominence in the 1950s and spread to England (Büyükarıslan and Güney, 2013).

Industrial spaces contribute to the city socially, economically, and visually as a result of their activities within the city. Furthermore, they can provide aesthetic, visual, and economic benefits to the city after their closure. Because industrial spaces possess the potential they possess, they can be described as a complex of systems working for the benefit of the city and its residents (Kaya et al., 2015). In this regard, the renewal of former industrial spaces in harmony with nature through landscape projects and practices brings with it the idea of improving the quality of urban life.

One of the best examples of renewal is "The High Line Park" in New York, a project chosen after an international competition, which transformed an old, disused railway line into a public space (Figure 1). The railway line, which was partially demolished in 1960 and whose service was discontinued in 1980, has been transformed into a 2.5-kilometer-long urban park elevated above street level (Gönlügür, 2006). The railway line has access from nine different points and a 2.3-kilometer-long uninterrupted walking path, and users can encounter 210 plant species along the line (Bezgin, 2014).



Figure 1. Transformation of the renewed railway line into a public space (Anonymous 2025a).

Ecological Dimensions of Green Landscapes in Industrial Areas

As industrial development disregards ecological values, cities have become centers of environmental degradation and pollution, leading to ecological changes resulting in increasing environmental problems. This ecological degradation in industrial areas needs to be reconsidered according to ecological criteria that consider ecological sensitivities and interactions. The integration of green infrastructure into urban areas offers numerous benefits. In terms of climate regulation, it effectively reduces thermal radiation, absorbs heat emissions from surrounding areas, and increases overall comfort. In terms of improving wind environment, it helps balance wind speeds, reduce evaporation, and create more comfortable environmental conditions (Monteiro et al., 2020; Qingjuan et al., 2022). Many successful international examples have demonstrated the role of green infrastructure in revitalizing industrial areas. For example, Nordstern Park in Germany and Millennium Park in Chicago, USA, have successfully transformed former industrial areas through ecological restoration and landscape redevelopment. These projects not only improved environmental conditions but also provided valuable cultural and recreational spaces for urban residents (Yabuki et al., 2013; Park et al., 2014; Mingcheng et al., 2021; Wu and Shan 2024).

Unlike traditional gray infrastructure, which relies on hard pavement and concrete, green infrastructure incorporates features such as native plants, green roofs, and water features to enhance urban design. It plays a significant role in promoting ecological sustainability and improving urban livability (Kim and Tran, 2018; Ying et al., 2022; Hostetler et al., 2011).

Sustainable ecological functions can be achieved through appropriate plant designs to minimize the impact of adverse environmental conditions created by industry. These include cleaning dust and harmful gases in polluted air, absorbing noise, creating a microclimate effect and creating habitats for diverse species, restoring the disrupted balance with nature, and improving environmental quality of life by facilitating airflow.

Noise generated by urbanization, industrialization, and vehicle traffic is a significant environmental problem. Artificial barriers and living elements can be used to reduce noise, and

noise can be controlled. To achieve the desired results from plant noise barriers, attention should be paid to the characteristics and type of plant material used, as well as the application principles. Curtains composed of large, hard, and densely planted plants, often combined with densely planted shrubs, bushes, and trees, installed close to the noise source and at least 7-8 m wide, are more effective in blocking noise (Finke, 1980). In addition to the general characteristics of plants in terms of color, shape, size, and texture, their seasonal changes, and the compositions they create with living and non-living elements are important factors in creating visual impact. Plant designs can create high-quality visuals by masking undesirable views in the immediate vicinity of industrial areas. Furthermore, plants can emit pleasant scents into the environment with their leaves and flowers. If there is a persistent source of unpleasant odors in the area, planting them with attention to wind direction can reduce unpleasant odors and create a pleasant aromatic effect.

Socio-Cultural Dimensions of Green Landscapes in Industrial Areas

Industrial areas, which have left their mark not only on cities but also on people's thoughts and lives with their socio-cultural dimensions beyond the economy, lost their impact in the face of new technologies in the early 20th century and transformed into industrial areas that had lost their function, referred to as "industrial heritage" (Elhan, 2009). Abandoned industrial areas, often contaminated with hazardous substances, lead to social injustice in the surrounding communities. The redevelopment of industrial lands has brought sustainable development expectations to the communities living in and around them. These areas, also defined in the literature as brownfields, abandoned industrial zones, industrial heritage, industrial culture, heritage industry, industrial archaeological sites, and industrial landscapes, have also been recognized as an interdisciplinary field of study (Saraylı, 2020).

A literature review has identified various studies aimed at rehabilitating these industrial structures, which have lost their unique character and have been partially or completely lost their function, often referred to as collapses, industrial heritage, and industrial archaeology (Furlan, 2018; Erkartal, 2018). Industrial facilities and structures located in the city center, viewed as massive, dysfunctional structures, are now considered part of cultural heritage. In this context, it is crucial to examine, evaluate, and consider the importance of preserving the industrial era, one of the eras the city experienced, and the traces left in the memories behind it. Therefore, because they represent an existing culture, they should be evaluated within the context of the cultural landscape (Erdem et al., 2022). Disused industrial areas are important areas that contribute to the social benefit of the public by shaping cultural heritage sites, contributing to human well-being and the value of a country's identity. These spaces create diverse social environments within the city and contribute to the preservation of its industrial heritage. In this context, former industrial areas are being considered within the scope of urban renewal and revitalized as public spaces such as museums, exhibition spaces, recreational areas, or cultural centers. The transformation of abandoned industrial areas into public spaces represents a significant increase in quality of life and land use, and also represents a renewed commitment to transforming once-industrial areas into new cultural and environmental uses.

In this context, one of the best examples of a revitalized and revitalized gasworks in Istanbul is the Museum Gasworks (Figure 2). Located on the Anatolian side of Istanbul, the Hasanpaşa

Gasworks, also known as the Kadıköy Gasworks, was built in 1892 to supply gas. Located in Kadıköy, the historic industrial building is currently used as a cultural center. Once one of Istanbul's most important industrial buildings, the building lost its gasworks function with the arrival of natural gas in 1993. In 2021, it changed its function and name, transforming it into a cultural, artistic, scientific, and event space called the "Museum Gasworks" and opening its doors to the public (Anonymous 2025b).



Figure 2. Transformation of the Gazhane Museum into a culture-art, science, and event space (Anonymous 2025b).

Conclusion and Recommendations

In order to ensure the sustainability of both production and ecosystems in the development of urban areas, and particularly industrial zones, it is essential to integrate ecological and social dimensions, as well as economic ones, into production-oriented policies. Furthermore, to ensure the integration of urban ecology and industry in these areas, landscape projects and practices must be compatible with ecological, social, economic, functional, and aesthetic aspects. This study specifically addresses the socio-cultural and ecological dimensions of green landscapes in industrial areas.

Open and green spaces serve as ecological resources in restoring degraded ecosystems in industrial zones. Utilizing open and green spaces in this regard requires the proper integration of planting plans in line with the aesthetic and functional principles of urban ecology and plant ecology. In a holistic ecological urban planning approach, in addition to increasing the density of natural and green spaces, the selection of plant species in green spaces should utilize local plant species appropriate to ecological conditions, and landscape planning and designs that benefit biodiversity should be implemented. Landscape restoration projects in industrial zones can achieve sustainable landscapes that consider not only the environmental but also the social and cultural aspects of their use (Loures et al., 2010). The acquisition of new functions and functions within the scope of urban renewal for old industrial zones, which are currently idle, have lost their value, and are considered urban lost areas, is crucial for both environmental and socio-cultural sustainability. These idle areas, particularly in urban areas, can be transformed into cultural, artistic, scientific, and event spaces, creating positive social impacts. Furthermore,

when old industrial areas are converted into industrial parks, renovations that integrate cultural and natural elements, achieve a balance between conservation and use, and implement energy-efficient planning are crucial for the sustainable use of these areas by both the city and its residents.

In conclusion, it is evident that old industrial zones, even after completion of their operations within the urban renewal process, retain visual, aesthetic, recreational, economic, and, most importantly, ecological and social significance for cities and their residents. However, successful implementation requires collaborative design and planning efforts between the public, authorities, and central institutions. At this point, considering a sustainable and ecological approach will safeguard the future of the industrial heritage and contribute to the preservation of the open green spaces that cities need. This achievement will help pass on the industrial heritage to future generations.

References

- Ai, J., & Kim, M. (2025). Research on Plant Landscape Design of Urban Industrial Site Green Space Based on Green Infrastructure Concept. *Plants*, 14(5), 747.
- Anonymous 2025a. <https://www.archdaily.com/24362/the-new-york-high-line-officially-open>
- Anonymous 2025b. <https://www.gazetekadikoy.com.tr/cevre/gazhane-iklim-mzesi-oluyor>
- Bezgin, N. (2014). Hizmet Dışı Kalmış Bir Ulaştırma Yapısının Çağdaş Kentsel Arayışlar İçerisinde Yaratıcı Şekilde Dönüşümü ve Kazanımı: The High Line Project-Manhattan, New York City. *8 Kasım Dünya Şehircilik Günü 38. Kolokyumu*, (s. 1). İstanbul.
- Büyükarıslan, B., ve Güney, E. (2013). Endüstriyel Miras Yapılarının Yeniden İşlevlendirilme Süreci ve İstanbul Tuz Ambarı Örneği. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 31-58.
- Yabuki, N.; Onoue, T.; Fukuda, T.; Yoshida, S. (2013). A heatstroke prediction and prevention system for outdoor construction workers. *Vis. Eng.* 1, 11.
- Chan, H. H., Hu, T. S., Fan, P. (2019). Social sustainability of urban regeneration led by industrial land redevelopment in Taiwan. *European planning studies*, 27(7), 1245-1269.
- Chatzimentor, A. (2020). Apostolopoulou, E.; Mazaris, A.D. A review of green infrastructure research in Europe: Challenges and opportunities. *Landsc. Urban Plan.* 198, 103775.
- Elhan, S. (2009). “Kentsel Kimlik Bağlamında Sanayi Mirasının Değerlendirilmesi: İstanbul Haliç Örneği” İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Erdem, N., Çağlayan, A. Y., Sarı, E. N. (2022). Terkedilmiş Endüstriyel Alanların Kültürel Peyzaja Kazandırılması. *JENAS Journal of Environmental and Natural Studies*, 4(3), 260-270.
- Erkartal, P.Ö. (2018). “Endüstri Mirasının Dönüşümü: Almanya’dan Dört Farklı Örnek”. *Yakın Mimarlık Dergisi*, 1(2).

- Fan, P. Yue, W. Zhang, J. Huang, H. Messina, J. Verburg, P.H. Qi, J. Moore, N. Ge, J., (2020). The spatial restructuring and determinants of industrial landscape in a mega city under rapid urbanization. *Habitat Int.* 95, 102099.
- Finke, L. (1980). Kent Planlaması Açısından Yeşil Alanların Kent İklimi ve Kent Havasını İyileştirme Yetenekleri (Çeviren; İ. Aslanboğa). *İ.Ü. Orman Fak. Derg.* 30 (2), 225-255, İstanbul.
- Furlan, C. (2018). “After Tomorrow: Three Perspectives on Urban Wastelands. In *The Horizontal Metropolis Between Urbanism and Urbanization*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 321–329.
- Gönlügür, E. (2006). *High Line: Manhattan'da Sıradışı Bir Park Projesi*. Arkitera: <https://v3.arkitera.com/h7903-high-line-manhattan-da-siradisi-bir-park-projesi.html>. Mart 15, 2025 tarihinde adresinden alındı.
- Harnik, P. (2012). *Urban Green: Innovative Parks for Resurgent Cities*; Island Press: Washington, DC, USA,
- Hostetler, M.; Allen, W.; Meurk, C. (2011). Conserving urban biodiversity? Creating green infrastructure is only the first step. *Landsc. Urban Plan.* 100, 369–371.
- Huber, J. (2000). Towards industrial ecology: Sustainable development as a concept of ecological modernization. *J. Environ. Policy Plan.* 2, 269–285.
- Karadağ, A., Koçman, A. (2007). Coğrafi çevre Bileşenlerinin kentsel gelişim süreci üzerine etkileri: Ödemiş (İzmir) örneği, *Ege Coğrafya Dergisi*, Cilt 16, sayı: 1-2, s. 3-16, İzmir.
- Kaya, S., Yerli, Ö., ve Döner, S. (2015). Endüstriyel Alanların Endüstriyel Parklara Dönüşmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, 518-534.
- Khan, M.A. Ghouri, A.M. (2011). Environmental pollution: It's effects on life and its remedies. *Res. World J. Arts Sci. Commer.* 2, 276–285.
- Kim, H.W. Tran, T. (2018). An evaluation of local comprehensive plans toward sustainable green infrastructure in US. *Sustainability*, 10, 4143.
- Koçman, A. (1991). İzmir'in kentsel gelişimini etkileyen doğal çevre faktörleri ve bunlara ilişkin sorunlar, Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Coğrafya Araştırmaları Dergisi, 3, s. 101-122, Ankara.
- Li, B., Chen, D., Wu, S., Zhou, S., Wang, T., & Chen, H. (2016). Spatio-temporal assessment of urbanization impacts on ecosystem services: Case study of Nanjing City, China. *Ecological Indicators*, 71, 416-427.
- Loures, L. (2010). Panagopoulos, T. Reclamation of Derelict Industrial Land in Portugal: Greening is not Enough. *Int. J. Sustain. Dev. Plan.* , 5, 343–350
- Mingcheng, L. Wenpei, S. Chienwei, H. (2021). Influence of Arbors on Indoor Natural Ventilation in Lower Floors of Buildings by Numerical Simulation. *Int. Inf. Inst. Inf.* 24, 107–115.

- Monteiro, R. Ferreira, J.C. Antunes, P. (2020). Green infrastructure planning principles: An integrated literature review. *Land*, 9, 525.
- Park, S.; Tuller, S.E.; Jo, M. (2014). Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments. *Landsc. Urban Plan.* 125, 146–155.
- Qingjuan, Y. Wanyi, S. Ziqi, L. (2022). A microclimate model for plant transpiration effects. *Urban Clim.* 45, 101240.
- Saraylı, M.N. (2020). “Endüstri Mirası Kapsamındaki Kalıntı Mekânların Değerlendirilmesi, Adapazarı Donatım Park Örneği” Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Tian, P. Li, J., Cao, L. Pu, R. Wang, Z. Zhang, H. Chen, H. Gong, H. (2021). Assessing spatiotemporal characteristics of urban heat islands from the perspective of an urban expansion and green infrastructure. *Sustain. Cities Soc.* 4, 103208.
- Uzun, C.N., (2017). “*Kent Planlama*”, İmge Kitabevi, Ankara.
- Wu, K.L., Shan, L. (2024). Make Way for the Wind—Promoting Urban Wind Corridor Planning by Integrating RS, GIS, and CFD in Urban Planning and Design to Mitigate the Heat Island Effect. *Atmosphere* 15, 257.
- Yiğitoğlu, Ş. (2020). “Mimaride İşlev Değişikliğinin Etkileri: Fabrikadan Çağdaş Sanat Müzesi’ne Dönüşüm ‘Beykoz Deri ve Kundura Fabrikası Örneği’”, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 5(2), 381- 402, <https://doi.org/10.26835/my.674968>
- Ying, J. Zhang, X. Zhang, Y. Bilan, S. (2022). Green infrastructure: Systematic literature review. *Econ. Res.-Ekon. Istraž.* 35, 343–366.
- Yurtseven, B. (2021). Kentsel Yenileme Sürecinde Endüstri Alanlarının Ekolojik Yaklaşım ile Değerlendirilmesi: Emscher Park Örneği, *Kent Akademisi*, Volume, 14 (45), Issue 13, Pages, 260-277

AN ANALYSIS OF SCHOOL YARDS IN THE DISTRICT OF TÜRKELİ (SİNOP) IN TERMS OF LANDSCAPE PLANNING AND DESIGN PRINCIPLES

MASTER'S STUDENT | GÖKÇE CAN ¹

PROF. DR. | ELİF AKPINAR KÜLEKÇİ ²

¹ Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape
Architecture : gokce.can.z00@gmail.com ORCID ID: 0009-0002-4160-2975

² Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape
Architecture : eakpinar@atauni.e.du.tr ORCID ID: 0000-0003-2818-8562

ABSTRACT

Today, the rapid depletion of natural resources highlights the importance of environmental education and necessitates individuals to adopt a conscious approach towards the environment. Environmental education provided from an early age contributes to children growing up to be environmentally conscious and responsible individuals throughout their lives. In this context, the outdoor spaces of educational institutions play a critical role in shaping children's physical, mental, and emotional development as well as their environmental awareness. Although schoolyards are fundamental areas where children perceive the environment through play, socialization, and experience, a lack of green space, a predominance of concrete surfaces, inadequate play areas, and disregard for landscape design principles are common problems in many schools. This situation limits the development of children's creativity and imagination, weakens their connection with nature, and can lead to inefficient use of free time, mental fatigue, and social behavior problems. Therefore, it is important that school gardens are designed to meet children's social, physical, emotional, and mental needs and that a sustainable landscape approach is integrated into educational environments. This study aims to examine the current physical conditions of primary school, middle school, and high school gardens in the Türkeli district of Sinop province in terms of green space adequacy, space per student, functional and visual characteristics, and furnishing elements, and to develop solution proposals in line with landscape design principles.

Keywords: School gardens, landscape design, planning, physical adequacy, green space.

INTRODUCTION

Children spend a large part of their lives in the school environment. Therefore, schools are considered not only as places for acquiring knowledge but also as holistic living spaces that contribute to children's social, emotional, physical, and mental development (Hauser, 2002; Melzer, 2001; Lorenz, 2005). School playgrounds, in particular, play an important role in helping children grow into environmentally conscious, healthy, and active individuals, as they are spaces that support children's rest, play, and learning processes (Zask et al., 2001; Breul, 2005).

Today, school gardens are mostly used as spaces where children can relax physically, mentally, and psychologically during breaks, except for special celebrations and ceremonies. However, poorly designed schoolyards can limit children's active participation and creativity, leading to increased aggressive behavior and insufficient development of imagination (Melzer, 2001; Hauser, 2002; Scharf et al., 2008). On the other hand, school gardens that incorporate natural elements and interaction with nature develop children's sense of responsibility, self-confidence, and ability to express themselves; they support nature awareness through mini gardens and ecosystem applications (Tai et al., 2006; Hoff et al., 2007; Scharf et al., 2008).

The design of school gardens is of great importance in terms of physical and mental development. Activities such as running, climbing, and jumping enable children to discover their physical abilities and use their imagination (Marcus and Francis, 1998). Landscape designs that incorporate natural elements such as plants, trees, flowers, soil, and water allow children to understand their environment and develop creative games. However, existing research shows that many schoolyards in Turkey are cold, monotonous, and mostly consist of concrete surfaces, with insufficient areas for play and physical activity (Özdemir, 2011; Breul, 2005).

Schools in densely urbanized areas lack sufficient open and green spaces due to limited land and high land prices (Akdoğan, 1972). This situation negatively affects the physical and social development of children, especially those aged 6-15 (Ünal et al., 2000; Ergin, 1982). However, providing open and safe play areas for children is critical not only for physical development but also for acquiring social skills, creativity, and environmental awareness (Lieberman and Hoody, 1998; Miller et al., 2009).

School gardens are effective spaces not only for meeting students' physical activity needs but also for providing environmental education and instilling awareness of sustainability. School gardens planned in line with sustainable landscape design principles increase students' interaction with nature, raise environmental awareness, and contribute to biological diversity (Vural and Yılmaz, 2018; Eminel Kutay and Oğuz, 2020). Furthermore, these types of gardens enable students to develop their creativity, problem-solving, and critical thinking skills, while allowing teachers to conduct their lessons using practical and engaging methods (Louv, 2008; Taylor and Kuo, 2006; Herrington, 2007).

In Turkey and around the world, concepts such as child-friendly, eco-school, and sustainable school are prominent as initiatives that support children's development and increase environmental awareness. However, due to financial and structural constraints, such practices can only be implemented in a limited number of schools (Tandoğan, 2014; Özdemir and Yılmaz,

2009). In this context, user-centered participatory approaches should be adopted in the planning and design of school gardens; criteria such as students' age and developmental characteristics, safety, accessibility, ground and plant selection should be taken into account (Algan and Uslu, 2009; Arslan Muhacir and Yavuz Özalp, 2016).

The purpose of this study is to determine the compliance of kindergartens, elementary schools, middle schools, and high schools located in the center of Türkeli district, Sinop province, with landscape planning and design criteria. Observations and investigations conducted as part of the research revealed that the majority of schools in the district are inadequate in terms of their current landscape arrangements. In particular, sports areas, green spaces, and activity areas that support children's physical and social activities were found to be limited or insufficient. This situation indicates that school gardens fall short in meeting children's needs for play, rest, and socialization. The findings highlight the importance of making the necessary adjustments to address existing shortcomings in the planning and design of school landscapes. Furthermore, these results point to the need for strategic planning to transform schoolyards into holistic learning environments that support children's physical, mental, and social development.

MATERIAL AND METHOD

Material

The main material of the research consists of 10 public schools located in the center of Türkeli district, Sinop province, in the Western Black Sea Region. These schools are Atatürk Primary School, Atatürk Kindergarten, Cumhuriyet Primary School, Cumhuriyet Secondary School, Cumhuriyet Kindergarten, 125th Year Gazi Kindergarten, Türkeli Imam Hatip Secondary School, Türkeli Anatolian Imam Hatip High School, Türkeli Anatolian High School, and Türkeli Mimar Sinan Vocational and Technical Anatolian High School. The locations of the state schools selected in the district center are shown below (Figure 1). Local and foreign literature sources, information and documents related to the subject of the study constitute the other material group. In addition, observations made on site, photographs, and examinations were used as supporting material.



Figure 1. Images showing the location of the work area

Method

In this study, the garden and open space arrangements of a total of 10 public schools in Türkeli district center of Sinop province were examined in line with landscape planning criteria. The study was conducted within the framework of the descriptive research model, and on-site observation, photo analysis and field investigations were used as qualitative methods in the data

collection process. The theoretical basis of the study was formed as a result of the evaluation of relevant domestic and foreign literature sources. The size of the gardens and other relevant information were determined in line with the interviews with the Provincial Directorate of National Education and District Directorate of National Education and the data obtained.

The methods used in the study are given below respectively:

Phase 1: In the first phase of the research, the gardens of the identified schools were visited on-site, detailed notes were taken about their current conditions and visual records (photographs) were collected. In this process, factors such as the size of the school gardens, the way they are organized, equipment elements, the presence of green areas, sports areas and activity areas were observed.

Phase 2: The data obtained were evaluated in line with landscape planning criteria. These criteria are;

- Safety (floor coverings, playground safety, suitability of equipment),
- Plant use (trees, shrubs, grass, variety of flowers, presence of shade),
- Function (sports areas, playgrounds, recreation and activity zones),
- Comfort (seating areas, shade, ease of use),
- Materials and equipment (playgrounds, benches, garbage bins, lighting),
- Floor coverings (use of natural/low-risk materials, permeability, sustainability).

Phase 3: Observation and inspection data were supported by photographic records and the current situation of each school was analyzed separately. The findings were compared with the literature review and the adequacy of school gardens in terms of their contribution to the physical, social and mental development of children was discussed. With this method, the compliance of the schools in Türkeli district center of Sinop province with landscape planning criteria was revealed and suggestions for improving the current situation were developed.

FINDINGS

Within the scope of the research, the gardens and landscaping of 10 public schools located in Türkeli district center of Sinop province were evaluated in line with landscape planning criteria. The findings obtained as a result of the examinations show that the schools contain significant differences in terms of student density, area sizes and equipment elements, and that the current situation is not sufficient in general (Table 1.).

Table 1. Information about the schools in the study area

| CRITERIA | 125.Yıl Gazi Anaokulu | Türkeli Mimar Sinan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi | Atatürk İlkokulu | Türkeli İmam Hatip Ortaokulu | Cumhuriyet İlkokulu | Cumhuriyet Ortaokulu |
|-------------------------------|-----------------------------|--|---------------------|--|------------------------|-------------------------|
| | | | Atatürk Anaokulu | Türkeli Anadolu İmam Hatip Lisesi | Cumhuriyet Anaokulu | |
| | | | | Türkeli Anadolu Lisesi | | |
| Number of Students | 99 | 226 | 286 | 431 | 231 | 385 |
| Garden Area (m ²) | 840 m ² | 490 m ² | 4700 m ² | 5250 m ² | 1480 m ² | 4000 m ² |
| Per Person (m ²) | 8,48 | 2,1 | 16,4 | 12,1 | 6,4 | 10,3 |
| Structural Containment | + | + | + | 0 | + | + |
| Vegetative Containment | + | 0 | - | 0 | - | 0 |
| Seating Area (Bench) | + | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| Lighting Element | - | - | - | - | - | - |
| Trash Bin | + | 0 | 0 | 0 | + | + |
| Playground | 0 | - | - | - | - | - |

| | | | | | | |
|---|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Football Field | - | - | - | - | - | + |
| Basketball Field | - | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| Volleyball Field | - | - | - | - | - | 0 |
| Bicycle Parking Place | - | - | - | - | - | + |
| Car Parking | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| VAR : + YOK: - YETERSİZ: 0 | | | | | | |

The data on the number of students and garden areas of public schools in Türkeli district center of Sinop province were determined in line with the field data obtained through interviews with Türkeli District Directorate of National Education and relevant school administrations. These data show that there are significant differences between schools and remarkable inequalities in the distribution of space. For example, the highest number of students was 431 at Türkeli İmam Hatip Secondary School, Türkeli Anatolian İmam Hatip High School and Türkeli Anatolian High School, while the lowest number of students was 99 at 125th Year Gazi Kindergarten. Similarly, the largest garden area was found in the area shared by Türkeli İmam Hatip Secondary School, Türkeli Anatolian İmam Hatip High School and Türkeli Anatolian High School with 5250 m², while the smallest garden area was found in Türkeli Mimar Sinan Vocational and Technical Anatolian High School with 490 m² (Figure 2). This situation reveals that there is a disproportionate distribution between the number of students and garden areas and that some schools have a more advantageous position in the use of open space (T.C. Türkeli Directorate of National Education, 2025).



a. Türkeli Mimar Sinan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

b. Türkeli İmam Hatip Ortaokulu, Türkeli Anadolu İmam Hatip Lisesi ve Türkeli Anadolu Lisesi

Figure 2. Visuals of school gardens

Although most of the schools have structural enclosures, only three schools in the same area were found to have inadequate enclosures, which was considered a negative finding in terms of security. However, it is seen that the existing structural enclosures are generally poorly maintained and are mostly made of concrete. In terms of vegetative fencing, the situation is more critical and was found to be adequate only in 125th Year Gazi Kindergarten, while in other schools it was either not implemented at all or was inadequate (Figure 3).



a. Türkeli İmam Hatip Ortaokulu, Anadolu İmam Hatip Lisesi Türkeli Anadolu Lisesi

b. 125. Yıl Gazi Anaokulu

c. Atatürk İlkokulu - Atatürk Anaokulu

Figure 3. Images of structural and vegetative enclosure

In terms of seating areas (benches), only 125th Year Gazi Kindergarten has sufficient (+), while the other schools are either insufficient (0) or not available at all (-); this situation constitutes a serious deficiency in meeting the rest and socialization needs of students. In terms of lighting elements, it was determined that none of the schools examined had any (-), which is extremely negative in terms of safety and poses a risk especially in winter months. Garbage bins were found to be sufficient (+) in some schools, but mostly inadequate (Table 1). In general, these deficiencies create problems in ensuring environmental cleanliness and hygiene (Figure 4).



a. 125. Yıl Gazi Anaokulu

b. Cumhuriyet İlkokulu

c. Cumhuriyet Ortaokulu

Figure 4. Visuals of seating areas

Although playgrounds are critical for children's physical, social and emotional development, they are inadequate (0) only at 125. Yıl Gazi Kindergarten and completely absent at all other schools, which constitutes a significant deficiency in meeting the play and active outdoor space needs of students. Football pitches are only available at Cumhuriyet Secondary School (+) and not at all other schools (-). Basketball courts are inadequate (0) in some schools and not at an appropriate level in any school. Volleyball courts are also inadequate (0) only at Cumhuriyet Secondary School, and bicycle parking was found to be (+) at the same school (Table 1); although this is a positive development in terms of encouraging alternative transportation habits of students, it is limited to a single school. In general, the lack of sports and playground facilities

restricts students' opportunities for physical activity and limits the educational and socio-cultural functions of schoolyards (Figure 5).



Figure 5. Visuals of playgrounds and sports fields

DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, the garden and open space arrangements of 10 public schools in Türkeli district of Sinop province were examined in terms of landscape planning and design principles. The findings show that the schools have various deficiencies in meeting their physical, social and educational needs.

The imbalance observed between the number of students and garden areas causes insufficient space, especially in schools with high student density. For example, at Türkeli Mimar Sinan Vocational and Technical Anatolian High School, the per capita area is only 2.1 m², which is too limited to meet the physical activity needs of children. In contrast, the area per capita at 125th Year Gazi Kindergarten is 8.48 m², which is relatively more favorable. This highlights the importance of planning the size of school gardens not only according to the number of students but also according to the efficiency of garden use.

While structural enclosure is present in most schools, the lack of vegetative enclosure is noteworthy. Only 125th Year Gazi Kindergarten had adequate vegetative enclosure, while the other schools either did not have any or inadequate vegetative enclosure. The lack of planting has negative consequences in terms of both safety and aesthetics, limiting students' interaction with nature and reducing the potential of school gardens for environmental education. This finding is in line with the positive effects of nature elements on children's creativity, responsibility and environmental awareness (Tai et al., 2006; Hoff et al., 2007).

The lack of seating areas negatively affects students' resting and socializing behaviors. Only 125th Year Gazi Kindergarten had sufficient seating areas, while the other schools had inadequate or no seating areas at all. This situation leads to students not being able to actively use the garden and lack of social interaction. In addition, the absence of lighting elements in any of the schools limits safety and continuity of use and creates a gap that may pose a risk, especially in winter months.

Deficiencies are also evident in terms of playgrounds and sports facilities. The insufficient level of playgrounds in only one school (125th Year Gazi Kindergarten) and the limited availability of sports fields limit students' physical activity and motor skill development. The lack of sports facilities reduces the social, educational and cultural functions of school gardens and limits children's opportunities to learn and socialize through play. This finding is consistent with previous research (Özdemir, 2011; Schweizer, 1999) on the generally concrete and monotonous structure of schoolyards in Turkey.

In general, the compliance of schools in Türkeli district with landscape planning and design criteria is limited. This situation reveals the need to transform school gardens into holistic learning environments that support the physical, mental and social development of children. In addition, the existing deficiencies indicate that the potential of school gardens in terms of sustainability and environmental education cannot be fully utilized. According to the results of the research, the gardens of public schools in Türkeli district contain many deficiencies in terms of landscape planning and design principles. These deficiencies can be summarized as follows:

- Lack of space: In proportion to the number of students, some schools have very limited garden space, which is insufficient to meet the needs of physical activity and play.
- Lack of vegetation: In most schools, vegetation is either absent or inadequate, which negatively affects children's interaction with nature and environmental awareness.
- Lack of seating and comfort elements: Lack of benches, shade and resting areas limit students' socialization and recreational activities.
- Lack of lighting and hygiene equipment: Lack of trash bins and lighting elements create problems in terms of safety and cleanliness.
- Lack of playgrounds and sports fields: Facilities that support children's physical, social and cognitive development are limited; some schools have none at all.

The following suggestions are given for the school gardens in the study area:

- School gardens should be re-planned according to the age and developmental characteristics of students and the area per capita should be increased.
- Landscape diversity should be provided with vegetation and natural elements; environmental awareness should be supported with mini gardens and ecosystem practices.
- Playgrounds and sports areas should be designed in accordance with safety standards and should be supported with seating areas and shades.
- Comfort of use and hygiene should be increased by providing lighting, trash bins and other basic equipment.
- Environmental and aesthetic values should be improved by using sustainable and permeable surfaces.

This study reveals that there are various physical and environmental inadequacies in school gardens in Türkeli district. Lack of space in proportion to the number of students, inadequate vegetation, limited seating and comfort elements, lack of lighting and hygiene equipment, and inadequate play and sports areas constitute an obstacle to the creation of learning environments that support the physical, mental and social development of students (Akpınar Külekçi, 2025). In this context, it is important to re-plan school gardens according to the age and developmental characteristics of students, to increase the area per capita, to support environmental awareness through plant diversity and ecosystem practices, to design play and sports areas in accordance with safety standards, to increase seating and shade areas and to provide basic equipment. In addition, strengthening both aesthetic and environmental values with sustainable and permeable ground practices plays a critical role in creating sustainable learning environments that support the holistic development of children. The findings provide guiding strategies not only for schools in Türkeli district, but also for school gardens in similar small and medium-sized settlements.

REFERENCES

- Akdoğan, G. 1972. Beş büyük şehirde çocuk oyun alanları, okul bahçeler ve spor alanlarının yeterlilikleri ve planlama prensipleri üzerinde bir araştırma. A.Ü.Ziraat Fakültesi Yayınları: 522,Ankara, 84s.
- Akpınar Külekçi, E. ve Sezen, I. (2020). Peyzaj Tasarım Sürecinde İyileştirme Bahçeleri. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(Özel Sayı), 337-350. [DergiPark](#)
- Algan H. ve C. Uslu, 2009. İlköğretim okul bahçelerinin tasarlanmasına paydaş katılımı: Adana örneği, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2009, 22(2), 129–140
- Arslan Mücahir, E.S. ve Yavuz Özalp, A. 2011. Artvin kenti ilköğretim okul bahçelerinin nitelik ve niceliksel durumunun coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak belirlenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2): 172-184.
- Breul, L. T. (2005). Veränderte Schulhofgestaltung als Reaktion auf den Wandel der Kindheit, Hausarbeit. Fach Pädagogik an der Universität Lüneburg, s. 1-10, ISBN (E-Book): 978-3-640-24292-4.
- Eminel Kutay, M. ve Oğuz, D., 2020. Okul Bahçeleri Tasarım Standartlarının Yeşil Altyapı Araçları Açısından Değerlendirilmesi, (1), 12-21. DOI: Peyzaj, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/peyzaj/issue/55616/649011> 2
- Ergin, Ş. 1982. Çocuğun Oyun Gereksinimi ve İzmir/Alsancak Semtinde Çocuğa Yönelik Açık/Yeşil Mekân Olanaklarının Artırılması Üzerine Bir Araştırma, doçentlik tezi, Ege Üniversitesi, İzmir (yayınlanmamış), 112s.
- Hauser, L. (2002). Kindergerechtes und Naturnahes Schulgelände als Erlebnisraum. Praktikumsbericht Paedagogisches Hochschule Zurich, s. 150.
- Herrington, S., 2007. In *Outdoor Spaces* M. Dudek (Ed.), *Schools and Kindergartens: A Design Manual* (p. 42-45), Springer Science and Business Media.
- Hoff, M., Kaup, H., Röhr, A. (2007). Schulhöfe, Planen, Gestalten, Nutzen, www.schule-der-zukunft.nrw.de/page/content/s14-2007_schulhoefe.pdf.
- Lieberman, G.A. and L. Hoody, 1998. *Closing the Achievement Gap: Using the Environment as an Integrating Context for Learning*. San Diego, Calif.: State Education and Environment Roundtable.
- Lorenz F., (2005). *Das Otto-Hahn-Gymnasium Göttingen auf dem Weg zu einer Bewegten Schule, eine theoretische und empirische Betrachtung*. Master of Arts in Education Göttingen, Fachbereich Sozialwissenschaften, Abschlussarbeit, s. 49. http://www.ohg.goe.ni.schule.de/ohg/0201projekte/0411bew_schule/Lorenz.pdf

- Louv, R., 2008. Ormandaki Son Çocuk: Çocuklarımızı Doğa Eksikliği Bozukluğundan Kurtarmak. Eğitim İncelemesi.
- Marcus, C.C. ve Francis, C. (1998). People Places: Design Guidelines For Urban Open Space, Chapter 6: Child Care Outdoor Spaces, John Wiley & Sons, Inc. Kanada, USA, s. 259 - 307, ISBN: 0-471-28833-0.
- Melzer, M. L. (2001). Schule in Bewegung, drinnen und draußen: Schulhofumgestaltung gehört dazu. http://www.spielandschaft_bremen.de/Frau%20Melzer-SchülerInnen-Partizipation.pdf
- Miller, D., K. Tichota and J. White, 2009. Young Children Learn Through Authentic Play in a Nature Explore Classroom. Lincoln, Neb. Dimensions Foundation
- Özdemir, A. (2011). Okul Bahçesi Peyzaj Tasarım Anlayışındaki Değişim ve Bu Değişimin Uygulamaya Yansımalarının Bartın Kenti Örneğinde İrdelenmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, S. 13(19), s. 41-51.
- Özdemir, A. ve O. Yılmaz, 2009. İlköğretim Okulları Bahçelerinin Çocuk Gelişimi ve Sağlıklı Yaşam Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. Milli Eğitim Dergisi, Sayı:181, s: 121-130.
- Scharf, F., Donskoi, K. ve Endres, S. (2008). Beteiligungsprojekt zur Schulhofumgestaltung an der Grundschule Wolfsanger/Hasenhecke, http://www.roteruebe.de/betmob/6_partizipation/Bericht_Schulhof.pdf.
- Scharf, F., Donskoi, K. ve Endres, S. (2008). Beteiligungsprojekt zur Schulhofumgestaltung an der Grundschule Wolfsanger/Hasenhecke, http://www.roteruebe.de/betmob/6_partizipation/Bericht_Schulhof.pdf.
- Tai, L., Haque, M. T., McLellan, G. K. ve Knight, E. J. (2006). Designing Outdoor Environments for Children. Columbus, OH: McGraw-Hill. ISBN: 0-07-145935-9.
- Tandoğan, O. (2014). Çocuk İçin Daha Yaşanılır Bir Kentsel Mekan: Dünyada Gerçekleştirilen Uygulamalar. Megaron, 19-33.
- (T.C. Türkeli Milli Eğitim Müdürlüğü, 2025) Sözlü Görüşme
- Taylor, A. F. ve Kuo, F. E., 2006. "Is Contact with Nature Important for Health Child Development? State of Evidence", Bulundugu yayın: Children and Their Environments: Learning, Using and Designing Spaces (editörler) Christopher Spencer ve Mark Blades (Cambridge, UK): Cambridge University Press.
- Ünal, S., Öztürk, M. ve Gürdal, A. 2000. İlköğretim okullarının bina standartlarına uygunluğu. Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 7: 74-79.

- Vural, H. ve Yılmaz, S., 2018. İlköğretim Okul Bahçesi Peyzaj Uygulamalarının Eğitim Öğretim ve Öğrencilere Katkıları, Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Dergisi, 8 (2), s. 247-256. DOI: 10.21597/jist.428972
- Zask, A., van Beurden, E., Barnett, L., Brooks, L.O. ve Dietrich, U.C. (2001). Active School Playgroundsmyth or Realty? Results of The Move It Groove It Project. Preventive Medicine, S. 33 (5), s. 402-408.

EVALUATION OF URBAN REINFORCEMENT ELEMENTS IN TERMS OF LANDSCAPE ARCHITECTURE: THE CASE OF TÜRKELİ (SINOP) PROVINCE

MASTER'S STUDENT | GÖKÇE CAN ¹

PROF. DR. | ELİF AKPINAR KÜLEKÇİ ²

¹ Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape
Architecture : gokce.can.z00@gmail.com ORCID ID: 0009-0002-4160-2975

² Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape
Architecture : eakpinar@atauni.e.du.tr ORCID ID: 0000-0003-2818-8562

ABSTRACT

Urban reinforcement elements, which are one of the important components of urban spaces from past to present, stand out as elements aimed at increasing the quality of life of people, giving identity to urban areas and meeting the functional needs of users. The elements used in streets, avenues, squares and recreation areas such as garbage bins, seating units, lighting elements, water elements, directional signs and paving materials strengthen urban aesthetics, identity and perceptibility by integrating with their surroundings. Consideration of aesthetics, functionality, ergonomics and user needs in the design of equipment elements is important for the sustainability and modern identity of cities. Today, rapid urbanization and similar spatial arrangements carry the risk of creating cities without identity; therefore, urban reinforcement elements should be planned correctly and evaluated with the principles of landscape architecture. Research in this context plays a strategic role in creating modern cities and meeting the social and aesthetic expectations of the society. This study examined the urban reinforcement elements in Türkeli district of Sinop province, evaluated their current conditions and analyzed them in line with the design principles of landscape architecture. The elements were evaluated in terms of construction materials, their location in the city, functionality, aesthetics and ergonomics; the findings showed that the existing elements are insufficient to meet user needs. As a result, recommendations such as material selection in accordance with landscape design principles, user-oriented reinforcement elements and diversification of vegetation elements were developed.

Keywords: Urban furniture, equipment elements, landscape architecture , planning

INTRODUCTION

Throughout history, human beings have faced problems at different scales depending on the civilization and technological developments of the period in which they live; especially rapid population growth, industrialization and urbanization processes have led to the emergence of urban problems with environmental, spatial and social dimensions (Sakal, 2007; Kuşkun & Yılmaz, 2003).

Cities are not only physical spaces where the population resides, but also dynamic systems where different functions and spatial organizations come together as centers of economic, social and cultural life. In this context, one of the most important components that directly affect the quality of life, aesthetic value and functional integrity of cities is urban reinforcement elements. They are also referred to as urban furniture or urban accessories and include fixed and functional structural elements such as seating groups, lighting elements, directional signs, garbage bins (Hacıhasanoğlu, 1991; Erdoğan, Oktay, & Yıldırım, 2011). Beyond meeting the basic needs of the users, these elements contribute to the organization of urban spaces, thereby contributing to the formation of urban identity and strengthening the bond of belonging that urbanites establish with the space (Es, 2009; Bayramoğlu & Özdemir, 2012; Bulut, Atabeyoğlu, & Yeşil, 2008).

The concept of urban identity refers to the state of uniqueness and uniqueness that distinguishes a city from others, which emerges with the holistic effect of natural environmental conditions, social values, cultural accumulations and structural arrangements created by human hands (Deniz, 2004; Birol, 2007; İlgar, 2008). Therefore, the reinforcement elements are considered not only as functional objects but also as visual, symbolic and cultural reflections of urban identity.

At this point, the discipline of landscape architecture adopts an approach that considers not only aesthetic criteria but also anthropometric criteria, ergonomics, user psychology and socio-cultural dynamics (Kuter & Erdoğan, 2009; Güleç, 2006; Akpınar Külekçi, 2018). The increasing need for green space, especially in rapidly growing cities, increases the importance of public open spaces supported by reinforcement elements; the correct positioning of these elements, appropriate material selection and functionality-aesthetic balance become an integral part of sustainable urban development (Dascălu, 2011; Tian et al., 2014; Aksoy, 2021).

In this context, this study aims to examine the urban reinforcement elements in Türkeli district of Sinop province and evaluate their current conditions in line with the design principles of landscape architecture. Within the scope of the study, the construction materials, location in the city, functionality levels, aesthetic qualities and ergonomic features of the reinforcements were analyzed; the findings revealed that the existing reinforcements are insufficient to meet user needs. As a result, recommendations were developed for material selection in accordance with landscape design principles, increasing the variety of user-oriented equipment and enriching vegetative elements.

Definition of Reinforcement Elements

Equipment elements are a set of structural objects that add meaning to the space with their functional and aesthetic dimensions, facilitate the life of the individual and play an integral role in urban areas. The most important factor in increasing the functionality of these elements, which are generally designed for individual use, is that they are designed in accordance with ergonomic standards (Bulut et al., 2008).

Urban reinforcement elements not only facilitate the life of individuals and society within the urban fabric, but also contribute to the formation of urban identity by adding an aesthetic value to the space. The comfort and quality level of urban areas used especially for recreational purposes is largely determined by the qualities of the equipment elements in these areas (Güremen, 2011).

The integration of the facilities, which are planned in a certain order, with the environment in which they are located and the harmony they establish with each other is one of the most important tools in the formation of urban identity (Acar et al., 2016). As a matter of fact, increasing the quality of the equipment in urban parks not only provides the people of the city with the opportunity to spend their leisure time and regenerate in a natural environment, but also strengthens the commitment of the users to the space (Erdoğan et al., 2011). In this context, all these structural landscape elements that support basic functions such as seating, lighting, orientation, protection, play and sports and facilitate individual and social life are defined as “reinforcement elements” that determine the comfort and environmental quality of urban spaces (Düzenli et al., 2017).

User comfort and space quality in recreational areas are largely determined by the quality of the reinforcement elements (Erdoğan et al., 2011). In this context, reinforcement elements are classified as follows in the literature (Yıldızcı, 2001, Karadeniz, 2019; Düzenli et al., 2017):

- *Seating elements*: Seating solutions for individual and collective use, such as benches, chairs, group seating elements and seating steps.
- *Flooring elements*: Coatings made of materials such as concrete, stone, wood, asphalt and brick support the functionality and aesthetics of the space.
- *Lighting elements*: Road and area illuminators are important equipment that increase safety and comfort of use.
- *Playground elements*: Structures and equipment that meet the recreational needs of children and young people.
- *Information signs and signage*: Boards and signs that provide orientation, localization and information transmission.
- *Water features*: Pools, ornamental ponds and fountains add aesthetic and functional value to the space.
- *Sales units*: Kiosks, kiosks and similar commercial elements make a functional contribution to urban life.
- *Shades and awnings*: Pergolas, stalls and cover elements provide users with comfortable shaded areas.
- *Trash bins and borders*: Elements such as pedestrian and traffic barriers that maintain order and cleanliness.

- *Artistic objects*: Sculptures and other artistic installations are aesthetic and identity-forming elements.

Features to be found in Urban Equipment Elements

Urban reinforcement elements are important structural objects that provide both functional and aesthetic qualities to the space where they are located and facilitate individual and social life (Güney et al., 1996; Başal et al., 1997; Şişman & Yetim, 2004; Kuter & Erdoğan, 2009; Özgeriş, 2018). However, incorrectly selected or inappropriately placed reinforcement elements in the urban fabric can lead to spatial confusion and visual pollution (Sağlık et al., 2014). Therefore, the main features that should be considered in the selection, design and use of reinforcement elements can be summarized as follows:

- *Ergonomics and anthropometric conformity*: Equipment should be designed in line with the physical characteristics of users and the standards set by countries (Başal et al., 1993; Güney et al., 1996).
- *Functionality and aesthetics*: Both functional and aesthetic features should be taken into account in design and original designs should be created as much as possible (Başal et al., 1997; Şişman & Yetim, 2004).
- *Portability and mountability*: Equipment should be portable or mountable when necessary and spare parts should be easily available (Başal et al., 1993; Güney et al., 1996).
- *Ease of maintenance*: Elements should not require regular maintenance or be difficult to maintain (Başal et al., 1997; Bulduk, 2012).
- *Durability and robustness*: Materials and design should be durable, long-lasting and resistant to vandalism (Şişman and Yetim, 2004; Kuter and Erdoğan, 2009).
- *Safety and comfort*: Equipment should be designed to ensure the safety and comfort of users and should be compatible with the urban fabric (Erdem, 1995).
- *Sustainability and contribution to urban identity*: Facilities should improve the quality of urban life, be sustainable and support urban identity (Güremen, 2011; Özer et al., 2010).
- *Consideration of cultural and social differences*: Age, gender and regional cultural differences should be taken into account in design, and solutions suitable for the needs of different user groups should be offered (Banu, 1991; Bulduk, 2012).

These criteria prevent urban reinforcement elements from remaining only as functional objects; they also add value to urban life with aesthetic, ergonomic and sustainable design principles. In the wrong applications, the reinforcements are inadequate in terms of use and can turn into objects that create visual pollution (Sağlık et al., 2014).

Classification of Urban Equipment Elements

The basic structural elements that facilitate the daily life of individuals and ensure the aesthetic and functional integrity of the space by fulfilling various functions such as protection, information, orientation, ornamentation, sheltering, entertainment, play, recreation and sales in urban spaces, giving identity to the urban fabric and supporting visual continuity; However, since improper selection or inappropriate use can lead to chaos and visual pollution in the spaces, the design, positioning and material selection of the reinforcements should be carefully planned to improve the quality of the city (Küçükerman, 1986).):

Table 1. Classification of reinforcement elements (Küçükerman, 1986: Şişman and Yetim, 2004)

| Reinforcement Elements Connected to Infrastructure | Reinforcement Elements Not Connected to Infrastructure |
|--|--|
| Road Illuminators | Flooring Elements |
| Area Illuminators | Temporary Traffic Lights, Traffic Signs |
| Telephone Booths | Pedestrian Barriers |
| Parking meters | Advertisements, Posters |
| Traffic lights and illuminated traffic columns | Street Signs, Numbers, Commercial Signs |
| Fountains | Canopies Awnings |
| Sales Units | Flag, Pennant Poles |
| Infrastructure Facilities Maintenance Covers | Flowerbeds |
| Square Clocks | Deterrent Restraints |
| Bus Stops | Diverters, Locators |
| Gratings | Waste Bins |
| Illuminated Columns | Seating Elements |
| Ticket Vending Machines | Playground Elements |

Urban reinforcement elements should be designed ergonomically in line with urban design principles from the perspective of social, natural and technical sciences and the criteria to be considered in this design process are classified under three main headings: functional, psychological and technological (Öner Bilen, 2004).

- *Functional criteria:* These are the criteria for determining the relationship between the human and the object. The physical and movement characteristics of human beings are of primary importance in the design of all equipment elements; therefore, it is a basic requirement for designers that the product be ergonomic.
- *Psychological criteria:* These are criteria for perception and evaluation and should be designed in a way to ensure the formation of an environment appropriate to the socio-cultural characteristics of individuals and society.
- *Technological criteria:* It covers criteria related to material selection, production processes and economic factors and plays a decisive role in terms of the applicability of the design.

Urban reinforcement elements are analyzed in four main groups in terms of their usage types and physical equivalents (Asatekin, 2001; Bayraktar et al., 2008; Kuter and Erdoğan, 2009):

- Urban reinforcement elements for temporary use: It covers the situations in which the city dwellers use the outdoor space for a short time and temporarily; transportation activities are generally included in this group.
- Urban reinforcement elements for temporary use: They are related to the use of a certain point for a certain period of time and support activities such as sitting, resting, waiting or shopping.
- Urban reinforcement elements for functional use: This refers to the use of the outdoor space for functional purposes related to the needs of the urban dwellers; it provides the fulfillment of communicative and physiological needs.
- Urban equipment elements for ancillary use: These are supportive uses that serve the realization of the above three types of use; regulation, maintenance, security services or spiritual values that contribute to environmental aesthetics are included in this group.

MATERIAL AND METHODS

Material

The material of this study consists of urban reinforcement elements located in various regions of Türkeli district of Sinop province located in the Western Black Sea Region. The research area covers the dense areas in the district center that are actively used by users throughout the four seasons (Figure 1). In the study, especially seating units, lighting elements, garbage bins, direction signs, floor coverings and other structural reinforcements were examined. In addition, on-site observations, photographs and slides, and literature studies on the subject were utilized as auxiliary materials.

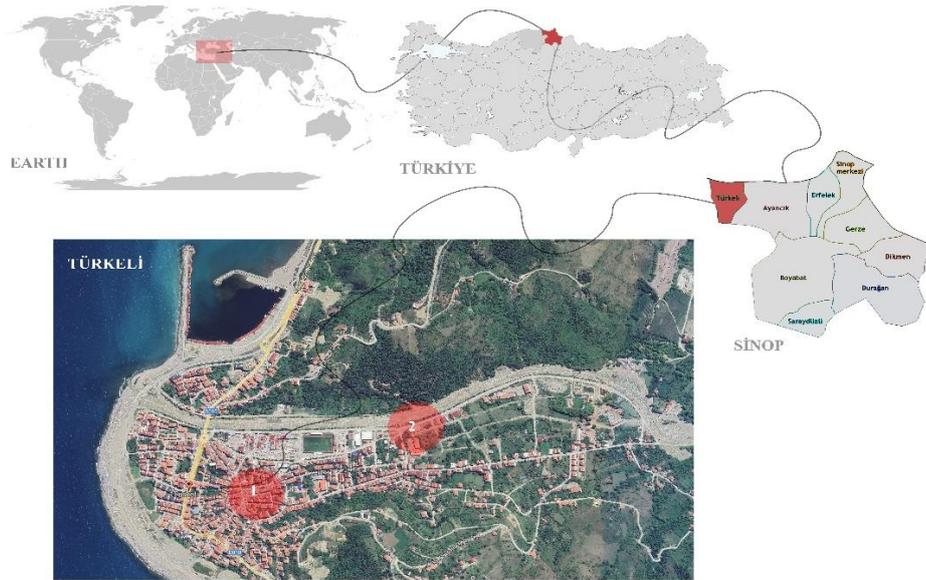


Figure 1. Location of Study Area (original)

Method

In this study, a methodological approach based on the integration of field research and literature review was adopted. The research process was carried out in five stages. In the first stage, the research area was selected. In this context, two focal points were identified in Türkeli district center where urban facilities are densely located and user interaction is high. In the second stage, the data collection process was carried out. The reinforcement elements in the selected areas were recorded through on-site observation and photographic documentation. In the third stage, classification was made; the data obtained were grouped based on the classification criteria in the literature (Yıldızcı, 2001; Düzenli et al., 2017). In the last stage, the evaluation process was carried out. At this stage, the reinforcement elements were analyzed within the framework of material properties, spatial suitability, functionality, aesthetic quality and ergonomics criteria. In the last stage, interpretation and recommendations were developed. The findings were interpreted in the context of user requirements and urban aesthetics, and recommendations based on landscape architecture design principles were presented in line with the results obtained. This holistic method approach enabled both an analytical evaluation of the current situation and the development of scientifically based recommendations for the functional and aesthetic improvement of urban open spaces.

RESULTS

The urban reinforcement elements in the City Square and Life Valley in Türkeli district center were classified and analyzed according to their functions and types of use; the existing reinforcement types are presented in Table 2.

Table 2. Classification of urban reinforcement elements in the City Square and Life Valley

| Urban Equipment Elements by Function | Urban Equipment Elements by Type of Use | Types of Urban Equipment Elements | |
|--------------------------------------|---|--|--|
| | | *City Square | *Valley of Life |
| Floor Coverings | Temporary Use | *Pedestrian Paths -Andesite -Paving Stone -Bazalt | *Vehicle Road -Asphalt *Pedestrian Way -Pebble, andesite *Curbs -Concrete |
| Lighting Elements | Ancillary Use | *Square Lighting *Tree Lighting | *Road Lighting *Tree Lighting |
| Seating Units | Ancillary Use | *Pergola | *Pergola *Çardak |
| Waste Bins | Ancillary Use | *Trash Bins | *Trash bins |
| Elements for Communication Function | Functional Use | *Billboard | - |
| Sales Units | Permanent Use | - | *Buffets |
| Vegetation Elements | Ancillary Use | *Plant Crates *Arborications | *Plant Crates *Natural Plant Communities |

Equipment Elements in the City Square

Floor Coverings: As a result of the examinations made within the scope of the floor coverings in the City Square, it was observed that different materials were preferred in the design of the pedestrian paths in the square; especially andesite, parquet and basalt stones were used to create an aesthetic and durable floor (Figure 2). This variety of materials not only enhances the visual richness of the square, but also contributes to directing pedestrian traffic and making the use of the square comfortable.

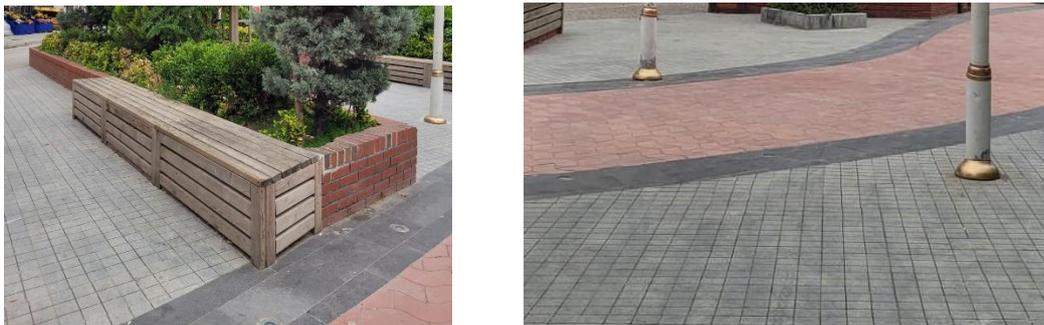


Figure 2. Visuals of the floor covering in the city square

Lighting Elements: The lighting elements in the city square are designed as a dual square lighting system. Observations show that the existing lighting elements are insufficient to meet the usage needs of the area (Figure 3). The amount of light falling on the square, especially in the evening and night hours, negatively affects the safety and comfort of the users and prevents the square from fully fulfilling its social and recreational functions. For this reason, the number of lighting elements in the square should be increased and the lighting scheme should be re-planned in accordance with the areas of use.



Figure 3. Visuals of lighting elements in the city square

Seating Units: The seating units in the city square consist of wooden benches and pergolas designed in different shapes and sizes. The lack of lighting around the seating units has a negative impact on both safety and comfort of use, and prevents the square from fully fulfilling its social and recreational function. Therefore, lighting solutions need to be increased and the seating areas need to be made safer and more usable (Figure 4).

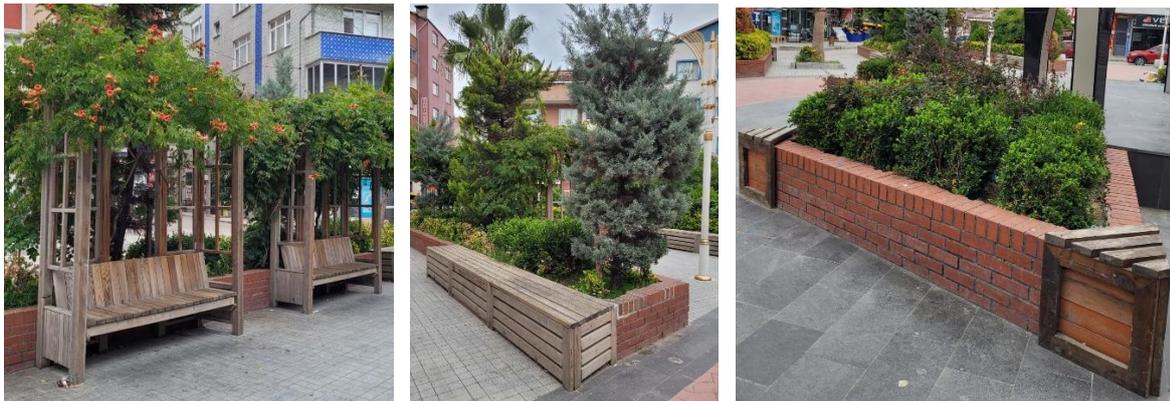


Figure 4. Visuals of seating units in the city square

Trash Bins: The number of garbage bins in the study area is insufficient to meet the current user density. This situation causes waste not to be disposed of properly and negatively affects the cleanliness of the area. In addition, the existing bins are not compatible with the overall aesthetic integrity of the study area in terms of shape and design; they do not integrate with the environment in terms of material, color and shape and may disrupt the visual order of the area (Figure 5). Therefore, improvements are required in terms of both utilization capacity and design.



Figure 5. A view of the garbage bin in the city square

Elements for Communication Function: The billboard in the study area is not compatible with the visual integrity of the space in terms of positioning and size. The position of the billboard does not offer an effective visibility in terms of user line and viewing angle, and therefore it is not actively used functionally. This negatively affects the aesthetic value of the space and limits the user experience (Figure 6).



Figure 6. A view of a billboard in the city square

Vegetative Elements: The vegetative elements in the city square are divided into two main categories according to the way they are used: plants in plant boxes and green areas integrated in under-tree seating units. As a result of the observations made, it was determined that the vegetative elements in the square are generally in good condition. The harmony and arrangement of the plants contribute to the aesthetic integrity of the space and provide a visually balanced experience for users. The fact that the plants are healthy and regularly maintained allows the square to be used both aesthetically and functionally in a positive way (Figure 7).

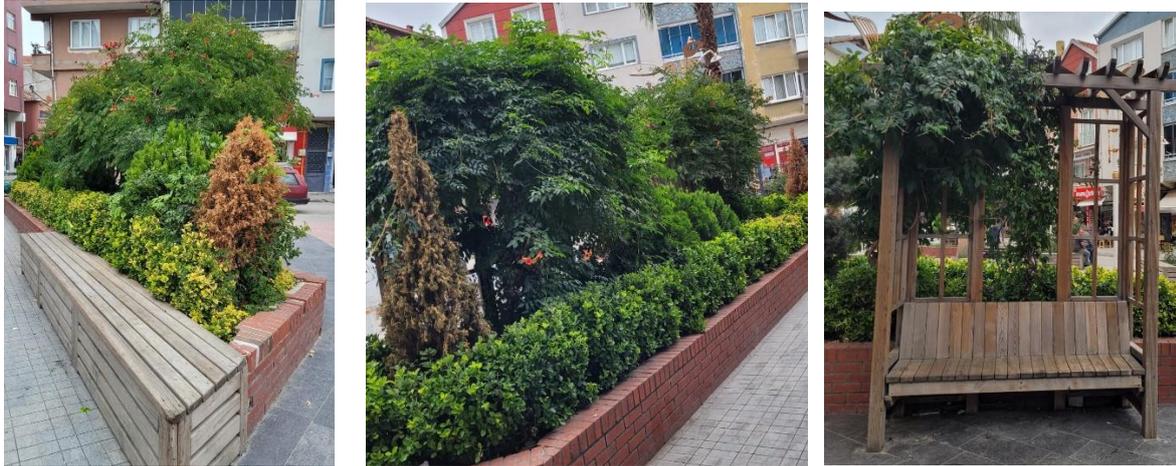


Figure 7. Visuals of plant elements in the city square

Facilities in the Valley of Life

Ground Coverings: As a result of the examinations made within the scope of the ground coverings in the Valley of Life, it was determined that the pedestrian paths were covered with gravel, while grass and soil were used in the areas where children's playgrounds and seating units are located. The observations show that the existing pavements have some limitations in terms of use and are insufficient to meet the heavy user traffic of the area (Figure 8). Therefore, it is necessary to reorganize the floor materials in terms of durability and user comfort and to evaluate alternative material solutions.



Figure 8. Visuals of floor coverings in the Valley of Life

Lighting Elements: The lighting elements in the Valley of Life are designed as single and road lighting. However, observations reveal that the existing lighting system is insufficient to meet the usage needs of the area. The insufficient amount of light falling on the area, especially in the evening and night hours, negatively affects the safety and comfort of the users and limits the social and recreational use potential of the area. The lack of aesthetics of the lighting elements used makes the area visually inadequate (Figure 9). For this reason, it is necessary to increase the number of lighting elements, re-plan their current placement according to the areas of use and ensure adequate lighting levels.



Figure 9. Visuals of lighting elements in the Valley of Life

Seating Units: The seating units in the Valley of Life consist of wooden pergolas, swings, gazebos and benches designed in different shapes and sizes. However, observations show that these seating units are inadequately maintained and do not fully meet user needs in terms of ergonomics. In addition, the lack of lighting in the areas where the seating units are located poses a significant problem in terms of user safety, especially in the evening hours (Figure 10). In addition, the different shapes and sizes of the seating units negatively affect the overall aesthetic integrity of the square and limit the visual organization of the space. Therefore, the seating units should be redesigned both ergonomically and aesthetically and the area should be supported with adequate lighting.





Figure 10. Visuals of seating units in the Valley of Life

Trash Bins: The number of garbage bins in the study area of Yaşam Vadisi is insufficient to meet the current user density. This deficiency leads to waste not being disposed of properly and the general cleanliness of the area is negatively affected. Observations show that there are not enough trash bins in the area, which negatively affects both user comfort and the hygiene standards of the area. Therefore, the number of trash bins in the study area should be increased and placed in accordance with the intensity of use.

Sales Units: The sales units in the Valley of Life are open for seasonal use only during the summer season. In these areas, local food as well as various fast food products are sold. In addition, paid gaming equipment is also available; foosball, boxing machines, battery-powered cars, portable cinemas and bouncy houses are available for users. The sales units are organized in different concepts: some are buffet style, while others are café or restaurant style. In addition, some units offer live music. In front of the sales units there are seating areas belonging to the businesses and the interior design of each unit is different. This diversity offers a variety of experiences and preferences for users, increasing social interaction and spatial dynamism (Figure 11).



Figure 11. Visuals of sales units in Yaşam Vadisi

Vegetative Elements: The vegetative elements in the Valley of Life consist of plant materials derived from natural vegetation and planted randomly, with seating units integrated around them. Observations show that the landscape value of this plant arrangement is inadequate, it is not suitable for the area and contains some misuses (Figure 12). The harmony and arrangement of the plants do not contribute to the aesthetic integrity of the space and do not provide an adequate visual experience for the users. In addition, poor maintenance of the plants both reduces the quality of the landscape and negatively affects the comfort of use of the area. Therefore, it is necessary to organize and maintain the vegetation elements and increase their landscape value.



Figure 12. Visuals of vegetation elements in the Valley of Life

DISCUSSION AND CONCLUSION

The field studies conducted in Türkeli district reveal that urban reinforcement elements contain various deficiencies in terms of spatial, functional and aesthetic aspects. Observations in the city square and the Valley of Life show that user needs are not fully met, especially in terms of lighting elements, seating units, garbage bins and vegetative arrangements. This finding confirms that, as frequently emphasized in the literature, the quality of urban space and user comfort are directly influenced by the reinforcement elements (Erdoğan et al., 2011; Güremen, 2011).

Although the floor coverings were designed with different materials in both study areas, it was observed that the gravel and soil floor, especially in Yaşam Vadisi, caused durability problems in intensive use. This situation shows that urban reinforcement elements should be planned not only in terms of aesthetics but also in terms of durability and functionality (Başal et al., 1997).

Lighting elements stood out as an element that negatively affects safety and user comfort due to inadequate lighting and irregular layout in both areas. This finding is in line with the effect of lighting design on user behavior and the intensity of social use of the area, as emphasized by Kuter and Erdoğan (2009).

Seating units and garbage bins were found to be deficient in terms of both ergonomics and user capacity. The current arrangement in the square and valley does not meet the user density and limits the functional potential of the space. Similarly, the irregular and poorly maintained positioning of plant elements reduces the landscape value and negatively affects the visual integrity of the area (Es, 2009; Bulut et al., 2008).

Research findings reveal that urban furnishing elements should be evaluated not only in terms of aesthetics and functionality, but also from the perspective of spatial integrity, sustainability and urban identity. Studies in the literature emphasize that the social, aesthetic and environmental quality of urban areas will increase when urban furniture and equipment elements are compatible with user-oriented design, material selection, landscape integration and cultural context (Dascălu, 2011; Tian et al., 2014; Aksoy, 2021).

This research, which was conducted in the example of Türkeli district, aimed to evaluate the current situation of urban reinforcement elements in terms of landscape architecture. The findings obtained within the scope of the study reveal the following results:

- Lighting elements are inadequate in terms of user safety and social use; they negatively affect the comfort of use in the square and valley during evening and night hours.
- Seating units are ergonomically incomplete and irregularly placed, limiting the efficiency of use of the areas.
- Garbage bins are not sufficient in number to meet the current user density and are not aesthetically compatible with the environment.
- Floor coverings are insufficient in terms of durability and user comfort in some areas.
- Instead of enhancing landscape value, plant elements negatively affect visual and functional integrity due to irregular placement and lack of maintenance.
- Sales units and playgrounds do not contribute sufficiently to the integrity of the space due to limited usage periods and different design approaches.

It is recommended to pay attention to the following points regarding the reinforcement elements in the study area:

- *Lighting enhancement and planning:* The lighting system in the square and valley should be reorganized to support user movement and use of space.
- *Seating units and garbage bins:* New ergonomic and user-friendly elements should be added; existing elements should be maintained and repaired.
- *Floor arrangements:* Durable, non-slip and aesthetic materials should be preferred for pedestrian paths and areas of intensive use.
- *Arrangement of plant elements:* Plant landscaping should be designed to support the visual integrity of the space; maintenance plans should be created.
- *Diversity of equipment:* Seating, play and social area solutions should be developed to appeal to different age and cultural groups of users.
- *Sustainable and aesthetic material selection:* Long-lasting, local and environmentally friendly materials should be used in urban furniture, contributing to the visual identity of the city.

This study conducted in Türkeli district evaluated the current state of urban infrastructure elements from a landscape architecture perspective and revealed significant deficiencies in terms of the area's spatial, functional, and aesthetic qualities. The findings show that urban furniture elements are not merely physical design elements; they also play a decisive role in user comfort, safety, social interaction, and urban identity. It is observed that the functional effectiveness and aesthetic value of the space decrease when basic urban components, such as lighting, seating units, trash bins, floor coverings, and plant arrangements, are not addressed with a holistic design approach.

In this regard, the results obtained from the Türkeli example reveal the necessity of urban fixture planning based on scientific data and user requirements, even in small-scale settlements. Fixture elements designed within the framework of sustainable, ergonomic, and aesthetic principles in the reorganization of the area will both increase user satisfaction and strengthen the city's identity.

In short, the redesign of urban infrastructure elements in Türkeli district in line with landscape architecture principles will contribute to improving the quality of urban life, ensuring spatial integrity, and creating sustainable urban aesthetics. This study also serves as a guiding example for urban infrastructure design in similarly scaled residential areas.

REFERENCES

- Akpınar Külekçi, E. (2018). Kent Donatı Elemanlarında Özgün Tasarımların Peyzaj Ergonomisi Yaklaşımıyla İrdelenmesi. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD)*, 3(2), 89-109.
- Aksoy, Ö.B. (2021). Cbs Tabanlı Bir Yerleşke Donatı Bilgi Sisteminin (Yedbis) Oluşturulması: Kafkas Üniversitesi Şehitler Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Asatekin M (2001). Kentin Kurumsal Kimliği ve Kentin Donatımında Eşgüdüm, I. Uluslararası Kent Mobilyaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 9-11 Mayıs, 57-61.
- Başal, M., Memlük, Y., Yılmaz, O., 1997. Peyzaj Konstrüksiyonu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Bayraktar N, Tekel A, Ercoşkun Ö (2008). Ankara Atatürk Bulvarı Üzerinde Yer Alan Kentsel Donatı Elemanlarının Sınıflandırılması, Değerlendirilmesi ve Kent Kimliği İlişkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1): 105-118.
- Bayramoğlu, E. ve Özdemir, B. (2012). Trabzon Kent Merkezi, Uzun Sokak Kentsel Donatı Elemanlarının Kent Kimliği Açısından Değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2), 182-191.
- Birol, G. (2007). Bir Kentin Kimliği ve Kervansaray Oteli Üzerine Bir Değerlendirme. *Arkitekt Dergisi*, 514(1), 46-54.
- Bulduk, B. (2012). An Analysis of the Use of Urban Furniture in City Advertising in Terms of Aesthetic/Visual Appreciation Training: City Design. *Procedia-Social and behavioral sciences*, 46, 3279-3283.
- Bulut, Y., Atabeyoğlu, Ö. ve Yeşil, P. (2008). Erzurum Kent Merkezi Donatı Elemanlarının Ergonomik Özelliklerinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(2), 131-138
- Dascălu, D. M. (2011). Landscape Effects of Urban Furniture Textures. *Bulletin UASVM Horticulture*, 68(1), 324-331. Doi: 10.15835/buasvmcn-hort:6875
- Deniz, K. (2004). Konya’da farklı Üç Kentsel Mekânda Kent Kimliği Üzerine Bir Araştırma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).
- Düzenli. T., Yılmaz. S., & Özkan, D.G. (2017). Peyzaj mimarlığı eğitiminde donatı mekan ilişkisinin kurgulanması. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10 (48), 478 – 485.

- Erdem, N. (1995). Kentsel donatı elemanları. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 45(1-2), 128-133.
- Erdoğan, R., Oktay, H. E. ve Yıldırım, C. (2011). Antalya-Konyaaltı Parklarında Kullanılan Donatı Elemanları Tasarımlarının Kullanıcı Görüşleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12(1), 1-8.
- Es, M. (2009). Kent Kimliği, Kent Kültürü. ET, 21, 2009.
- Güleç, E. (2006). Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Anadolu İnsanın Antropometrik Boyutları, Proje No: 20030901018
- Güney, A., Erdem, Ü., Zafer, B., Hepcan, Ş., 1996. Peyzaj Konstrüksiyonu Elemanları). Ege Üniversitesi (Donatı Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İzmir.
- Güremen, L. (2011). Kent kimliği ve estetiği yönüyle kentsel donatı elemanlarının Amasya kenti özelinde araştırılması. E-Journal of New World Sciences Academy, 6(2), 254-279.
- Hacıhasanoğlu, I. (1991). Kent Mobilyaları, Teknografik Matbaacılık, İstanbul.
- İlgar, E. (2008). Kent Kimliği ve Kentsel Değişimin Kent Kimliği Boyutu: Eskişehir Örneği. Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi (03.10.2025): <https://earsiv.anadolu.edu.tr/xmlui/handle/11421/6205?locale-attribute=tr>
- Karadeniz, Z. , (2019), Peyzaj Tasarım Kriterleri Açısından Samsun Kent Parklarının İncelenmesi , Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı , Yüksek Lisans Tezi, Ordu
- Kuşkun, P. ve Yılmaz, H. (2003). Erzurum Kent Bütününde Donatı Elemanlarının Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(4), 345-351.
- Kuter N, Erdoğan E (2009). Kentsel Donatı Elemanlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi. Çankırı Araştırmaları Dergisi, 243-256.
- Özer, S., Aklıbaşında, M., Zengin, M. (2010). Erzurum Kenti Örneğinde Kullanılan Kuşatma Elemanlarının Kent İmajı Üzerindeki Etkileri. Tekirdağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(2), s. 123-130.
- Sağlık A, Sağlık E, Kelkit A (2014). Kentsel Donatı Elemanlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi: Çanakkale Kent Merkezi Örneği, 1. Uluslararası Kentsel Planlama-Mimarlık-Tasarım Kongresi, 8-11 Mayıs, Kocaeli/Türkiye, pp.1023-1035.
- Sakal AN, 2007. Ankara'da Kentsel Donatıların Peyzaj Planlama ve Tasarımı Açısından Analizi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 37 s, Ankara.

- Şişman, E.E., & Yetim L. (2004). Tekirdağ kentinde donatı elemanlarının peyzaj mimarlığı açısından irdelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 5(1), 43-51.
- Tian, Y., Jim, C.Y. & Wang, H. (2014). Assessing the landscape and ecological quality of urban green spaces in a compact city, Landscape and Urban Planning, 121 pp. 97-108.
- Yücel, G. F., & Yıldızcı, A. C. (2006). Kent parkları ile ilgili kalite kriterlerinin oluşturulması. ITU dergisi/a, mimarlık, planlama, tasarım. Cilt:5, Sayı:2, Kısım:2, 222-232.

AN ANALYSIS OF CHILDREN'S PLAYGROUNDS IN THE DISTRICT OF TÜRKELİ (SİNOP) IN LINE WITH LANDSCAPE DESIGN PRINCIPLES

MASTER'S STUDENT | GÖKÇE CAN ¹

PROF. DR. | ELİF AKPINAR KÜLEKÇİ ²

¹ Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape
Architecture : gokce.can.z00@gmail.com ORCID ID: 0009-0002-4160-2975

² Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape
Architecture : eakpinar@atauni.e.du.tr ORCID ID: 0000-0003-2818-8562

ABSTRACT

The rapid increase in urbanization is leading to a decrease in open and green spaces, negatively affecting the planning and sustainability of children's play areas. Children's play areas not only serve the function of playing, but also play an important role as spaces where children socialize, develop communication skills, and learn by experiencing their surroundings. Today, increasing construction and the lack of green spaces make it difficult for children to access safe, accessible, and standard-compliant play areas. Although inner-city parks offer play areas that support mental, physical, and social development, many existing areas do not meet landscape design criteria and are inadequate in meeting children's needs. Childhood is a critical period during which the foundations of an individual's personality and talent development are laid, and play is a fundamental tool in this development. Therefore, the design of children's play areas should take into account safety, functionality, suitability for age groups, the quality of plant and structural materials, and parental needs. This study examines the children's playgrounds in the Türkeli district of Sinop province in line with landscape design principles, evaluating the areas in terms of their location in the urban green fabric, target age groups, area size, existing fixtures, surface coverings, fencing and lighting elements, trash cans, and planting conditions. The findings enable the identification of existing deficiencies and the development of recommendations that will guide future design and planning efforts.

Keywords: Children's playgrounds, landscape architecture, play, children, design principles

INTRODUCTION

Children's playgrounds are among the most important urban spaces of our time and are defined as areas that meet children's basic needs, support their development, and offer them the opportunity to express themselves freely in a safe environment (Aksoy, 2011). Since childhood is a critical stage in which the foundations of an individual's personality development are laid and their different talents are shaped, the importance of playgrounds during this period is increasing. Outdoor play areas, which contribute to children's connection with their environment and the development of an environmentally conscious generation, are becoming even more important due to the decline in open spaces in cities (Freuder, 2006; Üsküplü, 2022).

It is stated that quality play areas provide children with opportunities to prove themselves by supporting their physical, cognitive, social, and emotional development. In this context, play is defined as an activity that supports not only physical skills but also language development, communication skills, cognitive functions, and the development of social roles (Bal, 2005; Yıldız, 2023).

Maslow's (1943) hierarchy of needs emphasizes that basic needs such as safety, belonging, and esteem must be met in play areas; safe surfaces, social spaces that support group play, and equipment that fosters a sense of achievement are considered important criteria in this context. Ergonomic approaches should be adopted in child development, taking into account age periods such as infancy (0–2), early childhood (3–6), middle childhood (7–11), and adolescence (12–18) (Aral & Baran, 2011).

Restricting play or failing to meet children's needs leads to unhealthy development; it is critically important for children, especially those aged 3–4 and older who need to socialize with their peers, to have access to outdoor play areas (Bekmezci & Özkan, 2015; Öztürk, 2001). Therefore, environments should be created where all children, with and without disabilities, can play together without segregation, based on an inclusive design approach (Canlı, 2014). and criteria such as lighting, distance between equipment, parental supervision, appropriate plant material, floor coverings that reduce the risk of falling, non-toxic paints, and durable material selection should be considered in terms of safety (Sungur & Czaplinska, 2018; Tandoğan, 2021).

Playgrounds can be classified according to size, user group, or purpose of use (Yücel, 2005), but it is emphasized that traditional playgrounds mostly support only physical development, neglecting cognitive and social skills (Ender Altay & Kayabaşı, 2020). However, childhood is a critical stage in an individual's development, during which play takes on functions such as learning, socialization, motor skill development, and exploration of the environment (Huizinga, 2018). Therefore, play is considered part of culture and an important tool for intergenerational transmission.

Children's play areas provide children with opportunities to expend their energy safely, establish social relationships, learn group rules, and express their creativity (Türkoğlu, 2017). They also meet children's needs for free movement, exploration, imagination, and learning, facilitating their interaction with the environment (Karaküçük, 1999). These areas have a multidimensional function in terms of supporting physical skills, cognitive processes, and social-emotional

development (Güleç, 1990) and can be divided into different categories, ranging from small neighborhood playgrounds to theme parks (Yücel, 2005).

Design principles emphasize safety, accessibility, diversity, naturalness, and aesthetics; protective floor coverings and standard-compliant equipment are important for safety, the inclusion of children with disabilities is important for accessibility, equipment that supports different types of play is important for diversity, and plant arrangements are important for naturalness (Çolakoğlu, 2012; Güleç, 1990).

The legal framework governing the planning and organization of children's play areas in Turkey is established by the Urban Planning Law No. 3194 and related regulations, which set out the amount of green space per person, access distances, and spatial criteria.

At the international level, ISO standards and European Union standards determine safety and accessibility dimensions, while rapid urbanization, inadequacies in spatial planning, and the reduction of green spaces cause play areas to be insufficient in terms of quantity and quality (Şengül, 2024).

The purpose of this study is to examine the children's playgrounds in Türkeli district of Sinop province within the framework of landscape design criteria, evaluate their current status, and develop recommendations that will guide future design and planning efforts based on the findings.

Types of Playgrounds

Children's playgrounds are spaces designed to meet children's need to play, support their interaction with their environment, and encourage their physical and cognitive development (Çetin, 2003; Balcı, 2022). These areas allow children to socialize, relax, and expend their energy, while also containing various play elements that support them in gaining new experiences. Children's play areas are spaces designed to meet children's need to play, support their physical and cognitive development, enable them to socialize, and allow them to expend their energy (Çetin, 2003; Balcı, 2022). These areas are classified under three main headings according to different age groups and purposes of use:

Children's Play Areas by Size

The general criteria for children's play areas by size have been listed below based on various sources and literature research:

Children's gardens: These are areas designed for children aged 0–3 and 4–7, requiring parental supervision; they have a minimum size of 250 m² and can be up to 500–1000 m² if necessary. These areas should include supervision areas, rest areas, fountains, trash cans, and appropriate landscaping (Çakar, 2003; Coşkun, 2015).

Neighborhood playgrounds: These areas, catering to children aged 5–16, include running, jumping, and free play areas, as well as areas for cognitive games such as chess and checkers and sports fields for soccer, tennis, and volleyball. The size of the area can be 16–28 decares or larger, depending on the population density (Sorkun, 1996; Uluğ, 2007; Balcı, 2022).

Large play areas: These areas offer active recreation potential for young people and adults and also include children's play areas. Recommended to be located close to educational institutions, these areas feature swimming pools, picnic areas, lawns, entertainment areas, and viewing areas; their average size is 80 decares or more (Sorkun, 1996; Balcı, 2022).

Children's Play Areas by Age Group

The general criteria for children's play areas by age group have been listed below based on various sources and literature research:

Zero to Three Age Group: Play areas for children in this age group consist of 7–10 m² per child and include equipment that is stimulating and supports their rapidly developing abilities. For children who are beginning to walk and explore, there should be objects that allow them to touch, hold, or throw, units that support sitting, standing, and walking skills, and low mounds or shallow pits on soft ground (Uluğ, 2007; Çay, 2016).

Three to Six Year Olds: Play areas for this age group should include play elements that support cognitive and emotional development as well as physical activity. Colorful play elements that attract their attention, equipment that develops balance and can be held onto and swung on can be included (Ergin, 2019).

Six to Twelve Age Group: Areas suitable for this age group should be play areas that develop creativity, curiosity, and a sense of discovery, enriching the imagination. There should be games that can be played both individually and in groups, and an area of 6–7 m² should be allocated for each child. These areas are mostly designed to interact with educational institutions (Ergin, 2019; Arslan, 2022).

Twelve Years and Older: Play areas for this user group are usually parks located near educational institutions. These areas may also have separate sections for children's playgrounds and sports activities for adults, so that users aged 12 and older can benefit (Uluğ, 2007).

Children's Playgrounds According to Their Purpose

The general criteria for children's playgrounds according to their purpose have been listed as follows based on various sources and literature research:

Traditional Playgrounds: These are areas that include fixed play equipment such as slides, swings, seesaws, ladders, and sandboxes; while they meet children's basic play needs, they are criticized for limiting their creativity (Canlı, 2022; Ünal, 2009).

Contemporary Playgrounds: These are areas planned by designers and are generally static, containing educational and entertaining elements such as water features, climbing hills, and tunnels (Pehlivan, 2005; Ünal, 2009).

Adventure Playgrounds: These are playgrounds where all play elements are mobile, children can create their own play environment, and they participate rather than being directed; they support physical, social, and cognitive development and encourage cooperation (Tekkaya, 2001; Pehlivan, 2005; Ünal, 2009; Bal, 2005).

Special Purpose Play Areas: These are specially designed areas where children with and without disabilities can play together without discrimination, supporting integration and a universal play experience (Canlı, 2022).

Other Play Areas: These are specifically designed play areas such as skate parks, digital parks, water parks, or areas not directly related to the outdoor environment.

Children's Playground Standards

National and international standards are developed and implemented for children's playgrounds to ensure children's safety. These standards aim to take precautions against accidents such as falls or collisions, while also minimizing risks that may arise from material selection and maintenance deficiencies. Countries can implement their own standards or adopt standards recommended by international organizations (Şengül, 2024). The standards prepared by the U.S. Consumer Product Safety Commission for children's playgrounds are as follows:

- Appropriate site selection
- Appropriate design
- Presence of boundary elements
- Appropriate surface material
- Appropriate positioning of play elements
- Appropriate material selection for play elements
- Play elements within the minimum usage zone

These are standards regarding the hazards that play areas or equipment may cause and the precautions that should be taken against these hazards (Kuşuloğlu, 2013; İslim Şarvan, 2019).

Children's Playground Design Criteria

Since designs for children's playgrounds directly affect children's safety and health, criteria established by experts must be taken into consideration. The design criteria for children's playgrounds are as follows (West, 1996, cited by Ender Altay and Kayabaşı, 2020):

- Children need different types of play to meet their physical, mental, and social development needs. Therefore, designs must incorporate features that address these needs.
- Those supervising the play must be present with the children during playtime. Playgrounds must include different activity areas.
- The shape of the play area must be consistent with the overall appearance of the entire play area.
- Children must be given the opportunity to create their own ideas and environment.
- Uncertainty must be provided to enable children to think differently, and points of success must be provided to develop a sense of self in children. In this context, flexibility must be incorporated into children's play areas.
- To increase the functionality of spaces in children's play areas, seating areas, plants, different colors, and textures should be incorporated to ensure diversity.
- Opportunities should be provided for children to achieve their goals.

Different activities should be incorporated to prepare children for exciting or challenging situations.

Structural Design Criteria

Children's play areas should be designed structurally within certain design criteria. These criteria are listed below (Şengül, 2024)

Site Selection and Accessibility: Children's playgrounds should be located in safe and accessible locations, close to residential areas, in areas with low vehicle traffic; furthermore, the terrain topography, climate, soil characteristics, and drainage should be taken into account, and there should be no elements in the surrounding area that could pose a hazard. Safe access should be provided with pedestrian paths and plant barriers, and the suitability of the area as a children's playground should be carefully evaluated (Kıprıtı, 2019; Canlı, 2022; İslim Şarvan, 2019).

Material Selection: Materials used in children's play areas directly affect children's safety and health and should be non-sharp, non-slippery, non-toxic, non-allergenic, and non-poisonous. Materials should support children's physical, cognitive, and sensory development; have a fluid and flexible structure; be resistant to different climatic conditions; incorporate natural and cultural elements; be durable; and be easy to clean. Durable metals such as steel and aluminum should be used with caution as they carry the risk of rusting and heating up, while precautions should be taken against splinters and cracks in wood. Synthetic materials such as plastic may be preferred for their durability and resistance to breakage; surface treatments should be applied to hard and rough surfaces to reduce the risk of injury. In addition, flooring materials should comply with safety standards that minimize the risk of children falling or tripping (Beckwith, 1985; Fanuscu, 1994; Rojals, 2006; Theemes, 1999; CPSS, 2015; Tandoğan, 2011; Tandoğan, 2021; Arslan, 2022).

Play Equipment: Play equipment in children's play areas should be designed to encourage children's participation in play activities and should be safe, interesting, entertaining, educational, and supportive of socialization. This equipment should be appropriate for the age and skill level of the children and should encourage exploration, experimentation, and creativity. To support socialization, opportunities for group games should be provided in addition to individual games, and activities that strengthen physical development should be offered. In terms of the safety of play equipment, there should be no sharp corners, cracks or broken areas should be repaired, and non-toxic paints should be used. In addition, durable, sturdy, economical, easy-to-maintain and repair materials should be preferred, and all fixtures should be compatible with each other. Traditional play elements include units that support physical and social development, such as swings, slides, and seesaws; while special equipment such as climbing nets or walls are used as alternatives that attract children's interest in terms of motor skills and socialization (Tekkaya, 2001; İslim Şarvan, 2019).

Non-Play Equipment: Non-play equipment in children's play areas should be designed to meet the needs of both children and parents. In this context, seating units, trash cans, warning signs, and toilets should be positioned appropriately (Kıprıtı, 2019). The perimeter of the play area should be enclosed with boundary elements or hedges to ensure safety against children's tendency to wander off, and these materials should be designed to be child-friendly. In terms of hygiene and health, children should be able to wash their hands using fountains suitable for their height; cover systems should make the area comfortable to use in adverse weather conditions, and sunlight transmission should be adjusted correctly. Lighting elements are

critically important for safety; inadequate lighting both exposes children to accidents during play and hinders caregivers' ability to perform their supervisory duties (Şengül, 2024).

Drainage: Drainage is a critical criterion in the design of children's playgrounds in terms of ensuring safety. Inadequate drainage can cause accidents by leading to puddles and distractions during play. Therefore, the slope of the area should be taken into account for the drainage of excess water, or water should be removed using appropriate tools. In addition, different floor coverings should be used for each play group, and these coverings should be made of natural materials such as grass or soil (Balcı, 2022).

Accessible Playground: Accessible playgrounds are spaces that include specially designed play elements and support shared use of common areas, allowing all children to benefit equally. There should be special swings for children who use wheelchairs and ramps that facilitate circulation; safe passage should be ensured by planning the distance between play elements to be at least 180 cm. Furthermore, rest areas should be included in the design so that children with disabilities can spend time with their parents (Çelik et al., 2015).

Plant-Based Design Criteria

Plant-based design criteria, another design criterion, aim to meet the need for green spaces that is decreasing with urbanization, as well as to support children's emotional and other developmental needs in playgrounds. Plants provide an aesthetic and natural environment in playgrounds, increasing children's interaction with their surroundings, and also offer a suitable environment for activities such as relaxation, exploration, and sensory experiences (Şengül, 2024). The following points should be considered when designing plantings in playgrounds (Yılmaz and Bulut, 2002; Acar, 2003; Bektaş, 2003; Türkan, 2009; Türkan and Önder, 2011; Aksoy, 2011; Aklıbaşında et al. 2018; Meşhur and Tekin, 2018; Akdeniz et al., 2020; Balcı, 2022; Arslan, 2022; Yersiz, 2023, Turgay 2023):

- Plant species suitable for the region's climate and soil conditions should be selected.
- Plants should be child-friendly and used at entrances to guide and attract attention.
- Evergreen, long-lived, hardy, and fast-growing species should be preferred.
- Broad-leaved trees should be planned to enhance the sense of space and provide seasonal shade.
- Plants in play areas should not interfere with play; avoid thorny, poisonous, allergenic, or large-fruited, branch-dropping species.
- A buffer green belt should be created in areas close to residences.
- Areas with heavy traffic should be bordered with hedge plants.
- Cut or rare species should not be used in flower beds; a variety of colors and textures that will attract children's attention should be provided.
- Small hills and large lawn areas should be designed to support children's needs for free play, hiding, and movement.

The plant species used in landscaping must be carefully selected with regard to children's health and safety. In this regard, information on plants that can be used in children's play areas (Table 1) and certain plant species that should not be used (Table 2) is provided below:

Table 1. Plants suitable for use in children's play areas (Akdeniz et al. 2020)

| Trees | Bushes | Climbing/Crawling and Seasonal Plants |
|--------------------------------|-----------------------------|--|
| <i>Prunus cerasifera</i> | <i>Forsythia intermedia</i> | <i>Jasminum sp.</i> |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | <i>Hibiscus syriacus</i> | <i>Calendula sp.</i> |
| <i>Cercis siliquastrum</i> | <i>Ribes spp.</i> | <i>Geranium sp.</i> |
| <i>Acer campestre</i> | <i>Euonymus japonica</i> | <i>Matricaria sp.</i> |
| <i>Liriodendron tulipifera</i> | <i>Deutzia gracilis</i> | <i>Cosmos sp.</i> |
| <i>Magnolia grandiflora</i> | <i>Abelia grandiflora</i> | <i>Ageratum sp.</i> |
| <i>Lagerstroemia indica</i> | <i>Spiraea bumalda</i> | <i>Myosotis sp.</i> |

Table 2. Plants that should not be used in children's play areas (Akdeniz et al. 2020).

| Plants with Toxic Properties | | |
|--|------------------------------|--|
| Trees | Bushes | Climbing/Crawling and Seasonal Plants |
| <i>Cedrus atlantica</i> | <i>Hydrangea sp.</i> | <i>Achillea millefolium</i> |
| <i>Creteagus sp.</i> | <i>Viburnum lantana</i> | <i>Delphinium sp.</i> |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> | <i>Daphne sp.</i> | <i>Anemone sp.</i> |
| <i>Eriobotrya japonica</i> | <i>Ilex aquifolium</i> | <i>Iris germanica</i> |
| <i>Malus floribunda</i> | <i>Nerium oleander</i> | <i>Aquilegia sp.</i> |
| <i>Cydonia oblonga</i> | <i>Rhododendron ponticum</i> | <i>Senecio cineraria</i> |
| <i>Phoenix sp.</i> | <i>Taxus baccata</i> | <i>Arum maculatum</i> |
| <i>Melia azedarach</i> | <i>Cotoneaster sp.</i> | <i>Clematis sp.</i> |
| Plants Containing Allergenic Pollen | | |
| Trees | Bushes | Climbing/Crawling and Seasonal Plants |
| <i>Acer negundo</i> | <i>Erica verticillata</i> | <i>Lonicera sp.</i> |
| <i>Morus sp.</i> | <i>Juniperus sp.</i> | <i>Plantago lanceolata</i> |
| <i>Tilia argentea</i> | <i>Erica arborea</i> | <i>Bellis perennis</i> |
| <i>Castanea sativa</i> | <i>Calluna vulgaris</i> | <i>Rumex acetocella</i> |

Maintenance of Children's Play Areas

Maintenance of children's play areas requires periodic repair of floor coverings and play and equipment elements, replacement of broken or worn parts, and proper sanding of wooden materials. In addition, play elements must be cleaned regularly, and maintenance tasks such as watering and pruning of green areas must not be neglected. Since neglected areas increase the risk of injury to children, periodic inspections should be conducted and, where necessary, measures should be taken in accordance with standards such as those of the CPSC (U.S. Consumer Product Safety Commission) (Şengül, 2024).

MATERIAL AND METHOD

Material

The material for this study consists of children's playgrounds located in the Türksheli District of Sinop Province in the Western Black Sea Region. There are five neighborhoods in the center of Türksheli District. There are a total of three parks in these neighborhoods. Figure 1 shows the location of the children's playgrounds in the Türksheli district. In order to systematically analyze the three children's playgrounds examined in the study, each playground was coded and numbered as “Children's Playground (CP)” (CP-1, CP-2, CP-3). The coding system provided in Table 3 was preferred in order to maintain the integrity of meaning and prevent repetition during the process of tabulating the data, presenting it graphically, and referencing it in the text.

Table 3. Parks that make up the work area

| SERIAL NUMBER | PARK NAME |
|---------------|----------------------------------|
| ÇOA-1 | Şehit Ömer Halisdemir Parkı |
| ÇOA-2 | Uçaklı Park |
| ÇOA-3 | Çayıççi Konaklamasız Orman Parkı |

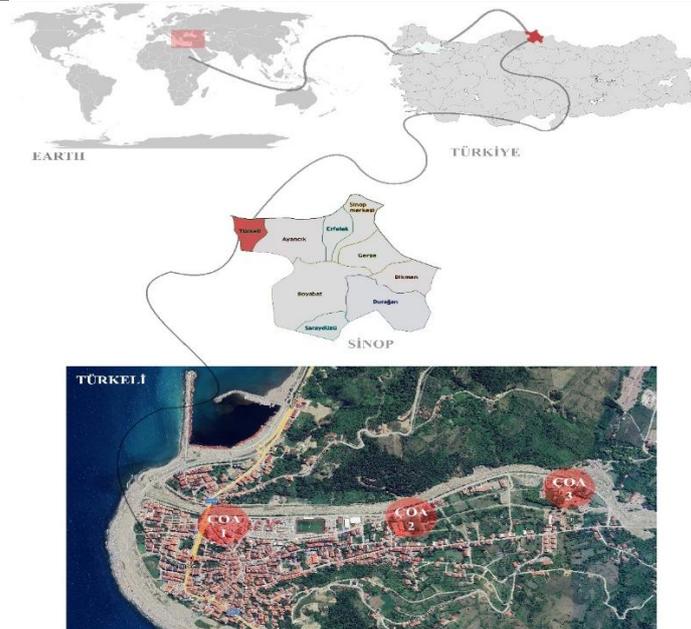


Figure 1. Location of children's playgrounds in Türksheli district (original)

Method

Three parks located within the boundaries of Türkeli District were evaluated in terms of various design criteria for children's play areas. In this context, each play area was analyzed in terms of characteristics such as the neighborhood it is located in, area size, slope of the terrain, presence and variety of play elements, ground covering, fencing elements, fixtures, and accessibility. A qualitative research approach was adopted in the study, and the data obtained were analyzed in line with the children's playground design criteria identified in the literature. The following criteria were used in the evaluations of the areas:

- Location and size of the playground,
- Slope of the terrain (flat/sloped),
- Ground material (rubber, sand, grass, etc.),
- Number and variety of play elements,
- Presence and quality of enclosing elements (fence, wall, boundary element, etc.),
- Furnishings (seating area, lighting, trash can, etc.),
- Planting scheme (shade-providing trees, shrubs, grass areas, etc.),
- Accessibility (suitability for individuals with disabilities).

The data obtained in line with these criteria has been organized in tables and graphs, and the physical and spatial characteristics of the playgrounds have been presented in a comparative manner based on the neighborhood. In addition, deficiencies and observed problems have been interpreted and evaluated in the context of user needs and children's rights. The literature highlights the following as the basic design and planning criteria that a successful children's playground should have: correct location selection, play equipment that supports the child's social, physical, and psychological development, as well as regular maintenance and safe usage opportunities in terms of botanical and structural elements (Aklıbaşında et al., 2018; Bal, 2005; Uluğ, 2007; Yılmaz and Bulut, 2002). In this study, evaluations were made in the children's playgrounds in Türkeli district according to the above-mentioned criteria, based on the information obtained from the aforementioned literature. The method of the study evaluated in this context consists of five stages. These stages are listed in order. The method of the study evaluated in this context consists of five stages. These stages are listed in order.

1. Phase Comprehensive Literature Review: A literature review was conducted on the concept of play and its relationship with the environment, children's play areas, and children's play area design principles, using both domestic and foreign sources to gather information on the subject.

2. Phase Field Identification and Selection: In the study conducted in the district of Türkeli, Sinop province, parks and children's playgrounds located in different neighborhoods of the district were identified. The children's playgrounds to be examined in the study were listed.

Phase 3 Visual Assessment and Photography: Considering the current state of the children's playgrounds and the literature review, examinations were conducted according to the criteria that children's playgrounds should meet (Table 4). The aspects considered in the children's playgrounds were: play equipment (seesaws, merry-go-rounds, swings, slides, etc.), urban

fixtures (recycling bins, flower boxes, lighting elements, fountains, trash cans, picnic tables, gazebos, pergolas, benches, water features, boundary elements, etc. etc.), flooring, the material of the play equipment (polyethylene, metal, and wood), safety, age-appropriate design, botanical design, and accessibility. Photographs were taken of the area to document the visuals.

In the study, considering the current status of children's playgrounds and literature research, the criteria that children's playgrounds should have were determined as “Neighborhood, Size, Land Slope Condition, Play Elements, Play Element Materials, Floor Material, Enclosure Element, Fixture Elements, Plant Material, Safety, Maintenance.”

4. Phase Data Analysis: Field observation, one of the qualitative research methods, was used in this study. In addition to the literature review, data on criteria such as area size, terrain slope, safety status, level, vegetation cover, and fixture elements were collected through notes taken and photographs taken during field observations of children's playgrounds in the Turkisheli district. These data were analyzed and presented visually in tables and graphs, and the current state of the children's playgrounds was evaluated from a landscape architecture perspective.

5. Phase Recommendations and Improvements: In the final stage, improvement recommendations were made to make the children's playgrounds more usable based on the data obtained.

RESEARCH FINDINGS

In this study, a total of three children's playgrounds located in Türkeli district were evaluated on-site using the observation method in accordance with the specified design criteria. Within the scope of the study, physical and functional parameters such as neighborhood information, size (m²), terrain slope, number and variety of play elements, ground material, fencing elements, fixtures, accessibility, and landscaping were analyzed for each area. The findings are presented systematically below.

Distribution and Physical Characteristics of Playgrounds: Although there are a total of 5 neighborhoods in Türkeli district, it was determined that children's playgrounds are located in only three neighborhoods. This situation indicates that the spatial distribution of playgrounds in the district is insufficient. The largest playground in the district is the Çayıçi Non-Accommodation Forest Park in Tümerkan Neighborhood (9600 m²). All children's playgrounds are located on flat terrain (Table 5).

Table 5. Physical characteristics of children's play areas

| ÇOA No | The Neighborhood It Is Located In | Area (m ²) | Gradient Condition |
|--------|-----------------------------------|------------------------|--------------------|
| ÇOA-1 | Güzelyurt Mah. | 1600 m ² | Flat |
| ÇOA-2 | Tümerkan Mah. | 1100 m ² | Flat |
| ÇOA-3 | Tümerkan Mah. | 9600 m ² | Flat |

Playground Equipment and Diversity: The vast majority of playground equipment consists of basic elements such as swings, slides, and seesaws. Only a portion of the parks examined featured different elements such as climbing toys, rotating toys, or sandboxes. The material type of playground equipment is generally plastic; in some cases, wooden or metal parts have also been used.



Figure 2. Images from the children's playgrounds in the Güzelyurt (ÇOA-2) and Tümerkan (ÇOA-3) neighborhoods

Floor Covering and Safety: Rubber is mostly preferred as the floor material. However, in some parks, it has been observed that the floor material has deformed over time or has been completely removed. Floor deformation is less in the ÇOA-2 and ÇOA-3 areas. In some areas of ÇOA-2, soil flooring has been preferred. Floor safety is inadequate, especially on hard or uneven surfaces, where there is a risk of falling.

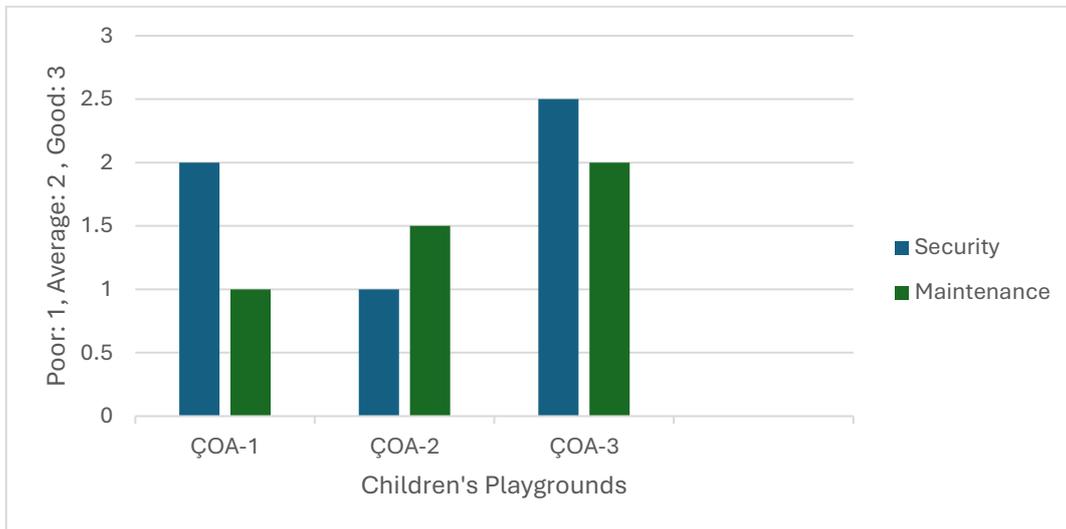


Figure 3. Safety and maintenance status of children's playgrounds in Türkeli District (Poor: 1, Average: 2, Good: 3)



Figure 4. Children's play areas with damaged surfaces

Furnishings and Enclosure Elements: Furnishings such as seating units, lighting, and trash cans are missing in many parks. Sports equipment is located in some playgrounds along with play equipment. Stone walls, metal fences, or wooden fences have been used as enclosure elements. However, some parts of certain parks have no enclosure at all (ÇOA-2).

Table 6. Information on the design elements of children's play areas

| ÇOA NAME | Game Elements | Game Element Material | Floor Material | Enclosure Element | Reinforcement Elements |
|----------|---------------|-----------------------|----------------|----------------------------|--|
| ÇOA-1 | Slide | Plastic | Rubber | Metal Fence Stone Wall | Lighting Seating Unit Trash Can |
| | Swing | | | | |
| | Seesaw | | | | |
| ÇOA-2 | Slide | Plastic | Rubber | Stone Wall | Lighting Seating Unit Trash Can |
| | Swing | Plastic | Rubber | | |
| | Seesaw | Plastic | Rubber | | |
| | Climbing | Wood | Soil | | |
| | Tarzan Ladder | Metal | Rubber | | |
| ÇOA-3 | Slide | Plastic | Rubber | Stone Wall Wooden Fence | Seating Area Trash Can Sports Area Sports Equipment |
| | Swing | Plastic | Rubber | | |
| | Seesaw | Plastic | Rubber | | |
| | Cylinder Toy | Plastic | Rubber | | |

Planting and Shading Conditions: When examining the types and arrangements of plant materials in children's play areas, it was observed that plants were randomly planted in most areas; there was no systematic planting based on design.

Accessibility: Access to the areas is generally provided via pedestrian paths; however, narrow sidewalks, surface irregularities, and lack of ramps make access difficult for individuals with disabilities.

DISCUSSION AND CONCLUSION

This study has revealed the current state of children's playgrounds in Türkeli district, Sinop province, in line with landscape design principles, and has identified their inadequacies in terms of functionality, safety, accessibility, and botanical design criteria. The findings indicate significant shortcomings when compared to national and international standards highlighted in the literature.

Firstly, it is observed that the number and spatial distribution of children's playgrounds in the district are uneven. The fact that there are playgrounds in only three of the district's five neighborhoods limits children's access to play spaces. This situation, similar to the studies by Yersiz (2023) and Balcı (2022), shows that sufficient priority is not given to child-friendly areas during the planning stage in small settlements. However, according to European Union and ISO standards, children should be able to access safe play areas within a radius of 250–500 m (Şengül, 2024).

When evaluated in terms of the variety of play elements, it was determined that the areas in Türkeli district largely consist of traditional equipment (swings, slides, seesaws). However, contemporary approaches emphasize that playgrounds should support not only physical development but also cognitive and social skills (Ender Altay & Kayabaşı, 2020; Canlı, 2014). In this respect, the existing areas do not sufficiently support children's imagination, creativity, and socialization potential. Bal (2005) and Arslan (2022) reached similar conclusions, emphasizing the importance of age-appropriate thematic diversity in the design process.

From a safety perspective, it has been observed that most playgrounds have rubber flooring, but due to lack of maintenance, deformations and surface deterioration are present. This situation increases the risk of falls and does not meet the safety requirements of CPSC (2015) standards. Tandoğan (2021) and İslim Şarvan (2019) emphasize that the continuity of the flooring material and regular maintenance are of vital importance for playground safety.

It has been determined that fixture elements (seating units, lighting, trash cans) are lacking in many areas and that children's safety is at risk due to inadequate fencing elements. This finding has been similarly expressed in the studies by Kıpırtı (2019) and Şengül (2024). The lack of lighting not only limits safety but also limits parents' ability to supervise their children and use the area safely in the evening hours.

No planned landscape design was observed in the plant arrangements; randomly planted trees and shrubs were generally used. This situation leads to both insufficient shaded areas and disruption of visual continuity. Yılmaz and Bulut (2002) and Türkan and Önder (2011) emphasize that plant arrangements in playgrounds play a decisive role not only in terms of

aesthetics but also in terms of microclimate control, guidance, and safety. However, the current plant arrangement in Türkeli district does not meet these criteria to a large extent.

Finally, in terms of accessibility, the lack of ramps and barrier-free passageways for use by individuals with disabilities contradicts the principles of inclusive design. As emphasized by Çelik, Ender, and Akdeniz (2015), children's playgrounds should be accessible to everyone and should be designed so that individuals with physical disabilities can benefit equally.

In this context, the general condition of children's playgrounds in Türkeli district parallels the planning, maintenance, and standard deficiencies observed in many cities across Turkey. The redesign of playgrounds in accordance with landscape architecture principles is important not only for children's development but also for increasing social welfare and the quality of urban life (Akpınar Külekçi, 2018; Tandoğan, 2021).

The findings of this study show that children's playgrounds in Türkeli district are quantitatively insufficient and qualitatively incompatible with landscape design principles. The areas are mostly limited to basic play equipment and cannot fully fulfill the cognitive, social, and aesthetic functions required by contemporary design approaches.

The recommendations developed based on the study's findings can be listed under the following headings:

Planning and Area Distribution

- Play areas should be planned in a balanced manner at the neighborhood level, ensuring that at least one play area is within reachable distance for every child.
- When selecting locations for new play areas, population density, topography, and pedestrian access criteria should be considered.

Design and Safety

- Impact-resistant rubber or natural ground coverings should be used in play areas to reduce the risk of falls; regular maintenance should be performed.
- Safe distances should be maintained between equipment, and materials used should be non-toxic and resistant to breakage.
- Lighting elements should be positioned in a way that both increases safety and provides visual comfort.

Planting and Ecological Design

- Species that are compatible with the regional climate, provide shade, and are not thorny or toxic should be preferred (Akdeniz et al., 2020).
- Play areas should be planned not only for aesthetics but also as ecological learning environments that increase interaction with nature.
- Plant buffers should be strategically placed to reduce traffic-related noise and air pollution.

Accessibility and Inclusive Design

- Ramps, special play elements, and barrier-free circulation paths should be designed for children with disabilities; seating units should be placed according to universal design principles.
- Inclusive playground models where all children can play together should be encouraged (Çelik et al., 2015).

Management and Sustainability

- The maintenance of playgrounds should be carried out in cooperation between municipalities and local communities; regular inspection mechanisms should be established.
- Participatory planning processes involving children, parents, and educational institutions should be supported to raise social awareness.

In summary, children's playgrounds are not just places for recreation but important learning environments that support children's physical, cognitive, and emotional development. The redesign of existing playgrounds in Türkeli district in accordance with landscape design principles is essential to achieve sustainable and child-friendly city goals. In this context, the planning and design work to be carried out will contribute to the quality of life not only of children but of all members of society.

REFERENCES

- Acar, H. (2003). Çocuk oyun alanlarında kullanıcıların bitki tercihlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma: Trabzon kenti örneği (Tez No. 139178) [Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi].
- Akdeniz, N.S., Yener, Ş.D., & Zencirkıran, M. (2020). Landscape Plants That Can Be Used In The Design Of Children's Playgrounds. Theory and Research in Architecture, Planning and Design II. Chapter 1. Gece Publishing.
- Aklıbaşında, M., Tırnakçı, A., & Özhancı, E. (2018). Çocuk Oyun Alanlarının Önemi ve Tasarım Kriterlerinin Nevşehir Kenti Örneğinde İrdelenmesi. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım <http://dx.doi.org/10.16950/iujad.412099>
- Akpınar Külekçi, E. (2018). Kent donatı elemanlarında özgün tasarımların peyzaj ergonomisi yaklaşımıyla irdelenmesi. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD)*, 3(2), 89–109.
- Akpınar Külekçi, E. (2018). Kent Donatı Elemanlarında Özgün Tasarımların Peyzaj Ergonomisi Yaklaşımıyla İrdelenmesi. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD)*, 3(2), 89-109.
- Aksoy, Ö.B. (2021). Cbs Tabanlı Bir Yerleşke Donatı Bilgi Sisteminin (Yedbis) Oluşturulması: Kafkas Üniversitesi Şehitler Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Aksoy, Y. (2011). Çocuk Oyun Alanları Üzerine Bir Araştırma İstanbul, Isparta, Eskişehir, Erzurum, Kayseri, Ankara, Zonguldak ve Trabzon İlleri Örneği. İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 3(11), 82-106.
- Aral, N. & Baran, G. (2011). Çocuk Gelişimi. İstanbul: Yenigüven Matbaası.
- Arslan, T. (2022). Kırklareli Kent Merkezi Çocuk Oyun Alanlarının Peyzaj Tasarım İlkeleri Açısından Değerlendirilmesi (Tez No. 732747) [Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi].
- Bal, A. (2005). Zonguldak kenti yeşil alan sistemindeki çocuk oyun alanlarının durumunun peyzaj mimarlığı ilkeleri açısından irdelenmesi [Yayınlanmamış Yüksek Mimarlık Tezi]. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.
- Balcı, M. E. (2022). İstanbul-Başakşehir İlçesi Çocuk Oyun Alanlarının Yeterliliği ve Tasarım İlkeleri Üzerine Araştırmalar (Tez No. 751937) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi].

- Bayramoğlu, E. ve Özdemir, B. (2012). Trabzon Kent Merkezi, Uzun Sokak Kentsel Donatı Elemanlarının Kent Kimliği Açısından Değerlendirilmesi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12(2), 182-191.
- Beckwith, J. (1985). When children play. Association for Childhood Education International.
- Bekmezci, H. & Özkan, H. (2015). Oyun ve oyuncağın çocuk sağlığına etkisi, Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Erzurum. İzmir Dr. Behçet Uz Çocuk Hastalıkları Dergisi, 5(2), 81-87. DOI:10.5222/buchd.2015.081
- Bektaş, Y. (2003). İlköğretim Çağı Çocuklar ve Çocuk oyun Alanları. A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Ankara.
- Biol, G. (2007). Bir Kentin Kimliği ve Kervansaray Otel Üzerine Bir Değerlendirme. Arkitekt Dergisi, 514(1), 46-54.
- Bulut, Y., Atabeyoğlu, Ö. ve Yeşil, P. (2008). Erzurum Kent Merkezi Donatı Elemanlarının Ergonomik Özelliklerinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. Tarım Bilimleri Dergisi, 14(2), 131-138
- Canlı, G. A. (2014). Gelişen dünyada çağdaş çocuk oyun alanları (Tez No. 374656) [Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi].
- Coşkun, E. B. (2015). Çocuk Oyun Alanı Elemanlarının Standartları Üzerine Bir İnceleme (Tez No. 392622) [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi].
- CPSC. (2015). Public Playground Safety Handbook. Consumer Product Safety Commisison, East West Highway Bethesda, USA.
- Çakar, H. Ö. (2003). Bornova'nın Çocuk Oyun Alanlarının Peyzaj Mimarlığı Yönünden Etüdü ve Daha Uygun Koşulların Oluşturulmasına Yönelik Bir Araştırma (Tez No. 134505) [Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Çay, R. D. (2006). Çocuk oyun alanlarının iç mekân ve yakın çevrede oluşumu [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
- Çelik, A., Ender, E., & Akdeniz, N. S. (2015). Engelsiz Parklarda Peyzaj Tasarımı. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 8(2), 5-11.
- Çetin, G. (2003). Üsküdar İlçesindeki Çocuk Oyun Alanlarının Yeterlilik ve Kalite Açısından İncelenmesi (Tez No. 143003) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Dascălu, D. M. (2011). Landscape Effects of Urban Furniture Textures. Bulletin UASVM Horticulture, 68(1), 324-331. Doi: 10.15835/buasvmcn-hort:6875
- Deniz, K. (2004). Konya'da farklı Üç Kentsel Mekânda Kent Kimliği Üzerine Bir Araştırma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

- Ender Altay, E., & Kayabaşı, N. M. (2020). Çocuk Gelişimi Açısından Çocuk Oyun Alanı Tasarım Yaklaşımı: Rotator Örneği. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 10(2), 108-115. DOI: 10.7456/11002100/004
- Ender Altay, E., & Şengül, S. (2023). Çocuk Oyun Alanlarında Biyomimikri Yaklaşımı. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Türkiye*, 11, 796-778.
- Erdoğan, R., Oktay, H. E. ve Yıldırım, C. (2011). Antalya-Konyaaltı Parklarında Kullanılan Donatı Elemanları Tasarımlarının Kullanıcı Görüşleri Doğrultusunda Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(1), 1-8.
- Ergin, B. (2019). Çocuk oyun alanlarında, doğa ve doğal materyalin oyun amaçlı kullanım değerinin saptanması (Tez No. 584316) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Es, M. (2009). Kent Kimliği, Kent Kültürü. *ET*, 21, 2009.
- Fanusçu, M. (1994). Çocuk oyun alanları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 44(1-2), 145-154. <https://doi.org/10.17099/jffiu.25086>
- Freuder, T. G. (2006). *Designing for the future: Promoting ecoliteracy in the design of children's outdoor play environments* [Doctoral dissertation, Virginia Tech].
- Güleç, E. (2006). Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Anadolu İnsanın Antropometrik Boyutları, Proje No: 20030901018
- Hacıhasanoğlu, I. (1991). *Kent Mobilyaları, Teknografik Matbaacılık*, İstanbul.
- Huizinga, J. (2006). *Homo ludens: Oyunun toplumsal işlevi üzerine bir deneme*. Ayrıntı Yayınları
- İlgar, E. (2008). Kent Kimliği ve Kentsel Değişimin Kent Kimliği Boyutu: Eskişehir Örneği. Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi (03.10.2025): <https://earsiv.anadolu.edu.tr/xmlui/handle/11421/6205?locale-attribute=tr>
- İslim Şarvan, G. (2019). Çocuk oyun alanlarında güvenlik üzerine bir araştırma (Tez No. 600415) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Kıpırtı, S. (2019). Çocuk oyun alanları tasarımlarının mekânsal kurgu açısından değerlendirilmesi: Maltepe- Kadıköy kıyı şeridi örneği (Tez No. 618590) [Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi].
- Kuşkun, P. ve Yılmaz, H. (2003). Erzurum Kent Bütününde Donatı Elemanlarının Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(4), 345-351.
- Kuşuloğlu, D. D. (2013). İstanbul Kadıköy İlçesindeki Çocuk Oyun Alanların Nitel ve Nicel Açısından Değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].

- Kuter N. ve Erdoğan E. (2009). Kentsel Donatı Elemanlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi. *Çankırı Araştırmaları Dergisi*, 243-256.
- Meşhur, H.F.A., & Tekin, M. (2018). Evrensel tasarım yaklaşımının şehir planlama disiplini bakış açısı ile değerlendirilmesi, *Online Journal of Art and Design*, 6(5), 94-111.
- Özkan, E. (2007). Öğrenmeyi Öğret Bana. Bilgem Ünlversal Eğitim Dizisi. Şelale Matbaa ve Cilt Sanayi.
- Öztürk, M. (2001). Çocuk oyunla gelişir. *Zoom Dergisi*, Sonbahar Sayısı, 28-31.
- Pehlivan, H. (2005). Oyun ve Öğrenme. Ankara: Anı Yayıncılık.
- Rojals, M. (2006). Great kids' spaces. Barcelona, Spain: Links International.
- Sakal AN, 2007. Ankara'da Kentsel Donatıların Peyzaj Planlama ve Tasarımı Açısından Analizi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 37 s, Ankara.
- Sorkun, G. (1996). İstanbul Anadolu Yakası Örnek Çocuk Oyun Alanlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi (Tez No. 57960) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Sungur, A., & Czaplinska, P. (2018). Designing playgrounds for all. *Megaron*, 13(3), 459-469. DOI: 10.5505/MEGARON.2018.14890
- Şengül, S., (2024), Çocuk Oyun Alanlarında Tasarım Ölçütlerinin Belirlenmesi Ve Yenilikçi Yaklaşımların Geliştirilmesi , Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi Bursa
- Tandoğan, O. (2011). İstanbul'da Çocuk Dostu Kent için Açık Alanların Planlama, Tasarım ve Yönetim İlkelerinin Oluşturulması (Tez No. 310696) [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Tandoğan, O. (2021). Kapsayıcı çocuk oyun alanları için tasarım ölçütleri. *Artium*, 9(1), 11-20. <https://doi.org/10.51664/artium.752558>
- Tekkaya, E. (2001). Tasarlanmış çocuk hakları. Ankara çocuk oyun alanları Milli Eğitim Dergisi, 151.
- Theemes T. (1999). Let's go outside, designing the early childhood playground. High/Scope Educational Research Foundation: High/Scope Press.
- Tian, Y., Jim, C.Y. & Wang, H. (2014). Assessing the landscape and ecological quality of urban green spaces in a compact city, *Landscape and Urban Planning*, 121 pp. 97-108.
- Turgay, Ş. (2023). Çocuk oyun alanlarının bitkisel tasarım açısından değerlendirilmesi: Bursa-Nilüfer örneği (Tez No. 842682) [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

- Türkan, E. E., & Önder, S. (2011). Balıkesir kenti çocuk oyun alanlarının irdelenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 8(3), 69-80.
- Türkan, E.E. (2009). Balıkesir Kenti Çocuk Oyun Alanlarının İrdelenmesi (Tez No. 266313) [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.]
- Uluğ, H. (2007). Kuzey Adana'daki Çocuk Oyun Alanlarının Bitki Seçim Yönünden İrdelenmesi (Tez No. 178446) [Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi].
- Ünal, Merve. (2009). Çocuk Gelişiminde Oyun Alanlarının Yeri ve Önemi. İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 8(2), 102-106.
- Üsküplü, E. M. (2022). Permakültür çocuk oyun alanları: Bursa kentinde değerlendirmeler (Tez No. 746700) [Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi].
- West, J. (2006). Child-Centred Play Therapy. London
- Yersiz, E. G. (2023). Çocuk Oyun Alanlarının Yeterliliği ve Tasarım İlkeleri Yönünden Değerlendirilmesi; İstanbul Gaziosmanpaşa Örneği (Tez No. 785710) [Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi].
- Yılmaz, S., & Bulut, Z. (2002). Kentsel Mekanlarda Çocuk Oyun Alanları Planlama ve Tasarım İlkeleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 33(3).

DEVELOPMENT OF COOLING SYSTEM'S IN-CABINET TEMPERATURE CONTROL AND LIGHTING SYSTEM WITH ARM-BASED STM32F103C8T6

Meral ÇELİK

Klimasan Air Conditioning Industry and Trade Inc., Manisa, Türkiye,
meral.celik@klimasan.com.tr - ORCID ID: 0009-0000-9508-5630

Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN

Islamic University, Electrical and Electronic Engineering, Kushtia 7003, Bangladesh
mrab_eee@iu.ac.bd - ORCID ID: 0000-0001-7335-4158

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

This study presents the development of a cooling system's in-cabinet temperature control and lighting system based on an ARM-based STM32F103C8T6 microcontroller unit (MCU). The system provides visual feedback to users by displaying color changes of cabinet-mounted light-emitting diodes (LEDs) according to in-cabinet temperature levels, while also monitoring usage patterns through temperature-dependent LED activity. Push-buttons enable manual observation of temperature variations and adjustment of LED colors, allowing both automated and user-directed control. The implementation utilizes an NTC (Negative Temperature Coefficient) temperature sensor for precise thermal measurements and RGB (Red–Green–Blue) LEDs for multicolor indication, combining automated temperature-based control with interactive user input. The system design ensures rapid response to temperature changes while maintaining low power consumption and compact form factor, demonstrating the advantages of ARM-based embedded platforms for real-time monitoring and visual feedback. Overall, the proposed solution provides a practical approach for integrating temperature monitoring and visual notification in cooling systems and establishes a foundation for future enhancements, including advanced data logging, remote monitoring, and Internet of Things (IoT) integration, potentially enabling smarter and more energy-efficient refrigeration solutions in both commercial and domestic applications.

Keywords: STM32, Blue Pill, NTC, RGB LED

1. INTRODUCTION

The rapid advancement of technology has continuously reshaped human needs and expectations, driving the demand for more efficient and intelligent solutions in a wide range of

applications [1]. In particular, refrigeration systems and environmental monitoring have become areas of significant interest, especially in the food and pharmaceutical industries where the storage of temperature-sensitive products is critical [2]. Modern refrigeration units play an essential role in preserving product quality, preventing spoilage, and ensuring consumer safety [3]. Accurate monitoring of in-cabinet temperature, along with the ability to provide real-time visual feedback, has emerged as a key factor in enhancing both operational efficiency and user experience [4].

Refrigeration systems equipped with interactive monitoring features can provide immediate and intuitive feedback to end users. By integrating light-emitting diodes (LEDs) with temperature sensors, visual cues can be generated that dynamically change color based on the measured temperature inside the cabinet [5]. This visual feedback allows users to quickly assess the condition of stored products, facilitating informed decisions regarding inventory management and sales tracking. In addition, such systems reduce the risk of temperature-related spoilage, improve operational transparency, and increase engagement with the refrigeration process [6]. The combination of automated visual notifications and user-directed controls provides a dual-layered interface, balancing system autonomy with manual flexibility.

In the context of these technological and industrial needs, the current study focuses on the development of a cooling system's in-cabinet temperature control and lighting system using an ARM-based STM32F103C8T6 microcontroller unit (MCU). The system integrates an NTC (Negative Temperature Coefficient) temperature sensor, utilizing the Steinhart-Hart equation for accurate temperature calculation, and controls RGB (Red-Green-Blue) LEDs to provide real-time visual feedback. A liquid crystal display (LCD) screen displays both temperature readings and LED color changes, enhancing monitoring and user awareness. Furthermore, push-buttons are incorporated to allow manual adjustment of LED colors, offering users direct interaction with the system and enabling personalized control.

In the literature, it is possible to come across studies on collecting data from refrigerator systems, making inferences by analyzing them, and performing controls using these data. A non-destructive temperature measurement system using thermal infrared and RGB sensors with real-time object detection and RGB-thermal fusion was developed and validated, demonstrating high accuracy for monitoring individual food products by Canatan et al. [7]. Another study focused on an artificial intelligence (AI)-enabled smart refrigeration management system using an Internet of Things (IoT) framework, which was developed and validated by Dong et al. [8]. Yang et al. [9] conducted a study evaluating low-cost smartphone-based infrared cameras for assessing the cooling and refrigerated storage temperatures of fresh produce. The study demonstrated that smartphone-based infrared (SBIR) cameras, particularly FLIR models, provide a practical, accurate, and cost-effective method for monitoring the cooling and storage temperatures of fresh produce during postharvest handling.

Overall, this work demonstrates a practical and interactive approach to in-cabinet temperature monitoring and visual notification in cooling systems. By combining automated temperature-based LED control with user-driven adjustments, the system provides an intuitive and efficient solution for product preservation and operational management. This design not only addresses current challenges in refrigeration monitoring but also establishes a foundation for future smart

the STM32 microcontroller was established via the Inter-Integrated Circuit (I²C) protocol, providing reliable and efficient data transmission for real-time visualization.

NTC thermistors are resistive temperature sensors characterized by a decrease in resistance as the measured temperature increases, thus exhibiting an inverse relationship between resistance and thermal variation. They are commonly employed within an operational range of approximately -55°C to $+200^{\circ}\text{C}$ and can achieve a measurement resolution of up to 0.1°C .

In the thermistor industry, various methods have been developed to convert resistance values obtained from an NTC thermistor into corresponding temperature measurements. In this study, the Steinhart–Hart equation was employed to calculate temperature values based on resistance. This equation was originally formulated as a simple yet precise method for modeling thermistor temperatures with improved accuracy. Specifically, the Steinhart–Hart equation enables a more accurate estimation of a thermistor’s true resistance as a function of temperature. Moreover, the narrower the considered temperature range, the higher the accuracy of the resistance-to-temperature conversion. The Steinhart–Hart equation is expressed as follows:

$$T = \frac{1}{A + B \ln(R) + C [\ln(R)]^3} \quad (1)$$

In the Steinhart–Hart model, T denotes the absolute temperature expressed in Kelvin (K), which can be obtained by adding 273.15 to the corresponding Celsius value. R represents the resistance of the thermistor (Ω) at temperature T , while A , B , and C are thermistor-specific coefficients provided by the manufacturer. In this study, a $10 \text{ k}\Omega$ NTC sensor was utilized. Based on the measured temperature values from the sensor, the color of the LED indicators was automatically adjusted according to predefined temperature thresholds. Specifically, when the temperature exceeded 18°C , the LED illuminated in red; when the temperature was within the range of 7°C to 18°C , the LED displayed green; and when the temperature dropped below 7°C , the LED illuminated in blue.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The project provided user interaction and temperature management. The internal temperature of the cabinet was continuously measured using an NTC sensor. The data obtained from the sensor was transmitted to the STM32 microcontroller, where they were processed. Based on the measured temperature values, the microcontroller controlled the LEDs: the blue LED was activated when the temperature was below 7°C , the green LED was illuminated when the temperature was between 7°C and 18°C , and the red LED was activated when the temperature exceeded 18°C . Furthermore, the microcontroller displayed both the temperature values and the operating status of the LEDs on the LCD screen, enabling the user to monitor temperature information as well as the LED conditions. Figure 7 illustrated the overall operation of the system.

Additionally, if the end user preferred to control the cabinet lighting manually rather than depending on the temperature, the LED colors could be controlled by pressing the designated buttons. Each button was programmed to correspond to a specific color.

Temperature changes inside the refrigerator were successfully digitized using a temperature sensor using the STM32F103 MCU. Furthermore, the use of the STM32F103 MCU allowed

RGB LEDs to be easily controlled in any light color using PWM outputs. Both temperature data collection and RGB LED light control allow for long-term preservation of products within the refrigerator. The deterioration of some products also depends on the lighting color [10]. Of course, temperature plays a key role in the deterioration of products within the refrigerator [11]. Digitizing other data within the refrigerator, such as humidity and pressure, will facilitate analysis of this data [12]. This will enable AI algorithms to create more user-friendly products.

4. CONCLUSIONS

In this study, RGB LED control was implemented based on in-cabinet temperature, providing visual feedback to the end user. The temperature value was continuously displayed on an LCD screen, while manual control was enabled through push buttons. The system dynamically adjusted LED colors according to temperature variations, ensuring that the visual output reflected real-time conditions. The accuracy of the system was verified through successful detection of the defined temperature ranges, proper illumination of the LEDs with the expected colors, and reliable user interaction via push buttons. Additionally, the LED activation durations were consistently measured and presented on the LCD in alignment with temperature changes. Based on these results, the system was validated as a functional and effective solution for automatic temperature monitoring and user-oriented visual feedback. Future work may involve enhancing the system with wireless communication modules for remote monitoring, integrating data logging functions for long-term performance evaluation, and extending the design toward IoT-based smart refrigeration applications to further improve usability and scalability.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank Klimasan Air Conditioning Industry and Trade Inc. for carrying out the work.

REFERENCES

- [1]. Kužnar, D., Piltaver, R., Gradišek, A., Gams, M., & Luštrek, M. (2017). An intelligent system to monitor refrigeration devices. *Expert Systems*, 34(5), e12199.
- [2]. Pérez-Gomariz, M., López-Gómez, A., & Cerdán-Cartagena, F. (2023). Artificial neural networks as artificial intelligence technique for energy saving in refrigeration systems—A review. *Clean Technologies*, 5(1), 116-136.
- [3]. Kennedy, J., Jackson, V., Blair, I. S., McDowell, D. A., Cowan, C., & Bolton, D. J. (2005). Food safety knowledge of consumers and the microbiological and temperature status of their refrigerators. *Journal of food protection*, 68(7), 1421-1430.
- [4]. Buzelin, L. O. S., Amico, S. C., Vargas, J. V. C., & Parise, J. A. R. (2005). Experimental development of an intelligent refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 28(2), 165-175.
- [5]. Mansouri, R., Bourouis, M., & Bellagi, A. (2017). Experimental investigations and modelling of a small capacity diffusion-absorption refrigerator in dynamic mode. *Applied Thermal Engineering*, 113, 653-662.
- [6]. Ghazimirsaeid, S. S., Jonban, M. S., Mudiyansele, M. W., Marzband, M., Martinez, J. L. R., & Abusorrah, A. (2023). Multi-agent-based energy management of multiple grid-connected green buildings. *Journal of Building Engineering*, 74, 106866.

- [7]. Canatan, M., Munoz-Carpena, R., & Boz, Z. (2025). Continuous surface temperature monitoring of refrigerated fresh produce through visible and thermal infrared sensor fusion. *Postharvest Biology and Technology*, 222, 113354.
- [8]. Dong, Z., Abdulghani, A. M., Imran, M. A., & Abbasi, Q. H. (2020, April). Artificial intelligence enabled smart refrigeration management system using internet of things framework. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Computing, Networks and Internet of Things* (pp. 65-70).
- [9]. Yang, B., Dev Kumar, G., & Mis Solval, K. (2022). Evaluation of low-cost smartphone-based infrared cameras to assess the cooling and refrigerated storage temperatures of fresh produce. *Foods*, 11(21), 3440.
- [10]. Bekbölet, M. (1990). Light effects on food. *Journal of Food Protection*, 53(5), 430-440.
- [11]. Otterbring, T., Löfgren, M., & Lestelius, M. (2014). Let there be light! An initial exploratory study of whether lighting influences consumer evaluations of packaged food products. *Journal of Sensory Studies*, 29(4), 294-300.
- [12]. Hoffmann, T. G., Meinert, C., Ormelez, F., Campani, M., Bertoli, S. L., Ender, L., & de Souza, C. K. (2023). Fresh food shelf-life improvement by humidity regulation in domestic refrigeration. *Procedia Computer Science*, 217, 826-834.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF STM32-BASED BLUETOOTH-ENABLED INTELLIGENT TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

Meral ÇELİK

Klimasan Air Conditioning Industry and Trade Inc., Manisa, Türkiye,
meral.celik@klimasan.com.tr - ORCID ID: 0009-0000-9508-5630

Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN

Islamic University, Electrical and Electronic Engineering, Kushtia 7003, Bangladesh
mrab_eee@iu.ac.bd - ORCID ID: 0000-0001-7335-4158

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

In this study, an intelligent temperature monitoring system was designed to measure ambient temperature, transmit the data wirelessly to a mobile device, and alert the user when predefined threshold values are exceeded. The system was developed using the STM32F103 microcontroller, which collects temperature data via an NTC sensor and transmits it through an HC-05 Bluetooth module to the mobile device. This allows users to remotely monitor the temperature of their environment and maintain control based on the system's alerts. With its low cost, portability, and ease of implementation, the system offers a practical solution for various applications such as home automation, greenhouse monitoring, and laboratory environments.

Keywords: STM32, temperature monitoring, Bluetooth, embedded system, NTC sensor, wireless communication

1. INTRODUCTION

Today, temperature monitoring and control systems play a critical role in various fields such as home automation, greenhouse applications, industrial production, and laboratory environments [1]. In these types of environments, accurately, reliably, and instantly tracking temperature values are important both for energy efficiency and safety [2]. The demand for low-cost, portable, and wireless-accessible systems is increasing every day.

The advancement of microcontroller technologies and wireless communication modules has made embedded systems more functional [3]. STM32 series microcontrollers are widely preferred in such projects due to their low power consumption, high processing capability, and

easy integration with peripheral components. Bluetooth technology, on the other hand, is a commonly used, accessible, and flexible solution for short-range wireless communication [4].

The main goal of this project is to provide a more efficient, intelligent, and reliable system for environments where temperature control is required. The system developed using an STM32 microcontroller, measures temperature data in real-time via an NTC (Negative Temperature Coefficient) sensor and transmits the collected data to mobile devices via the HC-05 Bluetooth module. In this way, users can remotely monitor the ambient temperature and are notified when the temperature exceeds defined threshold values [5].

In this context, the project aims to address the lack of user interaction, remote access, and flexibility observed in current temperature control systems. It especially seeks to eliminate the need for manual control and offers users intelligent automation experience [6]. There are numerous studies in the literature focused on temperature monitoring systems [7]. These systems commonly use digital sensors such as DHT11 or DS18B20, where temperature data is directly read in digital form by microcontrollers and transmitted wirelessly [8]. In a study conducted by Dayıoğlu, the design, prototype development and implementation of a Bluetooth-based wireless measurement system for greenhouses were carried out. In another study, a portable temperature measurement system was designed using an STM32F103ZET6 microcontroller, DS18B20 temperature sensor, HC-05 Bluetooth module, and an LCD screen. The collected data could be viewed via a mobile application. However, the sensor used in that study was digital [10]. In the work conducted by Albayrak et al. temperature data was collected using a PIC16F877A microcontroller and a DS18B20 sensor and then transmitted to a web server via an internet connection. Although the system could be monitored via Android devices, the wireless communication was internet-based rather than Bluetooth [11].

Unlike the above-mentioned studies, this project uses an analog NTC thermistor to collect temperature data through ADC (Analog-to-Digital Conversion) and transmits it directly to mobile devices via a Bluetooth module. In this respect, the system offers a low-cost and hardware-simplified solution while also providing practical experience in ADC and UART communication for users working with embedded systems.

2. MATERIAL AND METHODS

At the core of the developed smart temperature monitoring system is the STM32F103C8T6 microcontroller. This microcontroller serves as the main processing unit, responsible for collecting, processing, and transmitting temperature data via the Bluetooth module. The STM32F103 is based on the ARM Cortex-M3 core and offers high processing power along with a wide range of GPIO pin options. These features enable efficient handling of the sensor data used in the project [12].

Bluetooth technology is used to establish communication with the user interface. The HC-05 module, which supports Bluetooth 2.0, is employed for this purpose. Operating in the 2.4 GHz frequency band, the HC-05 supports communication speeds of up to 460800 baud. In this application, a standard baud rate of 9600 is used (HC-05, 2010). The HC-05 module, shown in Figure 1, is a widely used serial port protocol module that is simple to integrate. In this project,

the data collected from the sensor is transmitted to a mobile device via the Bluetooth module is given in Figure 1.

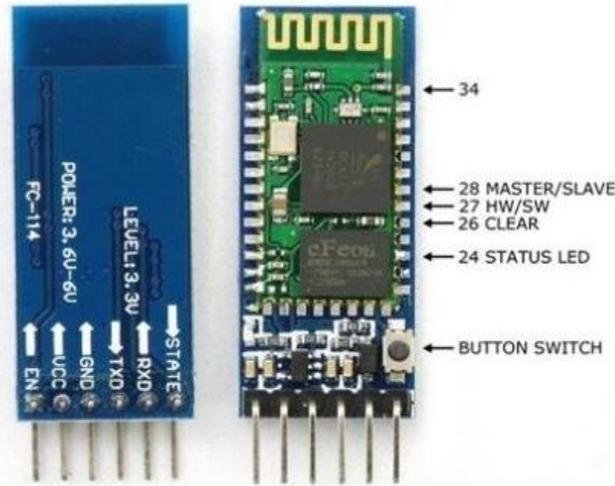


Figure 1. Bluetooth module

To measure ambient temperature, an NTC thermistor is used in the system. The NTC is a type of temperature sensor whose resistance decreases as the temperature increases. It can typically operate within a temperature range of $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ and offers a sensitivity of approximately $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. The NTC sensor produces an analog signal proportional to the temperature. This analog voltage is then converted into a digital value using the microcontroller's ADC (Analog-to-Digital Converter) module. Based on this digital reading, the corresponding temperature value is calculated through software. The materials used are given in Table 1.

Table 1. The materials used in the system

| Materials | Type | Purpose |
|--------------------|-----------------------|--|
| Microcontroller | STM32F103C8T6 | Central processing unit of the embedded system |
| Temperature | Sensor NTC Thermistor | Provides analog temperature measurement |
| Bluetooth Module | HC-05 | Enables wireless data transmission |
| Breadboard & Wires | - | Used for prototyping and component connections |

The software development process was carried out using the STM32CubeIDE development environment and the C programming language on the STM32F103C8T6 microcontroller. The system was designed to read analog temperature data from the NTC sensor, convert it into digital format, process the data, and then transmit it to a mobile device via the HC-05 Bluetooth module. During the development phase, key configurations were made for the STM32 microcontroller, including system clock settings, GPIO pin configurations, ADC module setup, and UART communication settings. The ADC input pin connected to the NTC sensor (e.g., PA0) was configured as an analog input, while the UART pins used for communication with the Bluetooth module (e.g., PA9 for TX and PA10 for RX) were set in alternate function mode with suitable speed and output type. The ADC module was configured to operate in 12-bit

resolution and single-channel mode, converting the analog voltage from the NTC sensor into a digital value. The sampling time was optimized based on the sensor's characteristics and system requirements. ADC conversions were triggered either by software or periodically via a timer-based mechanism. For Bluetooth communication, the UART module was configured to operate at 9600 baud rate, with 8 data bits, 1 stop bit, and no parity. The UART RX and TX pins were mapped to the corresponding GPIOs, and data transmission and reception were managed using interrupt-based handling for reliable communication.

The hardware connections of the system have been carefully made to ensure healthy and reliable communication between components. The NTC thermistor, which measures the ambient temperature, is connected to the ADC input pin (e.g., PA0) of the STM32 microcontroller. This setup allows the microcontroller to read the analog voltage signal from the sensor and convert it into digital data. For wireless data transmission, the TX pin of the HC-05 Bluetooth module is connected to the UART receiver pin (PA10) of the STM32, while the RX pin is connected to the UART transmitter pin (PA9) of the microcontroller. Since the RX pin of the HC-05 operates at a lower voltage level than the STM32's TX pin, it is necessary to use an appropriate voltage divider circuit to reduce the signal voltage coming from the STM32. Power connections are shared across all components, with the GND and VCC lines connected together to ensure stable power supply to the system. Additionally, to enhance user experience, optional output components such as LEDs or buzzers can be added to the system design. These output devices are controlled by the microcontroller and provide visual or auditory alerts when certain temperature thresholds are exceeded, enabling more effective system use. The hardware connection of the system is given Figure 2.

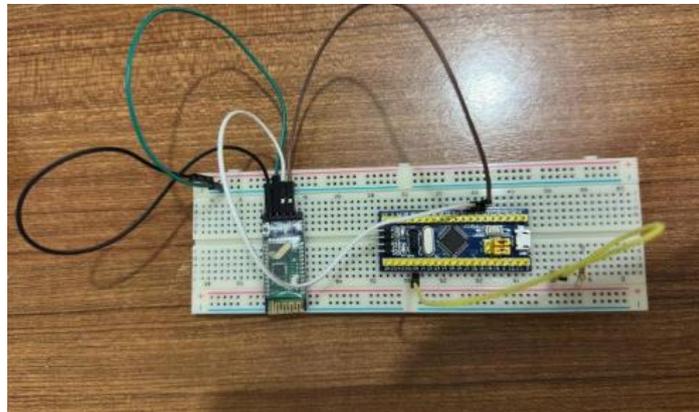


Figure 2. The system setup

Communication with the mobile device is established between the STM32F103 microcontroller and the HC-05 Bluetooth module using the UART protocol. This protocol enables reliable and low-latency data transfer between the microcontroller and the Bluetooth module. In this project, data communication between the STM32 microcontroller and the mobile device is facilitated through the HC-05 Bluetooth module. On the mobile device, an Android application called “Serial Bluetooth Terminal” is used to display the temperature data sent via UART protocol in ASCII format in real-time. The communication settings are configured as 9600 baud rate, 8 data bits, no parity, and 1 stop bit. After establishing the Bluetooth connection, the user can monitor the temperature values transmitted by the STM32 on the app screen, allowing wireless

and convenient tracking of the ambient temperature. Additionally, the system is prepared for future development of two-way communication by receiving and processing commands from the mobile device using UART interrupt handling.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Comprehensive experimental tests were conducted to evaluate the accuracy and functionality of the developed system. The hardware components used in the project - the STM32F103C8T6 microcontroller, NTC temperature sensor, HC-05 Bluetooth module, and connection cables - were properly assembled on a breadboard. The NTC sensor was connected to the STM32's ADC input pin to collect temperature data, while the HC-05 module was connected to the microcontroller's UART pins to enable wireless communication via Bluetooth. After completing the hardware connections, the software developed in the STM32CubeIDE environment was uploaded to the microcontroller. The ADC module was configured for temperature measurements, and data transmission to the Bluetooth module was carried out through the UART module. As a result, the system successfully transmitted real-time temperature data to the mobile device. During testing, different temperature values were measured, and the accuracy of the data displayed on the mobile device was verified by comparing it with reference devices. For example, the temperature of the NTC thermistor was manually increased to test the measurement sensitivity of the system. The experiments showed that the system provides high accuracy and reliability in temperature measurements, and the Bluetooth connection ensured uninterrupted and stable data transfer. The tests also included monitoring temperature changes, analyzing data transmission times, and examining connection dropouts. When necessary, software debugging and optimization were performed to ensure stable and reliable operation of the system.

4. CONCLUSIONS

In this study, a temperature monitoring system based on the STM32F103C8T6 microcontroller was successfully designed, hardware integration was completed, and the software development process was finalized. Data measured by the NTC temperature sensor was wirelessly transmitted to a mobile device via the HC-05 Bluetooth module, confirming the system's capability for real-time data transfer. Test results demonstrated high accuracy in temperature measurement and stable, reliable performance in data transmission. The system's low cost and portable design make it suitable for various application areas such as home automation, agricultural technologies, greenhouse monitoring systems, and laboratory environments. Additionally, its modular architecture allows easy replacement of sensors and communication modules, providing flexibility and expandability. This project contributed to reinforcing fundamental embedded systems knowledge and was successfully completed as a prototype with advanced development potential. Future work aims to enhance the system with Wi-Fi support, integration of graphical user interface mobile applications, and cloud-based data logging to create a smarter, more scalable, and user-friendly solution.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank Klimasan Air Conditioning Industry and Trade Inc. for carrying out the work.

A GOVERNANCE MODEL FOR TRUSTWORTHY AI IN GEOTHERMAL ENERGY: A THEORETICAL FRAMEWORK FOR MODEL CONTEXT PROTOCOLS (MCP's)

Dr. Orkun TEKE

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, orkun.teke@cbu.edu.tr- 0000-0003-4390-263X

ÖZET

The increasing integration of Artificial Intelligence (AI) and Large Language Models (LLMs) promises to revolutionize geothermal energy operations yet deploying general-purpose AI in this safety-critical and geologically complex domain introduces significant risks, particularly related to model inaccuracies and "hallucinations." This paper establishes a novel Theoretical Framework for Model Context Protocols (MCPs) designed to ensure reliable, safe, and compliant AI use specifically in geothermal engineering. The framework operates across three interdependent layers: a Thermodynamic and Geologic Constraint Layer that strictly enforces adherence to physical laws and validated reservoir parameters; an Operational and Ethical Protocol Layer which implements Critical Action Lockouts to prevent autonomous execution of high-risk procedures and ensures compliance with strict safety and regulatory mandates; and an Interaction and Feedback Mechanism Layer that incorporates a structured expert validation loop, allowing the protocol's constraints to adapt dynamically to real-world operational changes. This three-layered MCP model provides the essential foundation for transforming AI into a reliable, context-aware decision-support system necessary for responsible innovation within the high-stakes environment of the geothermal energy sector.

Anahtar Kelimeler: geothermal energy, model context protocols, artificial intelligence, artificial intelligence, large language models

1. INTRODUCTION

1.1. The Rising Importance of Geothermal Energy and Technological Transformation

Given the urgency of the global energy transition and the goals of mitigating climate change, geothermal energy plays a critical role as a reliable, baseload-friendly, and low-carbon resource. Sustainably extracting and converting thermal energy from underground involves operational complexity and high uncertainty [1]. These challenges have accelerated the integration of advanced technologies such as Artificial Intelligence (AI) and Large Language Models (LLMs), particularly in reservoir modeling, drilling route optimization, production forecasting, and plant efficiency management. AI promises significant productivity gains in the geothermal sector with its ability to process large geological datasets, detect anomalies, and provide optimized decisions [2].

1.2. Critical Challenges Created by Artificial Intelligence in Geothermal

While the potential of AI and LLMs is significant, adapting these systems to high-risk and specialized engineering environments like geothermal presents significant challenges. The greatest risk is the tendency of general-purpose AI models to produce outputs devoid of context, commonly referred to as "hallucination." In geothermal, an incorrect output can:

- *Operational Risk:* Compromise safety with pressure or flow recommendations that violate thermodynamic laws.
- *Financial Risk:* Lead to costly wrong drilling decisions or plant damage.
- *Environmental Risk:* Violate regulatory compliance with incorrect injection or waste management recommendations.

This situation highlights the need for a new management paradigm that tightly constrains model outputs to physical, engineering, and legal constraints so that AI and LLMs can be used reliably, ethically, and safely in geothermal operations.

1.3. Introduction of Model Context Protocols (MCPs) and Theoretical Need

In response to this need, this paper proposes the concept of Model Context Protocols (MCPs). MCPs are the set of structural rules, algorithmic constraints, and interaction mechanisms that mandate the operation of AI/LLMs within an industrial context (in this case, geothermal energy). The primary goal of an MCP is to ensure that the output is always accurate, secure, and compliant, while preserving the AI's creativity and data processing power.

While existing literature addresses AI model security and ethical principles at a general level, there is no theoretical MCP framework that holistically addresses the unique physical and operational constraints of a specific engineering discipline, such as geothermal. This gap is one of the major obstacles to the responsible deployment of AI in critical energy sectors [3].

1.4. Purpose and Structure of the Paper

The primary goal of this paper is to establish a workable, multi-layered MCP theoretical framework for safe and responsible AI applications in geothermal energy operations.

The remainder of the paper is structured as follows: Review part examines the existing literature on AI security in geothermal and the limitations of traditional security measures. Next part presents the proposed three-layer MCP model in detail and explains the theoretical foundations of each layer (Thermodynamic Constraint, Operational Protocol, and Feedback Mechanism). Discussion part includes the potential benefits and challenges of this framework in specific applications such as geothermal reservoir engineering, drilling optimization, and facility monitoring. Conclusion part summarizes the study's main findings and provides a roadmap for the future of AI governance in geothermal.

2. LITERATURE REVIEW

Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) techniques have made significant progress in the geothermal sector. Current AI literature focuses on three main areas. Firstly, Reservoir Modeling and Exploration. This includes predicting high-temperature anomalies or fracture systems by processing seismic, geochemical, and well log data with ML algorithms [4][5][6][7]. Secondly, Drilling Optimization. Optimizing drilling parameters (ROP - Penetration Rate, torque, weight) and predicting well stability using real-time data [8][9][10][11]. Last area is Plant Performance and Forecasting. Operating power plants at optimum capacity by predicting production temperature and flow rate [12][13][14][15].

In the general AI literature, the issues of model safety and explainability have become central in recent years. The Concept of AI Safety encompasses efforts to prevent unpredictable behavior in large models, limit undesirable outcomes, and ensure compliance with ethical principles [16][17]. Contextual Learning emphasizes that a model should make decisions based not only on input but also on the environmental, ethical, and legal framework within which the model operates. However, these concepts have generally focused on general ethical scenarios and have rarely been applied to the harsh thermodynamic and rock mechanics constraints of geothermal systems [18][19]. Grounding techniques are used to reduce the risk of "hallucination," particularly in Large Language Models (LLMs). Validation requires linking the model's output to external, reliable sources of information (e.g., engineering handbooks, validated field databases). However, this technique alone may be insufficient to manage complex operational risks (e.g., linking a set of reliable data to an incorrect thermodynamic conclusion) [20][21].

The analyses above demonstrate that traditional AI safety approaches and engineering measures are inadequate given the geothermal sector's unique thermodynamic sensitivity, high capital costs, and the need to comply with environmental regulations. A Model Context Protocol (MCP) should serve as a new theoretical interface that firmly anchors the AI's "verbal" recommendations or "outputs" within the physical, ethical, and legal context of geothermal operations. This requires redefining the AI's output generation process within the geothermal context, rather than simply controlling the outputs. These theoretical imperative forms the basis of the multilayered MCP framework presented in Section 3.

3. THEORETICAL FRAMEWORK

The proposed Model Context Protocol (MCP) theoretical framework consists of three dependent layers designed to ensure that the outputs of Artificial Intelligence (AI) and Large Language Models (LLMs) comply with the demanding and critical requirements of geothermal operations. These layers evaluate and constrain the model output in the contexts of accuracy, safety & compliance, and adaptation, respectively.

The first layer of this framework is about accuracy. Thermodynamic and Geological Context Constraints, this layer is the primary scientific filter that ensures that every recommendation or

analysis produced by the model is consistent with physical and engineering reality. Its purpose is to prevent the AI from making scientifically impossible or unfounded recommendations. Thermodynamic and geologic& mechanic constraints is crucial for this phase. P-T Phase Diagram Requirement, The model's recommendations regarding the temperature and pressure (P-T) conditions of the fluid (water or secondary fluid) must lie within the valid regions of the current phase diagram. For example, if it is scientifically impossible for the fluid to vaporize at a reservoir depth and pressure, the model's recommendation should be rejected. Energy and Mass Conservation Check: A system change suggested by the model (e.g., increasing the injection rate) must not violate the laws of conservation of energy and mass. Consistency of the recommended heat transfer rates with the fluid's enthalpy changes is mandatory. Chemical Equilibrium Limitations: Fluid chemistry recommendations (e.g., changing the SiO₂ concentration) must not excessively increase the risk of scaling by compromising known mineral-water equilibrium conditions (e.g., quartz saturation) under current thermal conditions. Drilling optimization or hydraulic fracturing (stimulation) proposals should not exceed the known rock strength and fracture pressure limits of the existing formation. This prevents proposals that pose seismic risks or the potential for well collapse. The model should not be able to predict flow rates or pressure changes that exceed the existing pump capacity and pipeline hydraulic limits of the plant or well.

The second layer of this framework is about safety and compliance. This layer is the governance and compliance filter that ensures that the model's recommendations do not violate field safety procedures, corporate ethics, and legal obligations. All recommendations made by the model that directly alter the operation of a plant or well (e.g., valve position, pump speed, chemical dosage) are automatically marked with a CAL status. No recommendation in this status can be executed without electronic approval from the relevant field engineer or operator. If the model determines that any recommendation falls within 5% of the safety limits based on its calculations, a High-Risk Alert (HRA) is automatically generated along with the recommendation. This ensures increased vigilance for human decision-makers. It also includes a Regulatory Compliance Filter (RCF) for Environmental Limits. When performing an analysis of geothermal wastewater discharge or CO₂ emissions, the model uses an RCF that prevents it from recommending any actions that exceed site-specific environmental limits (local and international regulatory databases). Data Privacy and Security: Any processing and publication of information containing trade secrets or personal data (e.g., well logs, employee data) by the model is filtered by corporate privacy protocols and international data protection laws (e.g., relevant aspects of the GDPR).

The third layer of this framework is about learning and adaptation. This layer prevents the MCP from remaining static and allows it to continuously adapt by learning from real-world operations. This establishes a dynamic loop between human expertise and AI. The most important phenomenon of this section is the Structured Expert Feedback Loop. The MCP's constraint sets are versioned like software. When a facility's operational status changes (a new well is drilled, a major equipment replacement), the MCP version is upgraded, and all relevant stakeholders are notified of these changes. This ensures the model always operates within the current operational context. Framework shown in Figure 1.

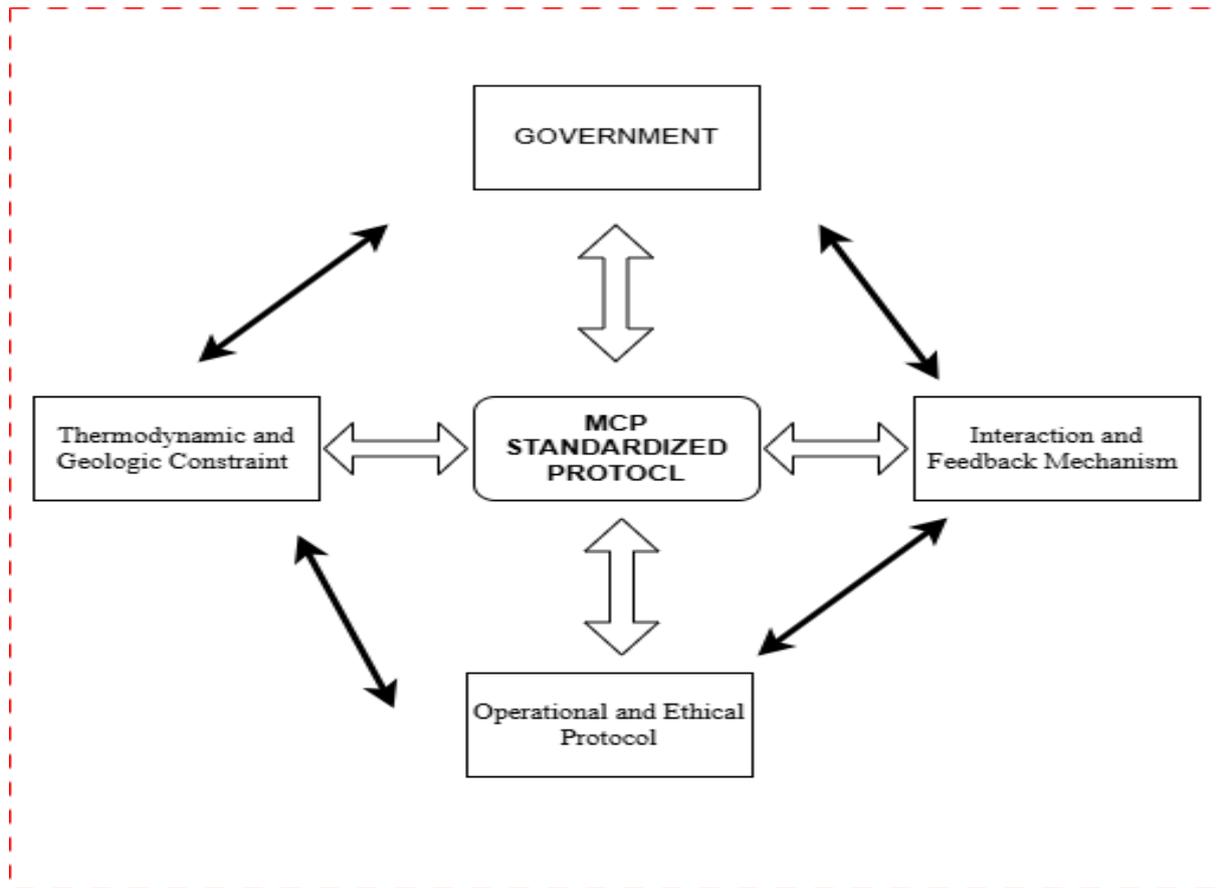


Figure 1. Framework

4. DISCUSSION AND POTENTIAL APPLICATIONS

The proposed three-layer Model Context Protocol (MCP) framework has a transformative impact on the geothermal sector by elevating the use of AI from a mere efficiency tool to a fundamental element of operational reliability. By tying AI decision outputs to critical physical and legal boundaries, this framework aims to overcome the biggest obstacle to the development of fully or semi-autonomous systems in geothermal power plants: trust and security.

The AI's recommendations for changing the injection rate or temperature are filtered by Layer 1's Thermodynamic Constraints (e.g., saturation index, crusting potential) and Geological Constraints (e.g., formation fracture pressure). This maximizes reservoir pressure while minimizing the risk of seismic activity and well blockage. The MCP's Layer 3 Expert Feedback Loop (EFL) rapidly integrates field engineers' experience into the AI model, enabling the model to continuously learn about the reservoir's unique and time-varying characteristics.

The AI's drilling parameter recommendations (e.g., Rate of Penetration (ROP) are constantly monitored by Layer 1's Rock Mechanics Limits. This reduces rock strength overload and the risk of wellbore collapse. The AI's recommendations for changing drilling fluid (drilling mud) density are passed through Layer 2's Critical Action Locking (CAL) mechanism, preventing critical safety settings from being changed without human supervision.

5. CONCLUSIONS

This study presents a comprehensive theoretical framework, the Model Context Protocol (MCP), for the responsible and secure integration of Artificial Intelligence (AI) and Large Language Models (LLMs) in the complex, high-risk, and physically constrained nature of geothermal energy systems. In this area, where traditional AI security methods and hardware locks are inadequate, the proposed three-layer model directly targets AI's decision-making mechanism. This framework preserves physical reality by requiring AI outputs to comply with fundamental scientific laws such as thermodynamics, fluid mechanics, and rock mechanics, while simultaneously safeguarding operational safety and legal/ethical boundaries through the Critical Action Locking (CAL) mechanism and the Regulatory Compliance Filter (RCF). Finally, the Expert Feedback Loop (EFL) rapidly integrates engineering experience into the AI learning process, ensuring the protocol remains dynamic, site-specific, and constantly updated. In this way, the MCP framework provides the theoretical foundation necessary to transform AI from a mere predictive tool in geothermal into a reliable, context-sensitive, and accountable decision support system.

This proposed Model Context Protocol addresses the issue of insecurity, a major obstacle to the adoption of AI technologies in the geothermal sector. By systematically reducing the risk of costly or dangerous operational errors, this model serves as a critical interface enabling the development of fully or semi-autonomous AI systems in geothermal operations. The key takeaway is that the key to unlocking AI's potential lies in our ability to control its potential errors within physical and legal limits. This framework enhances reliability in geothermal reservoir engineering and production optimization, while ensuring the careful use of AI in risky areas such as drilling and well safety.

In conclusion, this theoretical framework provides a solid roadmap for future empirical and experimental research. Further work should focus on formal validation of the protocol, its implementation in digital twins of existing geothermal facilities or pilot projects, and the quantitative measurement of the EFL's impact on human-model trust. Furthermore, establishing a governance model for integrating this MCP concept into international geothermal energy standards (ISO or API) is crucial. This framework represents the beginning of a new paradigm for AI governance in the renewable energy sector, as Model Context Protocols (MCPs) are essential for maximizing the potential of AI in critical infrastructures while ensuring operational security and environmental compliance.

KAYNAKÇA

- [1] Kushnir, A.R.L., Loewer, M. From exploration to operation: research developments in deep geothermal energy. *Geothermal Energy* **8**, 15 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40517-020-00169-6>.
- [2] Zhu, Y. (2024). Leveraging Machine Learning for Subsurface Geothermal Energy Development. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 121, 440-449. <https://doi.org/10.54097/j8tjym72>
- [3] Park, C. (2025). Addressing Challenges for the Effective Adoption of Artificial Intelligence in the Energy Sector. *Sustainability*, 17(13), 5764. <https://doi.org/10.3390/su17135764>
- [4] Perozzi, L., Guglielmetti, L., & Moscariello, A. (2019). Geothermal Reservoir Characterization Using Seismic and Machine Learning-A Case Study from the Geneva Basin.
- [5] AlGaiar, Mahmoud. M. "Unlocking Geothermal Potential: Advancing Exploration with Artificial Intelligence for Sustainable Energy Solutions." Paper presented at the ADIPEC, Abu Dhabi, UAE, November 2024. doi: <https://doi.org/10.2118/222269-MS>
- [6] Lund JW, Toth AN. Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*. 2021, 90: 101915. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101915>
- [7] Ahmmed, B., & Vesselinov, V. V. (2021). Prospectivity analyses of the Utah FORGE site using unsupervised machine learning. *Geothermal Rising*, San Diego, CA.
- [8] Yi, P., Kumar, A., and Samuel, R. (October 21, 2014). "Realtime Rate of Penetration Optimization Using the Shuffled Frog Leaping Algorithm." ASME. J. Energy Resour. Technol. May 2015; 137(3): 032902. <https://doi.org/10.1115/1.4028696>
- [9] Giftson Joy, John Abish, and Robello Samuel. "Fast Drilling Optimizer for Drilling Automation." Paper presented at the SPE Western Regional Meeting, Virtual, April 2021. doi: <https://doi.org/10.2118/200881-MS>
- [10] Sui, D., Nybø, R., & Azizi, V. (2013). Real-time optimization of rate of penetration during drilling operation. *2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*, 357-362.
- [11] Khalid Hazem Hassan and Hassan A. H. Abdul Hussien 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 579 012003
- [12] Bizzarri, F., Bongiorno, M., Brambilla, A.M., Gruosso, G., & Gajani, G.S. (2013). Model of Photovoltaic Power Plants for Performance Analysis and Production Forecast. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 4, 278-285.
- [13] Ariturk, M.S. (2019). Optimizing the Production and Injection Wells Flow Rates in Geothermal Field Using Artificial Intelligence.
- [14] Wathnani, A.F., & Boti, A.A. (2022). Power Consumption Forecast Tool Based on Machine Learning Model Utilizing Plant Capacity Production. Day 3 Wed, November 02, 2022.
- [15] Prokhorskii, G., Rudra, S., Preißinger, M., & Eder, E. (2024). A data-driven regression model for predicting thermal plant performance under load fluctuations. *Carbon Neutrality*.

- [16] Wang, H., Li, Y., Wang, Y., Liu, P., & Li, P. (2024). Navigating the Risks: A Review of Safety Issues in Large Language Models. *2024 IEEE 24th International Conference on Software Quality, Reliability, and Security Companion (QRS-C)*, 74-83.
- [17] Salhab, W., Ameyed, D., Jaafar, F., & Mcheick, H. (2024). A Systematic Literature Review on AI Safety: Identifying Trends, Challenges, and Future Directions. *IEEE Access*, 12, 131762-131784.
- [18] Buster, G., Siratovich, P., Taverna, N., Rossol, M., Weers, J., Blair, A., Huggins, J., Siega, C., Mannington, W., Urgel, A., Cen, J., Quinao, J., Watt, R., & Akerley, J. (2021). A New Modeling Framework for Geothermal Operational Optimization with Machine Learning (GOOML). *Energies*, 14(20), 6852. <https://doi.org/10.3390/en14206852>
- [19] Yan, B., Xu, Z., Gudala, M., Tariq, Z., & Finkbeiner, T. (2023). Reservoir Modeling and Optimization Based on Deep Learning with Application to Enhanced Geothermal Systems. *Day 2 Wed, January 25, 2023*.
- [20] Gupta, S. (2025). Retrieval-Augmented Generation and Hallucination in Large Language Models: A Scholarly Overview. *Scholars Journal of Engineering and Technology*.
- [21] Abdelghafour, M.A., Mabrouk, M., & Taha, Z. (2024). Hallucination Mitigation Techniques in Large Language Models. *International Journal of Intelligent Computing and Information Sciences*.

YOLO-BASED ASSEMBLY LINE MONITORING: REAL-TIME OBJECT DETECTION FOR TASK TRACKING AND PROCESS ANALYSIS

Ali Can DONBALOĞLU

Bursa Teknik Üniversitesi, donbalogluali28@gmail.com - 0009-0001-4761-2771

Feka Otomotiv Mamulleri Sanayi Ve Ticaret A.Ş.

Dr. Öğr. Üyesi, İsmail Enes PARLAK

Bursa Teknik Üniversitesi, enes.parlak@btu.edu.tr – 0000-0002-0694-9220

ÖZET

Endüstri 4.0 paradigması doğrultusunda, manuel montaj hatlarındaki süreçlerin otomatik takibi için YOLO tabanlı nesne tespiti, TSPD (Task Start Point Detection) ve TETE (Temporal Event Tracking Engine) algoritmalarını bütünleştiren yenilikçi bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, montaj görevlerinin başlangıç-bitiş zamanlarını, görevler arası geçişleri ve operasyon sırasının doğruluğunu gerçek zamanlı olarak analiz ederek süreç optimizasyonu, kalite güvencesi ve hata tespiti için etkin bir çözüm sunmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda, farklı YOLO modelleri karşılaştırılmış; en yüksek doğruluğa 0.911 mAP@0.5 ile YOLOv11m modeli ulaşırken, 2.59 milyon parametre ve 0.5 ms çıkarım süresi gibi özellikleriyle YOLOv11n modelinin gerçek zamanlı uygulamalar için en ideal hız/performans dengesini sunduğu tespit edilmiştir. Çalışma, sınıf dengesizliği ve büyük modellerin yüksek hesaplama maliyeti gibi sınırlılıklara rağmen, önerilen sistemin montaj hatlarında verimliliği artırmak ve hataları en aza indirmek için uygulanabilir ve güvenilir bir metodoloji olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Endüstri 4.0, Görev Takibi, Montaj Hattı İzleme, Nesne Tespiti, Süreç Analizi, YOLO

ABSTRACT

In the context of Industry 4.0, this study introduces a novel system for the automated monitoring of manual assembly lines by integrating YOLO-based object detection with Task Start Point Detection (TSPD) and Temporal Event Tracking Engine (TETE) algorithms. The system is designed to analyze task start/end points, transitions, and sequence compliance in real-time, offering an effective solution for process optimization, quality assurance, and error detection. Experimental evaluations compared various YOLO models, revealing that while the YOLOv11m model achieved the highest accuracy (mAP@0.5 = 0.911), the YOLOv11n model provides the optimal balance of speed and performance for real-time applications, featuring only 2.59M parameters and an inference time of 0.5 ms. Despite limitations such as class imbalance and the high computational cost of larger models, this work demonstrates that the proposed system is a viable and reliable methodology for increasing efficiency and minimizing errors in assembly line operations.

Keywords: Assembly Line Monitoring, Deep Learning, Industry 4.0, Object Detection, Process Analysis, Task Tracking, YOLO

1. INTRODUCTION

In today's world, where global industrial production is rapidly digitalizing and the Industry 4.0 paradigm is becoming widespread, supporting manual assembly processes with smart monitoring systems has become a critical requirement. In modern production facilities, real-time monitoring of workers' actions is of great importance for quality assurance, error detection, and process optimization (Yan et al., 2022). In this context, the control of operator actions in traditional assembly processes largely relies on manual methods, which leads to both time loss and a risk of errors (Lim et al., 2024). Particularly in complex assembly processes, common issues such as incorrect screwing, loose connections, and wrong torque negatively affect production quality and lead to customer dissatisfaction (Lim et al., 2024). Considering that 2.3 million occupational accidents and 0.3 million deaths occur annually worldwide, the development of artificial intelligence-based solutions for the automatic detection of unsafe behaviors is of vital importance (Önal et al., 2024).

At this point, computer vision technologies and deep learning methods offer promising solutions for the automated monitoring of assembly processes (Zamora-Hernandez et al., 2021). Among these, the YOLO (You Only Look Once) algorithm is particularly preferred in industrial applications for its superior real-time object detection performance (Chen et al., 2020; Zhou et al., 2024; et al., 2022). Developed by Redmon et al. (2016), YOLO treats object detection as an end-to-end regression problem within a single neural network, unlike traditional region-proposal methods. Its unified architecture, which divides an image into a grid to predict bounding boxes and class probabilities simultaneously, enables high-speed performance (45 FPS for YOLO, 155 FPS for Fast YOLO) while effectively reducing background errors. This combination of high accuracy, fast processing time, and the ability to recognize objects of different sizes makes it an ideal solution for tasks like vehicle detection, hand movement tracking, and action classification on assembly lines (Shaochen et al., 2024; Zhou et al., 2024).

In their study, Ay and Emel (2025) developed a real-time assembly task validation system to increase operator efficiency and product quality in manual assembly processes. The study highlighted the critical role of hand-object interactions during assembly and therefore analyzed the hand joint movements of operators. In the proposed hybrid approach, the starting points of assembly tasks were identified using YOLOv8 object detection, and then 3D hand joint data obtained through MediaPipe-based skeleton extraction were processed by an LSTM-based classifier to recognize assembly tasks. In tests conducted with a dataset collected from a real production environment, the system achieved an accuracy of 85.23% and was successful in detecting task sequence violations or missing steps.

Assembly action monitoring systems provide significant benefits not only in terms of process control but also for worker training, safety auditing, and productivity enhancement (Tao et al., 2020; Wang et al., 2021). Furthermore, these systems make it possible to track standard operating procedures, reduce error rates, and identify opportunities for process improvement (Li et al., 2025; Wang et al., 2022). Existing methods often lack real-time monitoring capabilities and do not easily adapt to different assembly environments. Moreover, common

fundamental problems in assembly processes include the execution of incorrect or incomplete assembly steps (Lehman et al., 2024), assembly operations exceeding standard prescribed times (Machado et al., 2019), variations in efficiency and quality among operators (Johnson, 1981), and procedural sequence errors or skipped steps (Schoonbeek et al., 2023). Such problems not only have negative effects on product quality but also cause productivity losses and increased costs on the production line. Therefore, the development of systems capable of real-time monitoring and error detection in assembly processes stands out as a critical necessity for the sustainability and competitiveness of modern production lines (Zhang et al., 2022; Jones et al., 2020).

In this study, a method has been developed for the automatic monitoring and analysis of tasks in the assembly process. The method uses an object recognition-based tracking algorithm on video recordings to detect each step of the process, identify transitions between tasks, and check for compliance with a predefined sequence. This allows for the automatic evaluation of whether the workflow on the production line is proceeding in the correct order and within the specified times, while recording potential sequence violations and waiting times to provide objective data on process performance. This approach aims to increase efficiency and make process tracking more reliable by reducing the need for human supervision.

Studies on assembly action monitoring and YOLO algorithm applications have been examined by grouping them according to different technical approaches and application areas ; significant works in the literature have been systematically evaluated under four main categories: (1) Skeleton-Based Action Recognition Approaches, (2) YOLO-Based Assembly Monitoring Approaches, (3) Human-Object Interaction and Human-Robot Collaboration, and (4) Multi-Modal Data and Open Datasets.

1.1. Skeleton-Based Action Recognition Approaches

Jalal et al. (2017) proposed an HMM-based model by extracting multiple features from skeleton joints obtained with depth cameras. The study provided high accuracy even with different body sizes or fast movements. Al-Amin et al. (2023) developed personalized CNN classifiers for assembly actions. With the Skeletal Feature Images (SFI) approach, different joint features were extracted, and subsequently, a 94% accuracy rate was achieved by combining the classifiers using a fusion technique. Li et al. (2025) focused on associating assembly actions with standard work measurements and recognized basic assembly actions by combining Temporal Action Detection with Transformer (TadTR) and MS-G3D networks. The system, tested on LEGO assembly, stood out for its high accuracy and low deviation.

1.2. YOLO-Based Assembly Monitoring Approaches

Chen et al. (2020) classified repetitive assembly actions by combining vehicle detection using YOLOv3 with skeleton point extraction using a Convolutional Pose Machine (CPM). They achieved 92.8% accuracy and 82.1% success in time estimation. Yan et al. (2022) developed a hybrid system based on YOLOv3 and VGG16 to recognize assembly actions and perform time

analysis. The system achieved an accuracy of over 96%. Lou et al. (2022) used the YOLOv4-tiny model to perform object detection and part counting in manual operations. The system demonstrated its usability in practical applications by operating at 94.2 mAP and 35 FPS. Zhou et al. (2024) conducted assembly procedure inspections using an improved YOLOv9 architecture. A 93.9 mAP value was achieved in hand gesture and object detection. Önal et al. (2024), in their system named Unsafe-Net, combined YOLOv4 and ConvLSTM to recognize unsafe behaviors in workplaces, achieving 95.8% accuracy.

1.3. Human-Object Interaction and Human-Robot Collaboration

Zamora-Hernandez et al. (2021), in their visual control assistant (VCA2) system, combined YOLO-based object detection and LSTM-based action recognition modules and achieved over 90% accuracy. The proposed system stood out as a quality assurance mechanism aimed at reducing faulty assembly and delays in production. Wang et al. (2024) performed both action recognition and progress estimation with a system based on YOLOv5 and MediaPipe, reaching a 99% accuracy rate. In the study, similar objects such as pliers and screwdrivers were successfully distinguished using YOLOv5. Wang et al. (2022) used YOLOv3 for object detection in a system tested on a GPU assembly line and performed motion recognition on an assembly line involving human-robot collaboration with decision tree-based classifiers. Thanks to its multi-camera structure, the system provided a 99.9% accuracy rate.

1.4. Multi-Modal Data and Open Datasets

Matin et al. (2024) integrated RGB, RGB-A, and depth data using ConvLSTM-AssNet and C3D-AssNet architectures and achieved a 98.8% accuracy rate. The attention mechanisms used in the study strengthened the focus on informative features. Cicirelli et al. (2022) introduced the HA4M dataset, presenting 12 different assembly actions obtained from 41 subjects in a multi-modal format. This dataset, which includes RGB, depth, IR, point cloud, and skeleton data, stands out as one of the most comprehensive assembly datasets in the literature and is used for comparative analysis in many studies.

2. METHODOLOGY AND APPLICATION

The system, developed for the automated monitoring of assembly processes, is built on the integrated use of computer vision and deep learning methods. The study's methodology is based on the YOLO algorithm, a deep learning-based architecture for object detection, the analysis of temporal changes derived from these detections, and the verification of the process sequence.

2.1. YOLO-Based Object Detection

The YOLO algorithm, used for object detection, differs from traditional two-stage approaches by being able to predict both class labels and the location information of objects in a single forward pass. The algorithm divides the input image into a fixed-size grid and predicts bounding box parameters along with multiple class probabilities for each cell. This structure combines classification and regression tasks within the same network, thereby increasing processing speed and providing the low latency required for real-time applications. It has been frequently reported in the literature that YOLO offers high accuracy and speed advantages in dynamic and multi-object environments such as assembly line processes (Chen et al., 2020; Zhou et al., 2024; Yan and Wang, 2022). Furthermore, the real-time performance of single-pass architectures is one of the primary reasons for their preference in applications like human-robot collaboration and production line supervision (Zamora-Hernandez et al., 2021).

2.2. Task Start Point Detection (TSPD) Algorithm

The TSPD algorithm is an innovative approach that detects actual task transitions by analyzing object changes and motion patterns in a video stream. The algorithm automatically identifies task changes in assembly processes by fundamentally combining YOLO-based object detection with temporal analysis. Unlike traditional manual monitoring methods, this approach contributes to enhancing process quality by providing objective and consistent measurements (Chen et al., 2020).

The operating principle of the algorithm is based on identifying task transitions through the temporal analysis of object detection results from each video frame. The TSPD algorithm performs state tracking using six core variables: `yolo_current` (the object detected in the current frame), `yolo_previous` (the object detected in the previous frame), `n` (task counter), `s` (start frame number), `expected_task_idx` (expected task index), and `current_task_name` (the currently active task). Through the interaction of these variables, the algorithm can precisely determine the start, transition, and end of tasks.

2.3. Temporal Event Tracking Engine (TETE)

TETE, acting as the temporal analysis component of the TSPD algorithm, calculates task durations and transition characteristics by analyzing frame sequences during task transitions. This module performs fundamental functions such as calculating the number of frames from the start to the end of a task, storing and analyzing the frames during the task, and extracting temporal statistics. The working principle of TETE adopts an approach similar to the joint classification-regression RNN model proposed by Li et al. (2016), estimating task transitions by processing temporal information.

3. RESULTS AND EVALUATION

In this section, the data processing procedures, hardware architecture, training settings, and the comparative experimental results obtained for the deep learning model developed for the assembly line monitoring system are presented and discussed in detail.

3.1. Experimental Setup and Data Processing Methods

The training and validation of deep learning models are processes that require high computational performance. In this context, all experiments were conducted on an NVIDIA A100-SXM4-40GB (40507MiB VRAM) Graphics Processing Unit (GPU). This hardware maximized the efficiency of the experimental cycles by enabling the 100-epoch training processes to be completed in short periods.

The assembly line monitoring system uses the Task Start Point Detection (TSPD) algorithm to detect task transitions, and this algorithm is based on the real-time object detection outputs of the YOLO (You Only Look Once) model. During the live inference stage, a confidence threshold of 0.7 was set by the TSPD class to ensure the reliability of detecting an object that triggers or terminates the assembly process.

The dataset used in this study was created from images obtained from assembly line videos. The data was labeled on the Roboflow platform and then split into training and validation sets (training: 1503 images, validation: 341 images). To improve the data quality and the model's generalization ability, comprehensive preprocessing and data augmentation techniques were applied to the dataset:

- *Preprocessing*: An Auto-Orient operation was applied to the images, and all images were stretched to a fixed input size of 640x640 pixels.
- *Augmentation*: To increase the model's robustness to varying lighting and orientation conditions, various transformations were applied to generate three different outputs per training example. These transformations included 90° clockwise and counter-clockwise rotation, random rotation in the range of $\pm 13^\circ$, changes in saturation and brightness in the range of $\pm 25\%$, blur up to 1.6 pixels, and the addition of noise up to 1.93%. These augmentation strategies aimed to reduce overfitting and make the model robust against the variable conditions of the production environment.
- *Training settings*: In this study, the model training process was carried out for 100 epochs with a batch size of 32 and an input size of 640×640 pixels. For optimization, the AdamW algorithm, automatically selected by Ultralytics¹, was chosen, and the initial learning rate was set to approximately 0.000833. The Automatic Mixed Precision (AMP) feature was enabled during training, which both reduced memory usage and improved processing speed. Additionally, data augmentation methods based on Mosaic, Copy-Paste, and RandAugment were applied to enable the model to produce more stable results in different scenarios. These settings contributed to optimizing the training time while also strengthening the model's generalization capability.

¹ <https://github.com/ultralytics>

3.2. General Detection Performance and Comparative Results

Table 1 summarizes the parameter counts, computational loads (GFLOPs), and performance metrics on the validation set for models of different sizes (n, s, m) from the YOLOv11² and YOLOv12³ series.

Tablo 1. YOLO modellerinin genel performans karşılaştırması

| Model | Parameter (M) | GFLOPs | Precision | Recall | mAP@0.5 | mAP@0.5:0.95 |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------------|
| YOLO11n | 2.59 | 6.4 | 0.899 | 0.871 | 0.902 | 0.747 |
| YOLO11s | 9.42 | 21.3 | 0.856 | 0.879 | 0.904 | 0.761 |
| YOLO11m | 20.06 | 68.2 | 0.863 | 0.884 | 0.911 | 0.776 |
| YOLO12n | 2.52 | 6.0 | 0.803 | 0.795 | 0.813 | 0.622 |
| YOLO12s | 9.10 | 19.6 | 0.901 | 0.784 | 0.863 | 0.688 |
| YOLO12m | 19.62 | 60.1 | 0.858 | 0.849 | 0.882 | 0.720 |

As seen in Table 1, the highest accuracy was achieved with the YOLO11m model (mAP@0.5 = 0.911). However, this model is the most costly in terms of parameter count and FLOPs. In contrast, YOLO11n provides a suitable speed/performance balance for real-time systems by offering high accuracy (mAP@0.5 = 0.902) despite its very low parameter count (2.59M). The YOLOv12 series generally yielded lower results, with the small model (12n) in particular having a low mAP value. Table 2 shows the average inference times of the models in addition to their accuracy metrics. These measurements were taken on an A100 GPU.

Table 2. Speed-performance comparison of the models

| Model | Inference (ms) | FPS (approx.) | Highlighted Feature |
|---------|----------------|---------------|---|
| YOLO11n | 0.5 | ~2000 | Very fast, lightweight model, high accuracy |
| YOLO11s | 0.9 | ~1100 | Balanced speed/accuracy |
| YOLO11m | 1.8 | ~550 | Highest accuracy |
| YOLO12n | 0.6 | ~1650 | Lightweight but low accuracy |
| YOLO12s | 1.1 | ~900 | Medium accuracy, medium speed |
| YOLO12m | 2.6 | ~385 | Slower, accuracy lower than 11m |

The YOLO11n model can be easily used in real-time applications with an inference time of just 0.5 ms. While the YOLO11m model offers the highest accuracy, its inference time is longer. Although the YOLO12 series models are satisfactory in terms of speed, their accuracy values lag behind the 11 series.

² <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

³ <https://docs.ultralytics.com/tr/models/yolo12/>

3.4 Discussion

The YOLOv11 series models offered more balanced and higher accuracy values compared to the YOLOv12 series. The 11n model, in particular, increases applicability in portable devices or real-time assembly line monitoring systems by providing high accuracy with a low computational cost.

Among the strengths of the proposed system, the high accuracy values obtained in most classes are particularly noteworthy in critical assembly steps such as screwing, fixture, and PCB. Furthermore, the high performance exhibited even when using lightweight models (e.g., YOLO11n) allows the system to be effectively implemented in hardware-constrained environments. In addition, a structure suitable for real-time operation is provided thanks to low inference times.

However, the system also has some limitations. Firstly, due to the existing class imbalance in the dataset, relatively low mAP values were observed for some assembly actions. Moreover, the use of larger-scale models (e.g., YOLO11m, YOLO12m), while providing an increase in accuracy, leads to high computational costs. Finally, the fact that the training was conducted under uniform data conditions is considered a factor that could limit the system's generalization capacity for different scenarios.

For better performance, data augmentation for classes with few samples, balancing methods, and model distillation can be applied. Additionally, the model's robustness should be increased by conducting further tests under different lighting and environmental conditions.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

In this study, an innovative system was developed for the automated monitoring and evaluation of assembly line processes by integrating YOLO-based object detection with the Task Start Point Detection (TSPD) and Temporal Event Tracking Engine (TETE) algorithms. The proposed approach accurately identifies the start and end points of tasks and also verifies whether these tasks are performed in a predefined sequence. Furthermore, the system enables the objective measurement of process efficiency by reporting waiting times between tasks and sequence violations.

Experimental findings have shown that the YOLOv11 series models offer more balanced results, particularly in terms of accuracy and speed. While the highest accuracy was achieved with the YOLO11m model (mAP@0.5 = 0.911), the YOLO11n model was identified as a more suitable option for real-time applications due to its low parameter count and high-speed advantage. Although the YOLOv12 series models showed satisfactory performance in some scenarios, they lagged behind the YOLOv11 series in terms of overall accuracy.

The strengths of the study include low inference times suitable for real-time operation, high accuracy rates, and stable performance in most classes. On the other hand, low mAP values were obtained in some classes due to class imbalance, and it was also observed that the computational load of large models is high. This situation highlights the need for improvement

strategies such as creating more balanced datasets, applying targeted data augmentation methods for classes with few samples, and model distillation.

In conclusion, the developed system offers significant contributions to assembly line monitoring processes in terms of both quality assurance and process optimization. The integration of real-time object detection with task tracking has presented a viable solution for reducing error rates, increasing efficiency, and ensuring safety on production lines. Future work will focus on increasing the model's generalization capability with larger and more diverse datasets, verifying its practical applicability through field tests on different assembly lines, and adapting it to scenarios involving human-robot collaboration.

REFERENCES

- Al-Amin, M., Qin, R., Moniruzzaman, M., Yin, Z., Tao, W., & Leu, M. C. (2023). An individualized system of skeletal data-based CNN classifiers for action recognition in manufacturing assembly. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(2), 633-649.
- Ay, Ö., & Emel, E. (2025). Real-Time Assembly Task Validation Using Deep Learning-Based Object Detection and Operator's Hand-Joints Trajectory Classification. *IEEE Access*, 13, 57009-57029.
- Chen, C., Wang, T., Li, D., & Hong, J. (2020). Repetitive assembly action recognition based on object detection and pose estimation. *Journal of Manufacturing Systems*, 55, 325-333.
- Cicirelli, G., Marani, R., Romeo, L., Domínguez, M. G., Heras, J., Perri, A. G., & D'Orazio, T. (2022). The HA4M dataset: Multi-Modal Monitoring of an assembly task for Human Action recognition in Manufacturing. *Scientific Data*, 9(1), 745.
- Jalal, A., Kim, Y. H., Kim, Y. J., Kamal, S., & Kim, D. (2017). Robust human activity recognition from depth video using spatiotemporal multi-fused features. *Pattern Recognition*, 61, 295-308.
- Johnson, S. L. (1981, October). Inter-Operator Variability Effects on Quality and Productivity. In *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting (Vol. 25, No. 1, pp. 551-551)*. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Lehman, D., Schoonbeek, T. J., Hung, S. H., Kustra, J., de With, P. H., & Sommen, F. V. D. (2024, September). Find the Assembly Mistakes: Error Segmentation for Industrial Applications. In *European Conference on Computer Vision (pp. 211-227)*. Cham: Springer Nature Switzerland.
- Li, N., Zhang, D., Li, Y., & Zhang, Q. (2025). Repetitive assembly basic action detection and standard work measurement based on deep learning. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 38(5), 696-714.
- Li, Y., Lan, C., Xing, J., Zeng, W., Yuan, C., & Liu, J. (2016, September). Online human action detection using joint classification-regression recurrent neural networks. In *European Conference on Computer Vision (pp. 203-220)*. Cham: Springer International Publishing.

- Lim, B., Jeong, S., & Yoo, Y. (2024). A Methodology for Estimating the Assembly Position of the Process Based on YOLO and Regression of Operator Hand Position and Time Information. *Applied Sciences*, 14(9), 3611.
- Liu, Y., Wang, S., Yuan, M., Du, J., Zhang, L., & Wang, L. (2025). Fusing human action recognition and object detection for human-robot collaborative assembly. *International Journal of Modeling, Simulation & Scientific Computing*, 16(3).
- Lou, P., Li, J., Zeng, Y., Chen, B., & Zhang, X. (2022). Real-time monitoring for manual operations with machine vision in smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 709-719.
- Matin, A., Islam, M. R., Wang, X., & Huo, H. (2024). Robust Multimodal Approach for Assembly Action Recognition. *Procedia Computer Science*, 246, 4916-4925.
- Önal, O., & Dandıl, E. (2024). Unsafe-Net: YOLO v4 and ConvLSTM based computer vision system for real-time detection of unsafe behaviours in workplace. *Multimedia Tools and Applications*, 1-27.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 779-788).
- Schoonbeek, T. J., Houben, T., Onvlee, H., & Van der Sommen, F. (2024). Industreal: A dataset for procedure step recognition handling execution errors in egocentric videos in an industrial-like setting. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision* (pp. 4365-4374).
- Selvaraj, V., Al-Amin, M., Yu, X., Tao, W., & Min, S. (2024). Real-time action localization of manual assembly operations using deep learning and augmented inference state machines. *Journal of Manufacturing Systems*, 72, 504-518.
- Shaochen, L., Liu, Z., Huang, Y., Liu, D., Duan, G., & Tan, J. (2024). A novel multi-stream hand-object interaction network for assembly action recognition. *Robotic Intelligence and Automation*, 44(6), 854-870.
- Tao, W., Al-Amin, M., Chen, H., Leu, M. C., Yin, Z., & Qin, R. (2020). Real-time assembly operation recognition with fog computing and transfer learning for human-centered intelligent manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 48, 926-931.
- Wang, K. J., Rizqi, D. A., & Nguyen, H. P. (2021). Skill transfer support model based on deep learning. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(4), 1129-1146.
- Wang, K. J., & Santoso, D. (2022). A smart operator advice model by deep learning for motion recognition in human-robot coexisting assembly line. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(1), 865-884.
- Wang, Z., & Yan, J. (2024). Deep learning based assembly process action recognition and progress prediction facing human-centric intelligent manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 196, 110527.

Yan, J., & Wang, Z. (2022). YOLO V3+ VGG16-based automatic operations monitoring and analysis in a manufacturing workshop under Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 63, 134-142.

Zamora-Hernandez, M. A., Castro-Vargas, J. A., Azorin-Lopez, J., & Garcia-Rodriguez, J. (2021). Deep learning-based visual control assistant for assembly in industry 4.0. *Computers in Industry*, 131, 103485.

Zhang, Y., Ding, K., Hui, J., Lv, J., Zhou, X., & Zheng, P. (2022). Human-object integrated assembly intention recognition for context-aware human-robot collaborative assembly. *Advanced Engineering Informatics*, 54, 101792.

Zhang, Z., Peng, G., Wang, W., & Chen, Y. (2022). Real-Time Human Fault Detection in Assembly Tasks, Based on Human Action Prediction Using a Spatio-Temporal Learning Model. *Sustainability*, 14(15), 9027.

Zhou, S., Wang, X., Liu, Z., Jiang, Y., & Huang, L. (2024). Research on Worker Assembly Procedure Inspection Based on Improved YOLO and Hand Trajectory.

SUPPLY CHAIN TRACEABILITY IN INDUSTRY 4.0: TECHNOLOGIES, APPLICATIONS, AND A CASE STUDY OF THE FEKA TRACEABILITY SYSTEM

Ali Can DONBALOĞLU

Bursa Teknik Üniversitesi, donbalogluali28@gmail.com - 0009-0001-4761-2771

Feka Otomotiv Mamulleri Sanayi Ve Ticaret A.Ş.

Dr. Öğr. Üyesi, İsmail Enes PARLAK

Bursa Teknik Üniversitesi, enes.parlak@btu.edu.tr – 0000-0002-0694-9220

ÖZET

Endüstri 4.0'ın getirdiği dijital dönüşümle birlikte tedarik zincirlerinde şeffaflık ve verimlilik kritik önem kazanmıştır. Bu çalışma, modern tedarik zinciri yönetiminde dijital izlenebilirlik sistemlerinin rolünü incelemektedir. Literatür taraması bölümünde, blockchain, Nesnelerin İnterneti (IoT), RFID ve QR kod gibi temel teknolojiler sektörel uygulamalarla birlikte analiz edilmiştir. Çalışmanın vaka analizi bölümünde ise Python ve PyQt5 kullanılarak geliştirilen FEKA İzlenebilirlik Sistemi sunulmaktadır. Bu sistemin, bir ürünün üretimden sevkiyata kadar olan tüm yaşam döngüsünü nasıl dijital olarak takip ederek operasyonel verimliliğe katkı sağladığı gösterilmektedir. Çalışma, dijital izlenebilirlik sistemlerinin tedarik zincirlerinde şeffaflığı ve veri güvenilirliğini artırma potansiyelini vurgularken, bu teknolojilerin uygulanmasındaki pratik zorluklara da dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Blockchain, Endüstri 4.0, İzlenebilirlik, Nesnelerin İnterneti (IoT), Otomotiv Sektörü, Tedarik Zinciri Yönetimi

ABSTRACT

In the context of Industry 4.0, achieving transparency and efficiency in supply chains has become critical. This study examines the role of digital traceability systems in modern supply chain management. The literature review analyzes key technologies such as blockchain, the Internet of Things (IoT), RFID, and QR codes, along with their sectoral applications. The case study section presents the FEKA Traceability System, developed using Python and PyQt5. It demonstrates how this system digitally tracks a product's entire lifecycle, from production to shipment, contributing to operational efficiency. The study highlights the potential of digital traceability systems to enhance transparency and data reliability in supply chains, while also addressing the practical challenges associated with their implementation.

Keywords: Automotive Industry, Blockchain, Industry 4.0, Internet of Things (IoT), Supply Chain Management, Traceability

1. INTRODUCTION

In today's industrial environment, where global trade has become increasingly complex and consumer demands are rapidly evolving, transparent, reliable, and efficient management of supply chains has emerged as a critical success factor. Particularly with the digitalization vision introduced by Industry 4.0, digital traceability systems that record the journey of products from origin to the consumer have become the cornerstone of this process. By utilizing technologies such as barcodes, QR codes, RFID, and the Internet of Things (IoT), these systems transfer the product lifecycle into a digital environment, providing critical data for quality management, recall processes, and operational efficiency (Schuitemaker & Xu, 2020; Argilovski et al., 2021).

Among these technologies, blockchain has gained significant attention in recent years. With its decentralized structure, immutable records, and transaction security, blockchain offers new opportunities for supply chain management (Kshetri, 2018). Research shows that integrating blockchain with traceability systems can enhance both data security and operational efficiency. Its potential applications range from tracking part flows in the automotive industry (Ada et al., 2021) to improving product safety in the food industry (Tian, 2016).

This paper comprehensively examines the effects of digital traceability systems on supply chains in the context of Industry 4.0. First, the concept of traceability and the core technologies in this field are reviewed through recent literature. Then, as a practical application of these principles, the FEKA Traceability System, developed for an industrial production process, is presented as a case study. The study aims to evaluate the advantages, limitations, and future prospects of these technologies from a holistic perspective.

2. TRACEABILITY SYSTEM

Traceability refers to a set of systems that ensure all stages and relevant information in a product's lifecycle are reliably recorded and accessible when needed. In modern manufacturing and supply chain practices, traceability systems play a critical role not only for quality and safety but also for efficiency and regulatory compliance (Argilovski et al., 2021). These systems enable the monitoring of product details, from production dates to components and from logistics movements to end-users, thereby enhancing transparency throughout the supply chain (Schuitemaker & Xu, 2020).

2.1 Types of Traceability

Traceability is typically considered in two categories: internal and external. Internal traceability refers to the monitoring of a product's movements within a single facility or organization, while external traceability covers its tracking across multiple businesses or stakeholders (Argilovski et al., 2021). Furthermore, based on the direction within the supply chain, forward and backward traceability approaches are used to trace a product's future positions in the distribution network or the sources of raw materials and components (Aich et al., 2019).

2.2 Levels of Traceability

Traceability systems can be implemented at different levels of detail. For example, the IPC-1782 standard in the electronics sector defines four traceability levels: basic, standard, advanced, and comprehensive. Similarly, the GS1 standard determines product-based traceability levels according to identification accuracy and logistics hierarchy (Schuitemaker & Xu, 2020). The appropriate level is chosen based on industry needs, product risk category, and regulatory requirements.

2.3 Technologies Used

The operation of traceability systems relies on data collection and identification technologies, including:

- **Barcodes and QR Codes:** Common methods for assigning unique identifiers to products, integrated into digital databases via optical scanners. QR codes offer higher data capacity in a small space (Schuitemaker & Xu, 2020).
- **Data Matrix and Direct Part Marking (DPM):** DPM creates permanent identifiers on products using laser or chemical methods, particularly useful for small or harsh-condition components (Argilovski et al., 2021).
- **RFID and NFC:** Provide contactless, real-time monitoring. RFID is suitable for large-scale logistics, while NFC is used in short-range, secure applications (Tian, 2016).
- **IoT Integration:** IoT devices collect environmental data (temperature, humidity, location, impact) and transfer them to central systems or blockchain networks, enabling real-time, reliable monitoring (Aich et al., 2019).

3. LITERATURE REVIEW

This section examines fundamental academic studies addressing traceability systems and blockchain technology applications in the field of supply chain management.

3.1. The Role of Blockchain in the Supply Chain and Conceptual Frameworks

Güneşli et al. (2020) presented a conceptual evaluation of how blockchain technology can be applied in automotive supply chains. Their study emphasized that the decentralized ledger structure enhances transparency, while smart contracts provide security and speed by automating transactions. The elimination of intermediaries through blockchain, thereby reducing costs, was highlighted as a significant advantage in terms of part tracking and supplier auditing in the automotive sector. Similarly, Kshetri (2018) theoretically analyzed the contributions of blockchain to key supply chain management objectives such as cost, quality, speed, and reliability. In particular, he discussed blockchain's potential in reducing fraud in food supply chains and its role in crisis management, exemplified through the E. coli outbreak at Chipotle restaurants.

3.2. Technical and Standard Dimensions of Traceability Systems

Schuitemaker and Xu (2020) examined product traceability within the context of digital

transformation and proposed a conceptual framework. Their study comparatively addressed the position of traceability in ISO standards, the classifications of internal and external traceability, and the technologies applied (e.g., barcode, RFID, data matrix). Argilovski et al. (2021), on the other hand, focused on the more technical aspects of traceability and proposed a comprehensive model centered on the traceable resource unit (TRU), directional traceability, and data structures. This study provided detailed explanations particularly regarding physical applications such as direct part marking (DPM) and micro-level data tracking.

3.3. Sectoral Applications and Case Studies

In the literature, various case studies demonstrate the integration of these technologies. For instance, Tian (2016) developed an RFID- and blockchain-based traceability system to address safety issues in China's agri-food sector. By combining the real-time data collection capacity of RFID with the transparent and immutable data structure of blockchain, the system enabled secure tracking of product movements. Yusuf et al. (2019) addressed data corruption and delay problems in order processing within a vegetable supply chain by implementing a multi-channel blockchain network using Hyperledger Fabric.

In the automotive sector, Ada et al. (2021) proposed a blockchain architecture based on Hyperledger Fabric to enhance traceability and improve inventory quality. Similarly, Aich et al. (2019) examined the role of IoT-integrated blockchain systems in addressing traditional supply chain challenges—such as low visibility, lack of trust, and high costs—through examples from the automotive, pharmaceutical, food, and retail industries.

3.4. Performance, Limitations and Advanced Models

Casado-Vara et al. (2018) proposed a supply chain model adopting the principles of a circular economy by integrating blockchain and multi-agent systems. This hybrid model demonstrated how it can address the centralized data issues inherent in traditional supply chain structures. On the other hand, Sund et al. (2020) developed a blockchain-based prototype for IKEA's supply chain processes and evaluated the effects of the system on transaction load and latency. This study is significant as it highlights certain technical limitations, such as performance and scalability, in large-scale implementations.

A detailed comparative summary of the objectives, methodologies, contributions to the literature, and outcomes of these studies is presented in Table 1.

4. APPLICATION: FEKA TRACEABILITY SYSTEM CASE STUDY

As a practical implementation of the digital traceability principles examined in the literature, this section presents the FEKA Traceability System as a case study developed for an industrial production environment. The purpose of this application is to demonstrate how fundamental traceability requirements can be effectively addressed through modern software tools by employing a centralized database architecture.

Table 1. Comparative Analysis of Fundamental Studies in the Literature

| Source | Method | Contribution to the Literature | Results | Recommendations |
|---------------------------|--|---|---|--|
| Güneşli et al. (2020) | Literature review and conceptual analysis | Analysis of blockchain integration into the automotive supply chain | Decentralization and transparency were reported to improve processes | Sector-specific blockchain adaptations should be developed |
| Schuitemaker & Xu (2020) | Literature review | Explanation of the relationship between traceability and digital transformation | Different tracking technologies and levels were compared | Technology selection should consider product type and industry |
| Argilovski et al. (2021) | Technical analysis and conceptual modeling | Presentation of technical details such as TRU concept and data structures | The complexity of micro-level traceability was emphasized | Sector-based application guidelines should be developed |
| Yusuf et al. (2019) | Case study (Hyperledger Fabric) | Proposal of a multi-channel and crash fault-tolerant system design | System efficiency increased, delays decreased, and security was enhanced | Alternative consensus mechanisms should be tested |
| Casado-Vara et al. (2018) | Conceptual model and case study | Proposal of a new architecture supported by Multi-Agent Systems (MAS) | Coordination among stakeholders and data transparency were improved | The model should be tested in different sectors |
| Sund et al. (2020) | Prototype development (Quorum) | One of the first applications of event processing in large supply chains | Analysis of transaction load and latency revealed bottlenecks | System architecture should be optimized and performance enhanced |
| Ada et al. (2021) | Simulation (Hyperledger Fabric) | Proposal of an architecture enhancing quality and traceability | Inventory Quality Ratio (IQR) increased, and ownership transfers were facilitated | The scope of implementation should be expanded |
| Tian (2016) | Conceptual model and integration | Demonstration of practical benefits of RFID–blockchain integration | Supply chain losses were reduced, and data security improved | Costs should be reduced, and technological maturity ensured |
| Aich et al. (2019) | Literature review and sectoral examples | Provision of applicable solutions across different industries | Transparency, trust, and traceability were enhanced | More case studies should be conducted |
| Kshetri (2018) | Conceptual analysis and case reviews | Theoretical contribution of blockchain to SCM objectives | Positive effects on consumer trust and crisis management were identified | Blockchain-based monitoring systems should be scaled up |

4.1. The Purpose of the Application

The FEKA Traceability System was developed to enable the digital monitoring and recording of all stages of industrial production processes, from manufacturing to shipment. The primary objective of the system is to track the journey of each product along the production line in detail—specifying which stations it has passed through, which operations it has undergone, and which personnel have handled it. In this way, quality control processes are strengthened, and rapid and reliable access to information is ensured in cases of potential recalls or error analyses.

4.2. System Architecture and Data Flow

The application is built on an architecture that collects data from production stations in real time and stores it in a centralized database. The data flow of the system follows these steps:

- **Identification:** At the beginning of production, each new product or batch is assigned a unique identifier (barcode or QR code) within the system.
- **Data Recording:** As the product passes through each station on the production line, it is scanned using this identifier. Details such as the date, time, responsible personnel, and type of operation are automatically recorded in the system database.
- **Process Tracking:** Logistical movements, such as warehousing or shipment, are also registered in the system, ensuring end-to-end traceability integrity.
- **Reporting and Analysis:** Authorized users can query the complete history of any product via the application interface, generate reports for performance analysis, and export all data in Excel format.

Figure 1 shows a screenshot of the system's reporting interface.

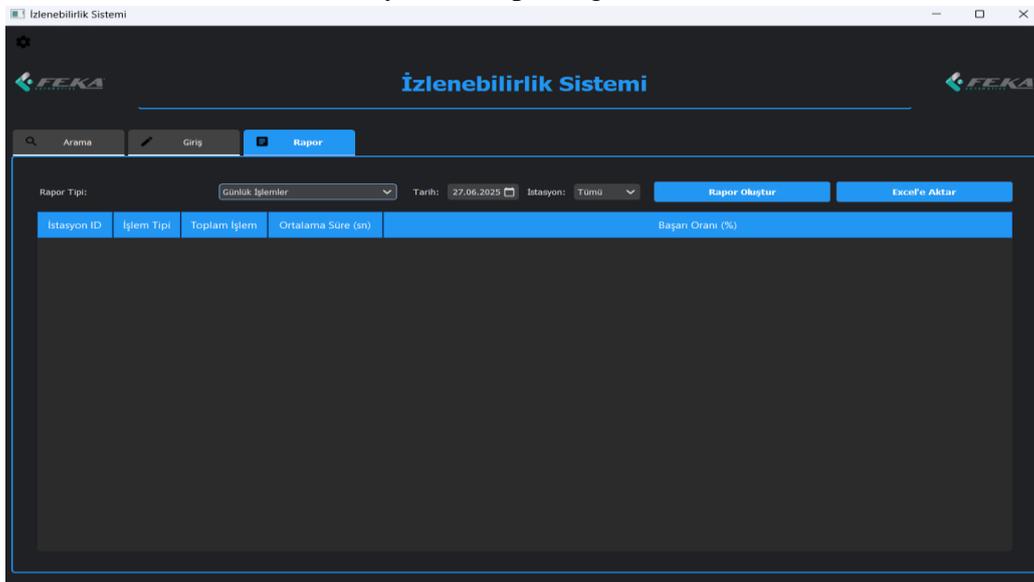


Figure 1: FEKA Traceability System Reporting Interface

4.3. Technical Infrastructure of the System

The system developed in this study was structured as a Windows-based desktop application. The core components of its technical infrastructure are as follows:

- **Programming Language:** Python 3.11
- **Interface Library:** PyQt5, to provide a user-friendly and modern graphical interface

- **Database:** SQLite database (*product_tracking.db*) for centralized data management
- **Database Management:** SQLAlchemy library for flexible and reliable database operations
- **Data Processing and Reporting:** Pandas for data analysis and reporting, and Openpyxl for exporting data to Excel
- **Packaging:** PyInstaller tool used to compile the application into a single *.exe* file for end-user deployment

4.4. Usage Scenarios

The system provides integrated functionalities tailored to different user profiles, thereby enabling the effective management of production processes. In this context, production supervisors can monitor the real-time status of products on the production line, allowing them to promptly intervene in the event of potential delays or errors. The quality control unit can access the complete production history of each product, verify compliance with quality standards, and initiate corrective actions when necessary. Furthermore, the management team can generate comprehensive reports on production performance, station-based efficiency rates, and overall process effectiveness through the system, supporting informed strategic decision-making. These scenarios demonstrate that the system delivers value across a wide spectrum, ranging from operational monitoring to strategic management.

5. CONCLUSION

In this study, the role of digital traceability systems in modern supply chain management within the scope of Industry 4.0 has been comprehensively examined through both theoretical approaches and a practical implementation. The literature review revealed the potential of technologies such as blockchain, IoT, and RFID to enhance transparency, trust, and operational efficiency in supply chains. The case study of the FEKA Traceability System, presented in the application section, demonstrated a practical example of how industrial processes can be effectively tracked digitally from production to shipment using modern software tools such as Python.

The main contribution of this study lies in bringing together two different dimensions of digital traceability. On the one hand, it analyzes decentralized and secure blockchain-based systems in the literature, while on the other, it demonstrates the practical benefits of a centralized and rapidly deployable solution such as the FEKA system. This approach illustrates that digital traceability can be achieved not only through advanced technological investments but also with well-structured, scalable, and accessible systems.

Nevertheless, the study has certain limitations. The FEKA system presented here is based on a centralized architecture operating within a single organization and has not yet been tested in a distributed supply chain network involving multiple stakeholders. The most significant recommendation for future research is the integration of this centralized system with a blockchain network. Periodically recording the hashes of transaction logs generated within the FEKA system onto a blockchain would maximize data immutability and auditability.

In addition, the automation of shipment and approval processes through smart contracts is seen as a promising research avenue that could further enhance the capabilities of the system.

REFERENCES

- Ada, N., Ethirajan, M., Kumar, A., KEk, V., Nadeem, S. P., Kazancoglu, Y., & Kandasamy, J. (2021). Blockchain technology for enhancing traceability and efficiency in automobile supply chain—a case study. *Sustainability*, 13(24), 13667.
- Aich, S., Chakraborty, S., Sain, M., Lee, H. I., & Kim, H. C. (2019, February). A review on benefits of IoT integrated blockchain based supply chain management implementations across different sectors with case study. In 2019 21st international conference on advanced communication technology (ICACT) (pp. 138-141). IEEE.
- Argilovski, A., Jovanoski, B. D., Minovski, R., & Peneva, G. (2023). Product traceability in manufacturing—A review of the concepts for enhanced digital transformation. In XXI International Scientific Conference „Management and Engineering'23"(ISCME).
- Casado-Vara, R., Prieto, J., De la Prieta, F., & Corchado, J. M. (2018). How blockchain improves the supply chain: Case study alimentary supply chain. *Procedia computer science*, 134, 393-398.
- Güneşli, İ., Yıldızbaşı, A., & Eraslan, E. (2020). Otomotiv tedarik zincirinde blokzincir teknolojisi uygulamalarına ilişkin bir değerlendirme. *Endüstri Mühendisliği*, 31(1), 48-56.
- Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of information management*, 39, 80-89.
- Schuitemaker, R., & Xu, X. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. *Procedia cirp*, 93, 700-705.
- Sund, T., Löf, C., Nadjm-Tehrani, S., & Asplund, M. (2020). Blockchain-based event processing in supply chains—A case study at IKEA. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 65, 101971.
- Tian, F. (2016, June). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. In 2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM) (pp. 1-6). IEEE.
- Yusuf, H., Surjandari, I., & Rus, A. M. M. (2019, July). Multiple channel with crash fault tolerant consensus blockchain network: a case study of vegetables supplier supply chain. In 2019 16th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM) (pp. 1-4). IEEE.

SOĞUK ZİNCİR GEREKSİNİMİ OLAN KIRSAL SAĞLIK OCAĞI İÇİN RÜZGÂR TABANLI HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZİ

Ali Serkan Avcı

Batman Üniversitesi

aliserkan.avci@batman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0761-8642

ÖZET

Bu çalışmada, kırsal bölgelerdeki sağlık ocaklarında soğuk zincir uygulamalarının sürdürülebilirliğini ve kesintisiz enerji arzını sağlamak amacıyla rüzgâr tabanlı hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Sivas ilinde konumlanan bir kırsal sağlık ocağının elektrik ihtiyacını karşılamak üzere üç farklı senaryo tasarlanmıştır: (1) Rüzgâr–PV–Dizel–Batarya, (2) Rüzgâr–PV–Batarya ve (3) Rüzgâr–Batarya sistemleri. HOMER Pro yazılımı ile gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarına göre, tamamen yenilenebilir yapıya sahip Senaryo 2, en düşük birim enerji maliyeti (0,60 \$/kWh) ve en düşük Net Bugünkü Maliyet (152.319 \$) değerleriyle en uygun sistem olarak belirlenmiştir. Dizel destekli yapı (Senaryo 1), enerji sürekliliği açısından avantaj sağlasa da yakıt ve bakım giderleri nedeniyle ekonomik olarak daha zayıf performans göstermiştir. Yalnızca rüzgâr–batarya tabanlı yapı (Senaryo 3) ise mevsimsel üretim dalgalanmaları ve yüksek yatırım maliyeti nedeniyle dezavantajlı bulunmuştur. Şebeke uzaklık analizine göre, 11,24 km'nin üzerindeki mesafelerde Senaryo 2 sistemi ekonomik olarak daha avantajlı hale gelmektedir. Bu bulgular, rüzgâr tabanlı hibrit sistemlerin kırsal sağlık tesislerinde soğuk zincir güvenliği ve enerji sürekliliği açısından uygulanabilir ve sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, hibrit yenilenebilir enerji sistemi, kırsal sağlık ocağı, enerji optimizasyonu, sürdürülebilir elektrifikasyon

1. GİRİŞ

Küresel enerji talebinin hızla artması ve fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması, enerji sektörünü sürdürülebilir ve çevre dostu çözümler arayışına yöneltmiştir. Fosil yakıtların yoğun kullanımı, hem ekonomik bağımlılığa hem de çevresel bozulmalara neden olarak küresel ısınma, iklim değişikliği ve sera gazı salınımı gibi ciddi sorunları beraberinde getirmiştir. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için en etkili stratejilerden biri olarak öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada kendini sürekli yenileyebilen ve tükenme riski taşımayan enerji türlerini ifade eder. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji gibi kaynaklar, çevresel etkileri düşük, karbon ayak izi az ve uzun vadede ekonomik açıdan avantajlı sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Bu kaynaklar, fosil yakıtların aksine enerji arz güvenliğini artırırken, sera gazı

emisyonlarını azaltarak küresel iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynamaktadır [1]. Özellikle rüzgâr enerjisi, hem teknolojik olgunluk düzeyi hem de düşük işletme maliyetleri sayesinde son yıllarda en hızlı gelişen yenilenebilir enerji türlerinden biri haline gelmiştir. Rüzgâr türbinleri, uygun sahalarda yılın büyük bölümünde kesintisiz enerji üretebilmekte ve gece saatlerinde de üretim sağlayarak enerji sürekliliğine katkıda bulunmaktadır. Bu yönüyle rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi gibi gündüz yoğun çalışan kaynakları tamamlayıcı nitelik taşır [2]. Ayrıca, enerji depolama teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte rüzgâr enerjisinin şebekeden bağımsız (off-grid) bölgelerde kullanımı giderek artmaktadır. Güneş enerjisi ise yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın uygulama alanına sahip sistemlerden biridir. Fotovoltaik (PV) panellerin verimliliklerinin artması ve maliyetlerinin düşmesi sayesinde, küçük ölçekli uygulamalardan endüstriyel tesislere kadar geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ancak güneş enerjisinin süreksiz doğası, özellikle bulutlu günlerde veya gece saatlerinde enerji üretiminin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, rüzgâr ve güneş enerjisinin hibrit sistemler içerisinde birleştirilmesi, enerji arz güvenliği ve sürekliliği açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır [3].

Kırsal bölgelerdeki sağlık tesisleri, özellikle elektrik şebekesine uzak veya şebeke güvenilirliğinin düşük olduğu alanlarda, enerji yetersizliği nedeniyle önemli operasyonel zorluklarla karşı karşıyadır. Bu tesislerin en kritik enerji gereksinimlerinden biri, aşılarda, biyolojik örnekler ve sıcaklığa duyarlı ilaçların korunmasını sağlayan soğuk zincir sistemlerinin kesintisiz çalıştırılmasıdır. Soğuk zincir sürekliliğinde yaşanacak kısa süreli elektrik kesintileri bile, sağlık hizmetlerinin etkinliğini ve halk sağlığı güvenliğini ciddi şekilde tehlikeye atabilmektedir. Geleneksel olarak bu tür kırsal sağlık merkezlerinde enerji ihtiyacı dizel jeneratörlerle karşılanmaktadır. Ancak yakıt temini, yüksek işletme maliyetleri ve çevresel etkiler gibi faktörler, dizel tabanlı çözümlerin sürdürülebilirliğini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, kırsal sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından stratejik bir önem kazanmıştır [4].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının simülasyonu ve optimizasyonunda literatürde en yaygın kullanılan araçlardan biri olan HOMER Pro, bu çalışmada ana analiz aracı olarak tercih edilmiştir. “Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources” ifadesinin kısaltması olan HOMER, mikroşebeke ve hibrit enerji sistemlerinin teknik, ekonomik ve çevresel performanslarını bütüncül olarak değerlendirmeye imkân tanımaktadır [5]. Yazılım, kullanıcı tarafından tanımlanan yük profili, yenilenebilir kaynak verileri, bileşen maliyetleri ve operasyonel kısıtlar doğrultusunda farklı enerji bileşenlerini çeşitli kombinasyonlarda simüle edebilmekte; çok sayıda senaryoyu eşzamanlı olarak optimize ederek en uygun sistem konfigürasyonunu belirleyebilmektedir [6]. Bu özellikleri sayesinde yazılım, özellikle şebekeden uzak veya enerji erişimi kısıtlı kırsal bölgelerdeki enerji sistemlerinin güvenilir, sürdürülebilir ve ekonomik şekilde tasarlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda birçok araştırma, şebekeden bağımsız sağlık tesislerinde enerji sürekliliğini sağlamak amacıyla HOMER Pro yazılımı ile modellenen hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğini incelemiştir. Yakub ve ark. (2022), Nijerya'nın Kano eyaletindeki Tsamiya Babba kırsal sağlık merkezi için PV–dizel ve rüzgâr–dizel hibrit enerji sistemlerini HOMER Pro ile optimize etmiştir. Çalışmada her iki sistemin

teknik, ekonomik ve çevresel performansları karşılaştırılmış; PV–dizel sistemin toplam maliyet açısından en uygun, rüzgâr–dizel sistemin ise daha yüksek yenilenebilirlik oranına (%67) ve daha düşük CO₂ emisyonuna (yaklaşık %45 azalma) sahip olduğu belirlenmiştir. Analizler, hibrit sistemlerin tek kaynaklı sistemlere göre daha düşük enerji maliyeti (yaklaşık 0,29 \$/kWh) ve daha kısa geri ödeme süresi (5,4 yıl) sunduğunu göstermiştir [7]. Al-Karaghoulı ve Kazmerski (2010), Irak’ın güneyindeki kırsal bir sağlık ocağı için HOMER yazılımı kullanarak PV tabanlı bir enerji sisteminin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Günlük 31,6 kWh yük için en uygun sistemin 6 kW PV, 80 akü ve 3 kW konvertörden oluştuğu belirlenmiş; birim enerji maliyeti 0,238 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Dizel jeneratörlü sistemle karşılaştırıldığında maliyetin yaklaşık beşte birine ve 14,9 ton/yıl CO₂ azaltımına ulaşılmış, PV sistemlerin kırsal sağlık tesisleri için teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır [8]. Ayodele ve ark. (2021), Güney Afrika’daki bir kırsal sağlık kliniği için rüzgâr–PV–hidrojen kısmi şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi tasarlamış ve HOMER Pro ile optimize etmiştir. Klinik yükü 18,67 kWh/gün olup, uygun yapıda 40 kW PV, 3 adet 10 kW rüzgâr türbini ve hidrojen depolamadan oluşur. Sistem için LCOE 2,34 \$/kWh olarak hesaplanmış ve 8,8 km’nin ötesinde şebeke uzatımına göre daha ekonomik bulunduğu belirtilmiştir [9]. Olatomiwa ve ark. (2023), Nijerya’daki altı kırsal sağlık merkezi için HOMER Pro kullanarak hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Farklı senaryolar arasında PV–rüzgâr–dizel–batarya–şebeke entegrasyonu en uygun çözüm olarak belirlemiştir [10]. Ani ve Abubakar (2015), Nijerya’nın Borno Eyaleti’ndeki gezici bir sağlık kliniği için HOMER yazılımı kullanılarak şebekeden bağımsız PV–rüzgâr hibrit enerji sisteminin fizibilitesini incelemiştir. Günlük 19 kWh yük için 5 kW PV, 7,5 kW rüzgâr türbini ve 24 aküden oluşan sistem en uygun yapı olarak belirlenmiş; yıllık 16.628 kWh üretim ve 137.139 \$ NPC değeri elde edilmiştir. Çalışma, yakıtsız ve sıfır emisyonlu hibrit sistemlerin gezici sağlık tesisleri için sürdürülebilir bir alternatif ortaya çıkarmıştır [11]. Islam ve ark. (2023), Bangladeş’in Rangpur bölgesindeki bir kırsal sağlık merkezi için HOMER Pro kullanarak hibrit güneş enerjisi sisteminin teknik ve ekonomik fizibilitesini incelemiştir. En uygun yapı 32 kW PV, 25 kW inverter ve 28 kW jeneratörden oluşmuştur [12]. Ahmed ve ark. (2023), Bangladeş’in Thakurgaon bölgesindeki bir kırsal sağlık merkezi için HOMER Pro ile hibrit PV sistemin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğini analiz etmiştir. En uygun sistem 24,3 kW PV, 17 kW dizel jeneratör ve 11 kW konvertörden oluşmuştur [13].

Bu çalışma, Türkiye’de kırsal sağlık ocaklarına yönelik yenilenebilir enerji temelli analizlerin sınırlı sayıda olması nedeniyle, bu alandaki eksikliği gidermeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, soğuk zincir gereksinimi bulunan bir sağlık ocağı için enerji sürekliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve maliyet etkinliği birlikte değerlendirilmiştir. Sivas ili, orta düzey rüzgâr potansiyeli ve kış koşullarında güneş enerjisinin sınırlı olması nedeniyle araştırma sahası olarak seçilmiş; sistem tasarımında rüzgâr enerjisi öncelikli bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu kapsamda oluşturulan senaryolardan biri, özellikle acil durumlarda kesintisiz güç sağlamak amacıyla dizel jeneratör desteği içermekte; diğer senaryolarda ise rüzgâr ve batarya kombinasyonu üzerinden tam yenilenebilir yapılar analiz edilmiştir. Böylece çalışma, Türkiye koşullarında kırsal sağlık ocakları için rüzgâr tabanlı hibrit enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğini değerlendiren öncü bir model ortaya koymuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada sistem optimizasyonu ve performans analizi, hibrit enerji sistemlerinin teknik, ekonomik ve çevresel değerlendirmelerini bir arada yapabilen HOMER Pro yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. HOMER Pro, senaryo tabanlı çalışma prensibi sayesinde kullanıcı tarafından tanımlanan yük profili, kaynak verileri, bileşen özellikleri ve ekonomik parametreleri dikkate alarak farklı sistem kombinasyonlarını simüle edebilmekte ve bu kombinasyonlar arasından en uygun konfigürasyonu belirleyebilmektedir. Yazılım, simülasyon çıktılarında birim enerji maliyeti (LCOE), net bugünkü maliyet (NPC) performans göstergelerini ve emisyon verilerini hesaplamaktadır. Bu çok aşamalı süreç sonucunda, enerji üretim güvenilirliği, maliyet etkinliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından optimum sistem konfigürasyonuna ulaşıncaya kadar modelleme adımları tekrarlanmıştır.

2.1. Sağlık Ocağına Ait Özellikler

Araştırmanın yürütüldüğü Sivas ili, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda yer almakta olup, yüksek rakımı (yaklaşık 1.285 m) ve karasal iklim özellikleriyle öne çıkmaktadır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Dsb (sıcak yazlı karasal iklim) tipine sahip olan ilde, kışlar soğuk ve uzun, yazlar ise kısa ve güneşlidir. Yıllık ortalama sıcaklık 8–10 °C, yıllık ortalama güneşlenme süresi ise yaklaşık 2.800 saat civarındadır. Rüzgâr hızı ortalaması 5,0–5,3 m/s aralığında olup, özellikle yüksek rakımlı açık alanlarda rüzgâr potansiyeli enerji üretimi açısından dikkate değer düzeydedir [14]. Bu özellikler, Sivas'ı kış aylarında güneş enerjisi üretiminin azaldığı dönemlerde rüzgârın tamamlayıcı bir kaynak olarak değerlendirilebileceği illerden biri haline getirmektedir.

Çalışmada ele alınan kırsal sağlık ocağı, şehir merkezine uzak, elektrik şebekesi erişiminin sınırlı olduğu yerleşim bölgeleri için konumlandırılmıştır. Sağlık ocağı; aile hekimliği, acil müdahale, laboratuvar, sterilizasyon ve soğuk zincir depolama gibi birimlere sahip tam teşekküllü bir birim olarak modellenmiştir. Bölgedeki sağlık hizmetlerinin sürekliliği, özellikle aşı, kan ve biyolojik örneklerin saklanması için kesintisiz enerji gereksinimi nedeniyle kritik öneme sahiptir. Bu durum, tesisin enerji tasarımında rüzgâr tabanlı hibrit sistemlerin tercih edilmesini gerekli kılmıştır.

2.2. Sağlık Ocağının Yük Profili

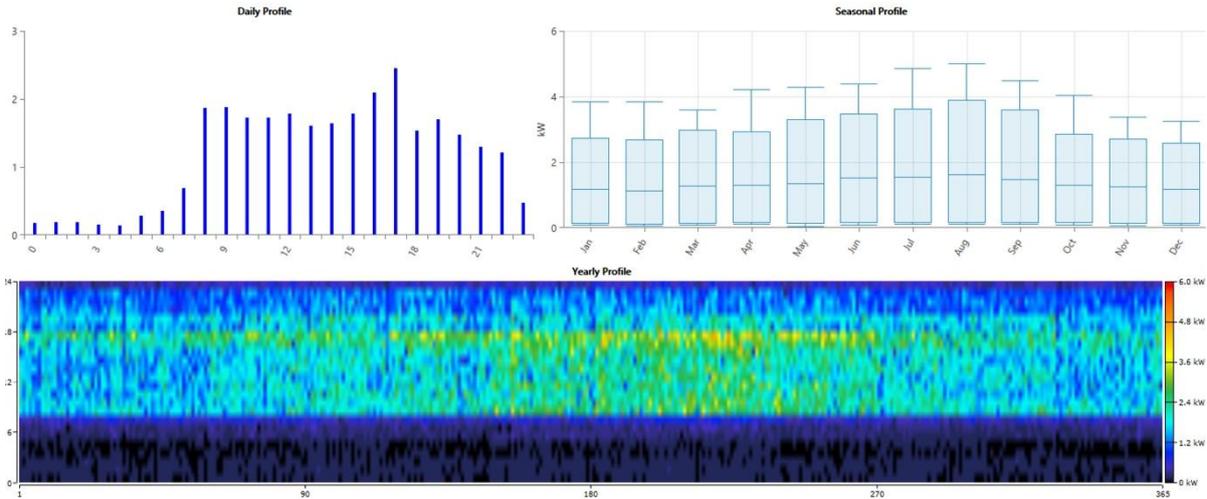
Kırsal bölgelere konumlandırılan sağlık ocağının günlük enerji gereksinimi, tesisin tam teşekküllü hizmet yapısı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Çizelge 1'de verilen cihaz bazlı tüketim değerlerine göre tesisin toplam günlük elektrik tüketimi 33,8 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Sağlık ocağı, hafta içi 08:00–17:00 saatleri arasında aktif hizmet vermekte olup, bu zaman aralığında aydınlatma, laboratuvar cihazları, sterilizasyon ekipmanları ve iklimlendirme sistemleri kaynaklı enerji talebi belirgin biçimde artmaktadır.

Görsel 1'de gösterilen günlük, mevsimsel ve yıllık yük profili grafikleri incelendiğinde, enerji talebinin sabah saatlerinden itibaren yükselerek öğle ve öğleden sonra maksimum değerlere ulaştığı, akşam saatlerinden itibaren ise azaldığı görülmektedir. Yükün düşük olduğu

gece saatlerinde yalnızca soğuk zincir buzdolapları ve derin dondurucuların 24 saatlik kesintisiz çalışması enerji tüketiminin temelini oluşturmaktadır. Tüketimin yaz aylarında iklimlendirme sistemlerinin yoğun kullanımı nedeniyle arttığı, kış aylarında ise daha dengeli bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Günlük maksimum anlık güç talebi yaklaşık 6 kW, yük faktörü ise 0,25–0,30 aralığındadır. Bu yük profili, kırsal bölgelerdeki sağlık tesisleri için soğuk zincir sürekliliğini destekleyen, mevsimsel olarak değişken enerji talebine sahip bir senaryoyu temsil etmektedir.

Çizelge 1. Sağlık Ocağının günlük elektrik tüketim verileri

| Cihaz Adı | Tahmini Güç Tüketimi (Watt) | Günlük Kullanım Süresi (Saat) | Günlük Tüketim (kWh) |
|---|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Soğuk Zincir Dolabı (Aşı Buzdolabı) | 80 | 24 | 1.9 |
| Soğuk Zincir Dolabı (Aşı Derin Dondurucu) | 120 | 24 | 2.8 |
| Laboratuvar Ekipmanları | | | |
| Toplam | 900 | 8 | 7.2 |
| Aydınlatma (LED) | 200 | 8 | 1.6 |
| Bilgisayar (2 adet) | 300 | 8 | 2.4 |
| Sterilizasyon Cihazı | 1500 | 1 | 1.5 |
| Klima / Isıtıcı | 2500 | 6 | 15.0 |
| Su Sebili | 100 | 2 | 0.2 |
| Diğer Ofis Ekipmanları | 150 | 8 | 1.2 |
| Toplam Tahmini Tüketim | | | 33.8 |

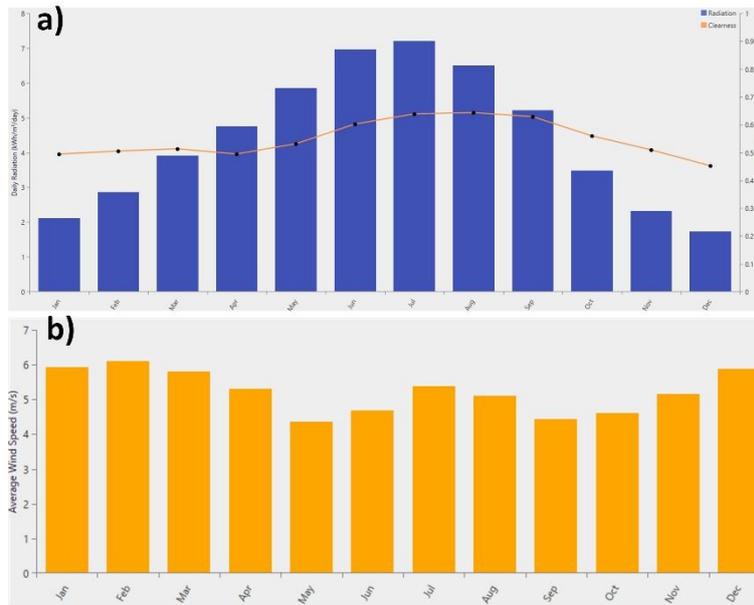


Görsel 1. Kırsal Sağlık Ocağına ait günlük, mevsimsel ve yıllık elektrik yük profili

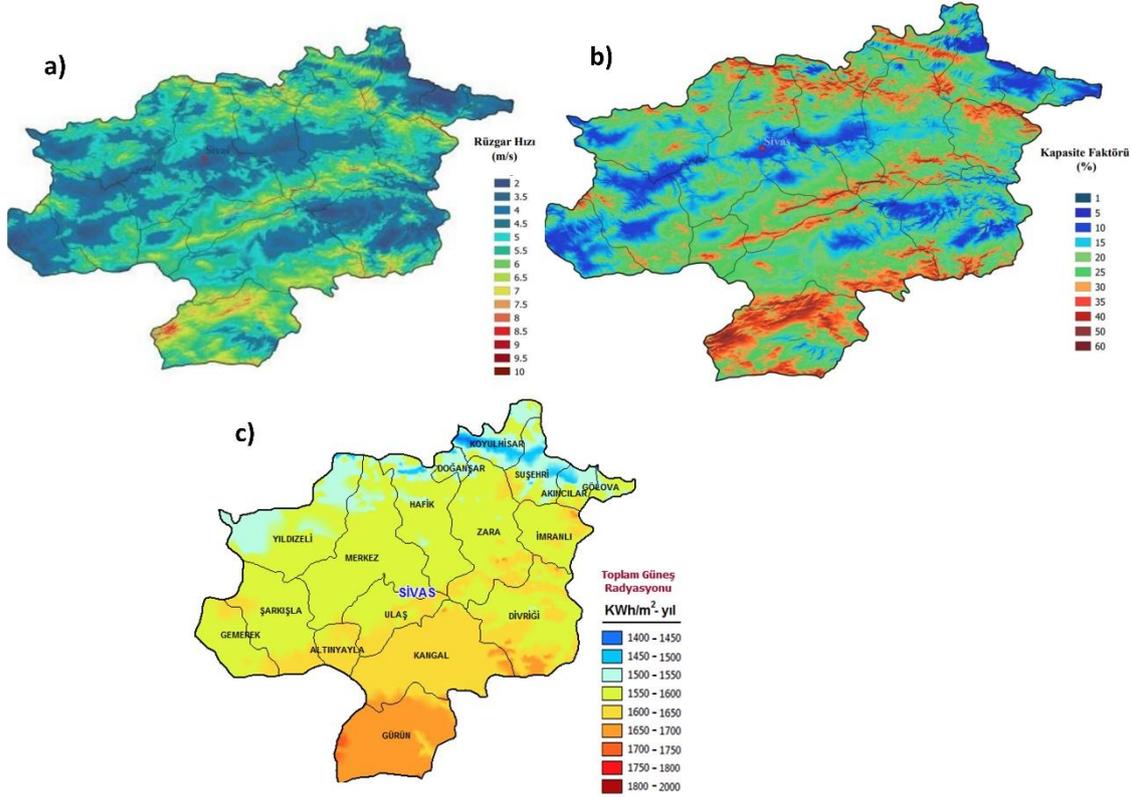
2.3. Bölgeye Ait Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kaynakları

Sivas iline ait güneş ve rüzgâr enerji potansiyeli verileri, NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) ve Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) kaynaklarından elde edilmiştir [15,16]. Görsel 2a’da aylık ortalama güneş radyasyonu ve atmosferik açıklık (clearness index) değerleri sunulmaktadır. Buna göre, günlük ortalama radyasyon miktarı Ocak ayında yaklaşık 2,3 kWh/m²/gün iken, Temmuz ayında 7,2 kWh/m²/gün seviyesine ulaşmakta; yıllık ortalama değer 4,8 kWh/m²/gün civarındadır. Bu durum, yaz aylarında PV sistemleri için yüksek üretim kapasitesi anlamına gelmektedir. Görsel 2b, Sivas ili için aylık ortalama rüzgâr hızlarını göstermektedir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 5,0–5,3 m/s aralığındadır. En yüksek değerler Ocak–Mart ve Kasım–Aralık aylarında gözlenmiş olup, bu dönemler güneş üretiminin azaldığı kış aylarına denk gelmektedir.

Görsel 3’te Sivas ilinin yenilenebilir enerji potansiyelini gösteren tematik haritalar yer almaktadır. Görsel 3a’da ilin farklı bölgelerindeki rüzgâr hızı dağılımı verilmiş olup, ortalama 5–6 m/s bandında değerlerin özellikle güney ve doğu kesimlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Görsel 3b, aynı alanlara ait kapasite faktörü haritasını sunmakta olup, rüzgâr türbinleri için uygun bölgelerin %25–35 kapasite faktörü aralığında olduğu tespit edilmiştir. Görsel 3c ise toplam yıllık güneş radyasyonu dağılımını göstermektedir. Buna göre, Sivas’ın güney ilçelerinde yıllık radyasyon miktarı 1750–1850 kWh/m²·yıl, kuzey kesimlerinde ise 1450–1600 kWh/m²·yıl arasında değişmektedir. Bu veriler, Sivas ilinin hem PV hem de rüzgâr tabanlı sistemlerin entegre edilmesiyle etkin hibrit enerji üretimi için uygun bir coğrafi potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle kış aylarında rüzgâr, yaz aylarında ise güneş enerjisinin baskın olması, sistemin yıl boyu dengeli enerji arzı sağlamasına olanak tanımaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında rüzgâr tabanlı senaryolara öncelik verilmiş, PV sistemler ise tamamlayıcı enerji kaynağı olarak değerlendirilmiştir.



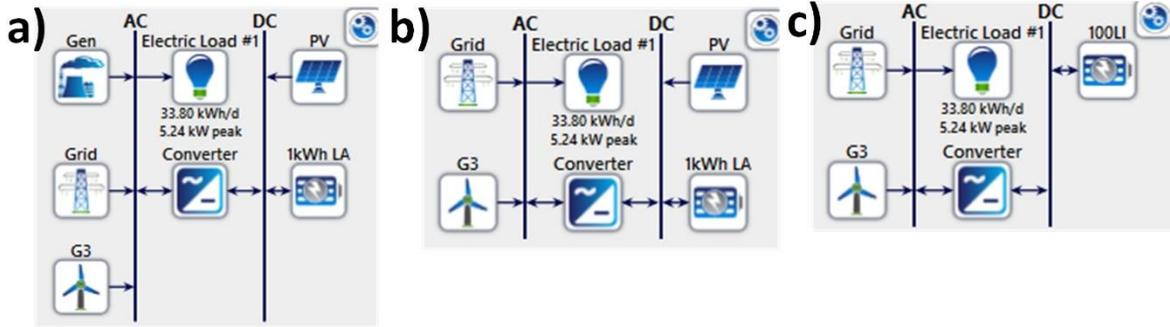
Görsel 2. Sivas iline ait aylık a) ortalama güneş radyasyonu ve atmosferik açıklık, b) ortalama rüzgâr hızı dağılımı



Görsel 3. Sivas iline ait a) rüzgâr hızı dağılımı, b) kapasite faktörü haritası ve c) toplam yıllık güneş radyasyonu

2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sistemine Ait Bileşenler

Bu çalışmada, Sivas ilinde yer alan kırsal bir sağlık ocağının enerji gereksinimi için üç farklı hibrit yenilenebilir enerji sistemi senaryosu tasarlanmıştır. Görsel 4'te, HOMER Pro yazılımı kullanılarak modellenen senaryolara ait genel sistem diyagramları sunulmaktadır. Birinci senaryo (Görsel 4a), rüzgâr–PV–batarya–dizel bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu yapı, sağlık ocağı yükünün gün içinde dalgalı olduğu durumlarda sürekli enerji arzını güvence altına almak amacıyla oluşturulmuştur. Bu senaryoda dizel jeneratör, sadece güneş ve rüzgâr kaynaklarının yetersiz olduğu zamanlarda devreye girmekte ve özellikle kritik soğuk zincir ekipmanlarının enerji kesintisinden etkilenmemesi için yedek güç kaynağı olarak kullanılmaktadır. İkinci senaryo (Görsel 4b), yalnızca rüzgâr–PV–batarya entegrasyonuna dayalı tamamen yenilenebilir bir yapıdadır. Bu konfigürasyonda dizel jeneratör bulunmamakta, enerji depolama sistemi yük sürekliliğini sağlamakta ve bataryalar, rüzgâr ile PV üretiminin yüksek olduğu saatlerde şarj edilerek gece tüketimine destek sağlamaktadır. Üçüncü senaryo (Görsel 4c), yalnızca rüzgâr–batarya tabanlı bir sistem olarak tasarlanmıştır. Bu senaryo, Sivas'ın ortalama 5,23 m/s rüzgâr hızına sahip bölgelerinde potansiyel bir uygulama örneği olarak değerlendirilmiştir. Senaryoların tümünde yer alan “Grid” bileşeni ise, doğrudan şebeke bağlantısını değil; şebeke hattının bölgeye uzatılması durumunda oluşabilecek maliyetleri temsil eden “grid extension” yaklaşımını ifade etmektedir.



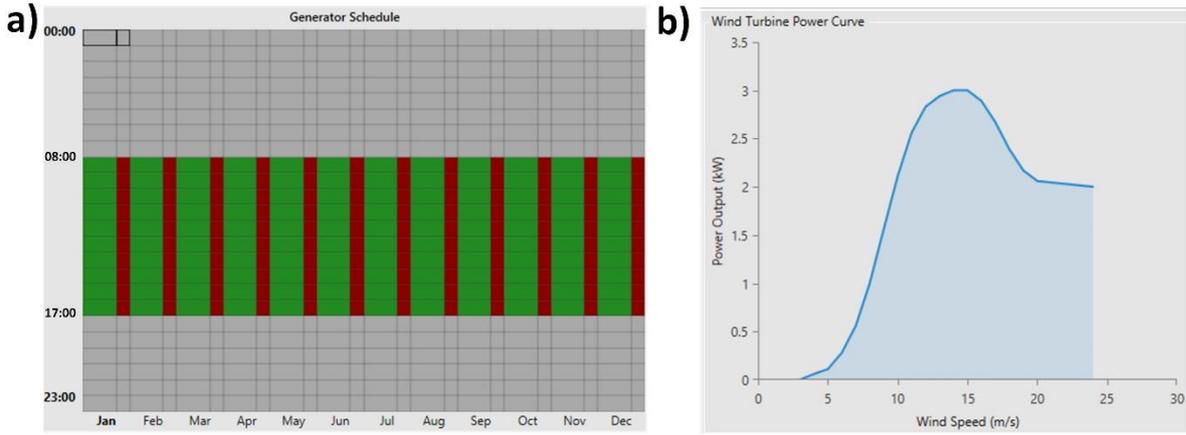
Görsel 4. Kırsal sağlık ocağı için tasarlanan üç hibrit enerji senaryosu: a) Rüzgâr–PV–Dizel–Batarya, b) Rüzgâr–PV–Batarya, c) Rüzgâr–Batarya

Sistem bileşenleri için PV ünite, 1 kW kapasiteli düz plaka panel tipi olup %80 derating faktörü ile modellenmiştir. Rüzgâr türbini bileşeni, 3 kW nominal güce sahip olup 17 m kule yüksekliğinde tanımlanmıştır. Enerji depolama birimi olarak 1 kWh kurşun-asit batarya (%80 çevrim verimi) ile senaryo 3'te 100 kWh Li-ion batarya (%90 çevrim verimi) kullanılmıştır. Dizel jeneratör, 0,324 L/sa yakıt kesimi ve 0,236 L/sa/kW eğimi esas alınarak otomatik boyutlandırılmıştır. Güç dönüşümü için kullanılan konvertör, %95 verim değerine sahiptir. Bu bileşenlerin teknik özellikleri, sağlık ocağının yük profilini karşılayacak şekilde uyumlu hale getirilmiş ve senaryo bazlı optimizasyon sürecinde HOMER Pro tarafından değerlendirilmiştir. Bu bileşenlere ait birim maliyet değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Hibrit bileşenlerine ait birim maliyet değerleri

| Bileşenler | Yatırım Maliyeti (\$/kW) | Yenileme Maliyeti (\$/kW) | Bakım-Onarım Maliyeti (\$) | Kullanım Ömrü |
|------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|
| PV Panel | 900 | 900 | 10 | 25 yıl |
| Rüzgâr Türbini | 9000 | 9000 | 180 | 20 yıl |
| Dizel Jeneratörü | 500 | 500 | 0,030 | 15000 saat |
| Batarya (1kw) | 300 | 300 | 10 | 10 yıl |
| Batarya (100 kw) | 30000 | 30000 | 1000 | 15 yıl |
| Konvertör | 300 | 300 | - | 15 yıl |

Görsel 5a'da, birinci senaryoya ait dizel jeneratörün yıllık çalışma programı gösterilmektedir. Jeneratör, hafta içi 08:00–17:00 saatleri arasında manuel olarak devreye alınmakta, bu sayede gündüz saatlerinde yük dalgalanmaları ve ani talep artışları dengelenmektedir. Hafta sonları ise hem kurumun kapalı olması hem de bu saatlerde güneş ve rüzgâr kaynaklarının yeterli düzeyde bulunması nedeniyle devre dışı bırakılmıştır. Geceleri yenilenebilir üretimin azalması ve batarya kapasitesinin sınırlı kalması durumuna karşı sistem, HOMER Pro optimizasyonuna bırakılarak yalnızca enerji yetersizliğinde jeneratörün devreye girmesi sağlanmıştır. Görsel 5b'de rüzgâr türbinine ait güç eğrisi sunulmuştur. Eğriye göre, türbin 3 m/s kesme hızından itibaren enerji üretmeye başlamaktadır ve 12–14 m/s aralığında maksimum 3 kW güç çıkışına ulaşmaktadır. Daha yüksek rüzgâr hızlarında ise güç sabit kalmakta, 25 m/s'nin üzerinde ise türbin güvenlik nedeniyle devre dışı kalmaktadır. Bu eğri, bölgedeki rüzgâr potansiyelinin küçük ölçekli hibrit sistemlerde sürdürülebilir enerji üretimi için uygun olduğunu göstermektedir.



Görsel 5. a) Dizel jeneratörün haftalık çalışma planı, b) Rüzgâr türbinine ait güç eğrisi

2.4. Ekonomik-Çevresel Değerlendirmeler ve Kısıtlamalar

Bu çalışmada, tasarlanan hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin uygulanabilirliği teknik, ekonomik ve çevresel açılardan birlikte değerlendirilmiştir. Ekonomik analizde NPC, LCOE ve İşletme-Bakım (O&M) giderleri temel göstergeler olarak kullanılmıştır. NPC, sistemin ömrü boyunca oluşacak maliyetlerin bugünkü değerini yansıtırken; LCOE, üretilen birim elektriğin maliyetini ifade etmektedir. Hesaplamalarda nominal iskonto oranı %10,5, yıllık enflasyon oranı %8,8 [17] ve proje ömrü 25 yıl olarak kabul edilmiştir. Bu değerlere göre sistemin reel iskonto oranı %1,56 olarak hesaplanmıştır. Çevresel performans analizinde, karbon dioksit (CO₂) başta olmak üzere fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları dikkate alınmıştır.

Simülasyon sürecinde sistemin güvenilirliği, sürdürülebilirliği ve kritik yüklerin korunması amacıyla belirli teknik kısıtlamalar tanımlanmıştır. Yıllık kapasite açığı %0 olarak belirlenmiş, sistemin tüm yükü ve özellikle soğuk zincir ekipmanlarının enerji gereksinimi kesintisiz biçimde karşılanacak şekilde yapılandırılmıştır. Minimum yenilenebilir enerji katkı oranı %30 olarak sınırlandırılmıştır. Ayrıca, ani yük değişimlerine veya kaynak dalgalanmalarına karşı kararlılığı sağlamak için işletme rezervleri yükün %10'u, PV üretiminin %20'si ve rüzgâr üretiminin %50'si oranlarında tanımlanmıştır. Sistemin fiziksel uygulanabilirliği kapsamında, PV panellerin kurulumu için yaklaşık 50–55 m² çatı alanı yeterli görülmüştür. Bu çatı alanı kısıtı, modelin tasarımında dikkate alınmış olup, sistemin belirtilen alan içerisinde kurulabilirliği sonuçlar bölümünde teknik açıdan değerlendirilmiştir. Soğuk zincirli sağlık tesisleri için ek bir teknik kısıt olarak, batarya depolama birimlerinin minimum deşarj oranı %40 ile sınırlandırılmıştır. Bu oran, akülerin ömrünü korumanın yanı sıra, buzdolabı ve derin dondurucu gibi sürekli çalışan kritik ekipmanlarda gerilim düşümü riskini önlemektedir. Ayrıca sistem kararlılığını artırmak için maksimum konvertör yük oranı %90, rüzgâr türbinleri için minimum yük faktörü %30 olarak tanımlanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Optimum Tasarım ve Ekonomik Analiz Sonuçları

Bu çalışmada, Sivas ilinde konumlanan kırsal bir sağlık ocağı için tasarlanan üç farklı hibrit yenilenebilir enerji sistemi senaryosu, HOMER Pro yazılımı kullanılarak teknik ve ekonomik açıdan optimize edilmiştir. Simülasyon sonuçları, her senaryonun enerji sürekliliği, maliyet etkinliği ve yenilenebilir enerji kullanım oranı bakımından farklı avantajlar sunduğunu göstermektedir.

Senaryo 1 (PV–Rüzgâr–Dizel–Batarya): Bu senaryo, yenilenebilir ve konvansiyonel bileşenlerin bir arada kullanıldığı dengeli bir hibrit yapıya sahiptir. PV üretimi 11.752 kWh/yıl, rüzgâr üretimi 24.045 kWh/yıl ve dizel jeneratör üretimi 3.932 kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Toplam üretim 39.728 kWh/yıl olup, %68,1 yenilenebilir oranına ulaşılmıştır. En düşük ilk yatırım maliyetine (64.222 \$) ve makul işletme maliyetine (4.900 \$/yıl) sahip olması nedeniyle sermaye kısıtlı projeler için avantajlıdır. Ancak dizel jeneratörün varlığı nedeniyle emisyon yükü diğer senaryolara göre daha yüksektir.

Senaryo 2 (PV–Rüzgâr–Batarya): Tamamen yenilenebilir kaynaklara dayalı bu senaryo, teknik açıdan en dengeli ve ekonomik açıdan en uygun yapı olarak öne çıkmıştır. Toplam üretim 40.810 kWh/yıl olup, sistemin tamamı yenilenebilir kaynaklardan karşılanmaktadır (%100). NPC değeri 152.319 \$ ve LCOE değeri 0,60 \$/kWh ile üç senaryo içinde en düşük seviyededir. Bu yapı, düşük işletme maliyeti (3.486 \$/yıl) sayesinde uzun vadede sürdürülebilir enerji tedariki için en uygun çözüm olarak değerlendirilmektedir.

Senaryo 3 (Rüzgâr–Batarya): Yalnızca rüzgâr enerjisine dayalı sistem, teknik olarak basit ve bakım gereksinimi düşük bir yapı sunsa da toplam enerji üretimi (28.854 kWh/yıl) diğer senaryolardan düşüktür. Ayrıca en yüksek LCOE (0,89 \$/kWh) ve NPC (226.373 \$) değerlerine sahip olması nedeniyle ekonomik açıdan dezavantajlıdır. Bu yapı, yüksek rüzgâr potansiyeline sahip bölgelerde yedek sistem olarak değerlendirilebilir.

Karşılaştırma sonuçları, Senaryo 2'nin tam yenilenebilir enerji kullanımı, düşük enerji maliyeti ve minimum çevresel etki bakımından optimum çözüm olduğunu göstermektedir. Senaryo 1, sistem güvenilirliği açısından avantajlı ancak çevresel sürdürülebilirlik yönünden zayıftır. Senaryo 3 ise sade sistem yapısına rağmen hem ekonomik hem üretim kapasitesi açısından en düşük performansı göstermiştir. Çizelge 3'te bu senaryolar ait optimizasyon sonuçları verilmiştir.

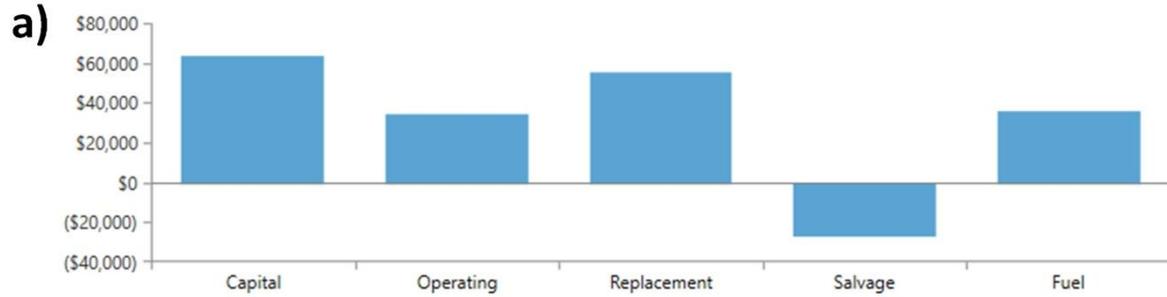
Çizelge 3. Hibrit sistemin optimizasyon sonuçları

| | Bileşenler | Senaryo 1 | Senaryo 2 | Senaryo 3 |
|---------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| Hibrit Sistem | PV Panel | 7,66 | 7,80 | - |
| | Rüzgâr Türbini(3 kw) | 5 adet | 6 adet | 6 adet |
| | Dizel Jeneratörü | 5,80 | - | - |
| | Batarya (1 kw) | 27 adet | 60 adet | - |
| | Batarya (100 kw) | - | - | 2 adet |
| | Konverter | 4,42 | 5,37 | 6,26 |
| Enerji Üretimi (kWh/yıl) | PV Panel | 11.752 | 11.957 | - |
| | Rüzgâr Türbini | 24.045 | 28.854 | 28.854 |
| | Dizel Jeneratörü | 3.932 | - | - |
| | Toplam | 39.728 | 40.810 | 28.854 |
| | Birincil Yük | 12.330 | 12.329 | 12.330 |
| Maliyet | Fazla Elektrik | 26.699 | 27.564 | 15.397 |
| | NPC | 164.990 | 152.319 | 226.373 |
| | LCOE | 0,65 | 0,60 | 0,89 |
| | İşletme Maliyeti | 4.900 | 3.486 | 5.373 |
| | İlk Yatırım | 64.222 | 80.630 | 115.878 |
| Yenilenebilir Enerji Oranı (%) | | 68,1 | 100 | 100 |

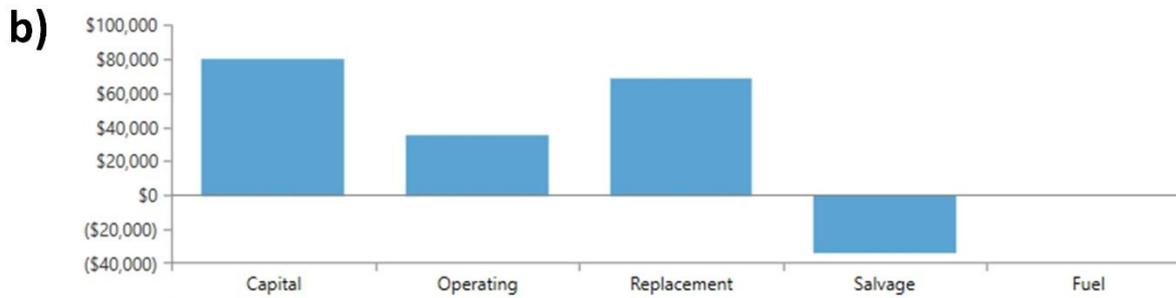
Ekonomik analiz kapsamında sistem bileşenlerine ait maliyet dağılımları Görsel 6'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Üç senaryonun maliyet bileşenleri incelendiğinde, toplam yatırım, yenileme ve işletme giderlerinin sistem konfigürasyonuna bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterdiği görülmektedir.

Senaryo 1'de en yüksek sermaye payı rüzgâr türbinleri (45.000 \$) ve PV panellerine (6.898 \$) aittir. Düşük sermaye maliyetine sahip dizel jeneratör (2.900 \$) ise yüksek yakıt giderleri (36.613 \$) nedeniyle sistemin işletme maliyetini önemli ölçüde artırmaktadır. Batarya sistemleri uzun dönemli yenileme maliyetleri (12.877 \$) ile toplam maliyet yapısında belirleyici rol oynamaktadır. Senaryo 2'de dizel jeneratörün kaldırılmasıyla yakıt maliyetleri tamamen ortadan kalkmış, böylece işletme giderleri ciddi oranda azalmıştır. Toplam yatırım yükü batarya (18.000 \$) ve rüzgâr türbinlerine (54.000 \$) dağılmış olup, PV paneller (7.018 \$) ve konvertör (1.611 \$) nispeten düşük maliyetli bileşenlerdir. Yenileme maliyetleri içinde batarya sistemi öne çıkmakla birlikte, yakıt giderinin bulunmaması sistemin uzun vadede ekonomik sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Senaryo 3'te ise yalnızca rüzgâr enerjisine dayalı yapı, yüksek sermaye (115.878 \$) ve yenileme maliyetleri (60.000 \$) ile dikkat çekmektedir. Ayrıca, işletme giderlerinin (41.128 \$) diğer senaryolardan daha yüksek olduğu görülmektedir. PV desteğinin olmaması, sistemin enerji üretim sürekliliğini zayıflatmış ve yatırım geri dönüş süresini uzatmıştır.

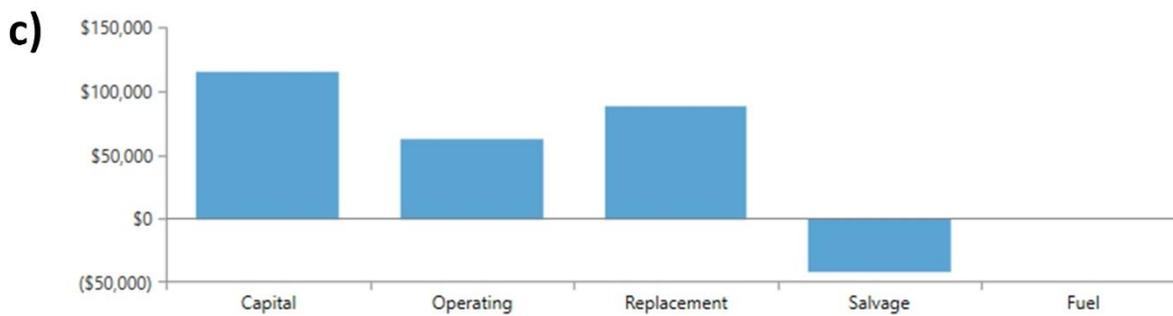
Genel olarak Görsel 6, tüm senaryolarda sermaye yükünün batarya ve rüzgâr türbinleri üzerinde yoğunlaştığını, işletme ve yakıt maliyetlerinin ise dizel jeneratörün varlığına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Bu değerlendirmeye göre, Senaryo 2 hem düşük işletme giderleri hem de yakıt bağımlılığının ortadan kalkması nedeniyle ekonomik açıdan en dengeli ve sürdürülebilir çözüm olarak öne çıkmaktadır.



| Component | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$) | Fuel (\$) | Salvage (\$) | Total (\$) |
|------------------------|--------------|------------------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| Autosize Genset | \$2,900.00 | \$9,344.79 | \$9,410.70 | \$36,613.32 | (\$1,213.71) | \$57,055.11 |
| Generic 1kWh Lead Acid | \$8,100.00 | \$12,877.10 | \$5,552.40 | \$0.00 | (\$2,748.66) | \$23,780.84 |
| Generic 3 kW | \$45,000.00 | \$33,002.35 | \$18,508.00 | \$0.00 | (\$22,905.47) | \$73,604.88 |
| Generic flat plate PV | \$6,898.29 | \$0.00 | \$1,576.26 | \$0.00 | \$0.00 | \$8,474.55 |
| System Converter | \$1,324.60 | \$1,049.75 | \$0.00 | \$0.00 | (\$299.66) | \$2,074.69 |
| System | \$64,222.89 | \$56,273.99 | \$35,047.36 | \$36,613.32 | (\$27,167.49) | \$164,990.07 |



| Component | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$) | Fuel (\$) | Salvage (\$) | Total (\$) |
|------------------------|--------------|------------------|-------------|-----------|---------------|--------------|
| Generic 1kWh Lead Acid | \$18,000.00 | \$28,615.77 | \$12,338.67 | \$0.00 | (\$6,108.13) | \$52,846.31 |
| Generic 3 kW | \$54,000.00 | \$39,602.82 | \$22,209.60 | \$0.00 | (\$27,486.56) | \$88,325.85 |
| Generic flat plate PV | \$7,018.69 | \$0.00 | \$1,603.82 | \$0.00 | \$0.00 | \$8,622.51 |
| System Converter | \$1,611.92 | \$1,277.45 | \$0.00 | \$0.00 | (\$364.66) | \$2,524.71 |
| System | \$80,630.61 | \$69,496.03 | \$36,152.08 | \$0.00 | (\$33,959.35) | \$152,319.38 |



| Component | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$) | Fuel (\$) | Salvage (\$) | Total (\$) |
|-----------------------|--------------|------------------|-------------|-----------|---------------|--------------|
| Generic 100kWh Li-Ion | \$60,000.00 | \$47,550.00 | \$41,128.88 | \$0.00 | (\$13,573.61) | \$135,105.27 |
| Generic 3 kW | \$54,000.00 | \$39,602.82 | \$22,209.60 | \$0.00 | (\$27,486.56) | \$88,325.85 |
| System Converter | \$1,878.24 | \$1,488.51 | \$0.00 | \$0.00 | (\$424.91) | \$2,941.84 |
| System | \$115,878.24 | \$88,641.32 | \$63,338.48 | \$0.00 | (\$41,485.08) | \$226,372.96 |

Görsel 6. Hibrit sistem maliyetlerinin kategori bazında özeti: a) Senaryo 1 b) Senaryo 2 c) Senaryo 3

3.2. Teknik Analiz Sonuçları

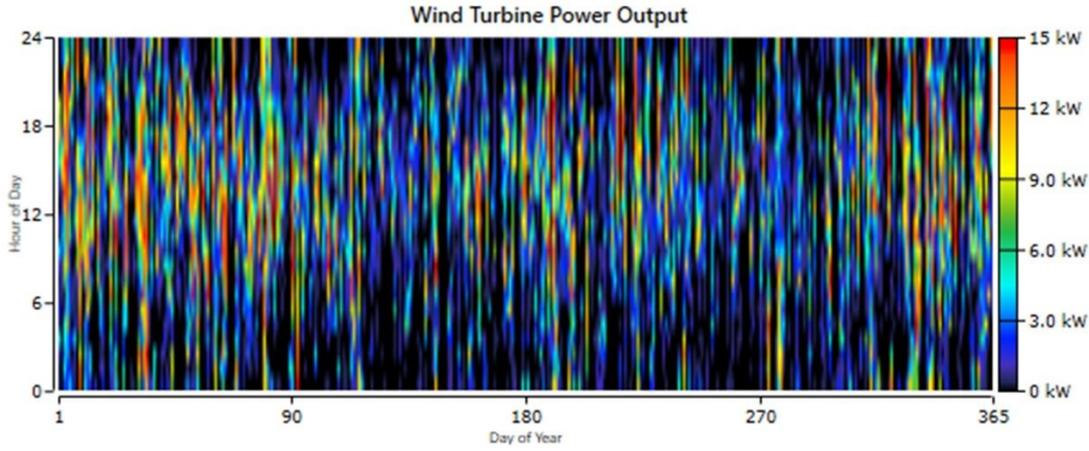
Teknik analiz sonuçları, üç farklı hibrit sistem senaryosunun yıllık üretim performanslarını ve yenilenebilir enerji katkı oranlarını ortaya koymaktadır (Görsel 7). Senaryo 1'de elektrik üretiminin %60,5'i rüzgâr türbinlerinden, %29,6'sı PV panellerden ve %9,9'u dizel jeneratörden elde edilmiştir. Dizel jeneratör özellikle düşük radyasyon ve rüzgâr hızlarının görüldüğü kış aylarında destekleyici güç kaynağı olarak devreye girmiştir. Aylık üretim grafiğinde PV ve rüzgârın birbirini tamamladığı, dizel üretimin ise yaz aylarında minimuma indiği görülmektedir. Senaryo 2'de enerjinin %70,7'si rüzgâr türbinlerinden ve %29,3'ü PV panellerden sağlanmıştır. Aylık üretim eğrisi, yaz döneminde PV'nin baskın olduğu, kış döneminde ise rüzgâr üretiminin arttığı dengeli bir üretim yapısına işaret etmektedir. Bu senaryoda batarya grubunun kapasitesi artırılarak yük sürekliliği ve enerji depolama kabiliyeti güçlendirilmiştir. Senaryo 3'te konfigürasyonunda ise yalnızca rüzgâr türbinleri üretim kaynağı olarak kullanılmıştır. Her ne kadar sistem %100 yenilenebilir enerji oranına sahip olsa da PV desteğinin olmaması nedeniyle özellikle yaz aylarında enerji üretimi azalmış, yük dengeleme görevi batarya sistemine daha fazla yük bindirmiştir. Bu durum, yüksek depolama kapasitesi gereksinimi ve artan işletme maliyetleri ile sonuçlanmıştır.



Görsel 7. Hibrit sisteminin aylık elektrik üretimi: a) Senaryo 1 b) Senaryo 2 c) Senaryo 3

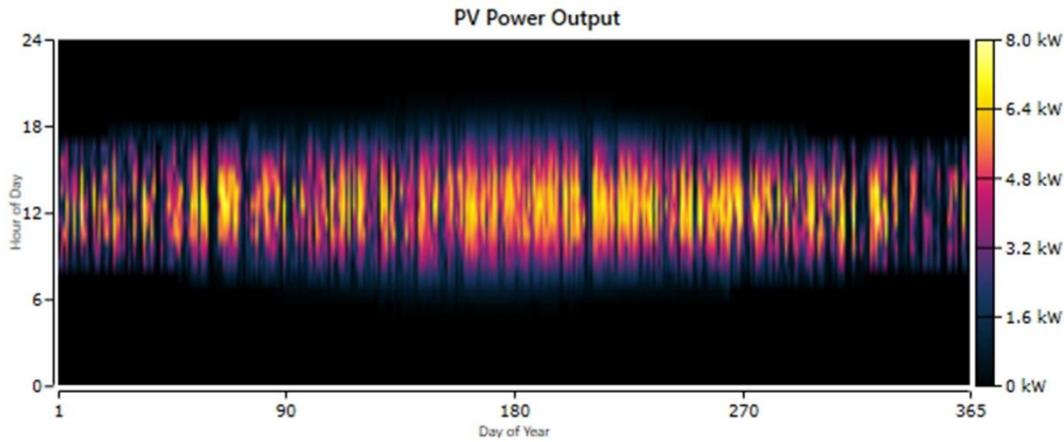
Görsel 8'de yalnızca Senaryo 1'e ait rüzgâr türbini elektrik üretim grafiği sunulmuştur. Grafikselsel olarak aynı üretim paterni gözlemlendiğinden, yalnızca bir örnek senaryonun (Senaryo 1) görsel olarak temsil edilmesi yeterli görülmüştür. Senaryo 1'de toplam kurulu güç 15 kW olup, ortalama güç çıkışı 2,74 kW ve kapasite faktörü %18,3 olarak hesaplanmıştır. Türbinler yıl boyunca 7.084 saat aktif çalışmıştır. Düşük rüzgâr hızlarının görüldüğü yaz aylarında üretim azalmış, ancak dizel jeneratör desteği sayesinde sistem kararlılığı korunmuştur. Senaryo 2'de

rüzgâr türbini kapasitesi 18 kW'a yükseltilmiştir. Ortalama güç çıkışı 3,29 kW'a yükselirken kapasite faktörü benzer şekilde %18,3 seviyesinde kalmıştır. PV panellerle birlikte çalışması, özellikle düşük ışınım dönemlerinde enerji arz sürekliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Rüzgâr penetrasyonu %234'e ulaşmış ve sistemin tüm yükünü yenilenebilir kaynaklarla karşılamasına olanak sağlamıştır. Senaryo 3'te yalnızca rüzgâr türbinlerinin aktif olduğu yapı korunmuştur; ancak PV desteğinin olmaması nedeniyle üretim profili mevsimsel dalgalanmalara daha açık hale gelmiştir.



Görsel 8. Senaryo 1'e ait rüzgâr türbini elektrik üretim grafiği

Görsel 9'da yalnızca Senaryo 1'e ait PV panel elektrik üretim grafiği sunulmuştur. Diğer senaryoda üretim paternleri benzerlik gösterdiğinden tek bir örnekle gösterilmesi yeterli görülmüştür. Senaryo 1'de PV sisteminin kurulu gücü 7,66 kW'tır. Ortalama güç çıkışı 1,34 kW, kapasite faktörü %17,5 ve yıllık aktif üretim süresi 4.384 saat olarak hesaplanmıştır. Üretim eğrisi, gündüz saatlerinde yoğunlaşmakta ve özellikle yaz aylarında güneşlenme süresinin artmasıyla belirgin şekilde yükselmektedir. Senaryo 2'de PV kapasitesi 7,80 kW'a yükseltilmiştir. Ortalama güç çıkışı 1,36 kW olarak hesaplanmıştır. PV panellerin rüzgâr türbinleriyle paralel çalışması, özellikle düşük rüzgâr hızlarının gözlemlendiği dönemlerde enerji arzının sürekliliğini güçlendirmiştir.



Görsel 9. Senaryo 1'e ait PV panel elektrik üretim grafiği

Görsel 10'da Senaryo 1'e ait dizel jeneratörün yıllık elektrik üretim ve yakıt tüketim dağılımı sunulmuştur. Jeneratör yalnızca yenilenebilir üretimin yetersiz kaldığı zaman dilimlerinde devreye girmiş ve sistemin enerji sürekliliğini sağlamıştır. Yıllık toplam 3.932

kWh elektrik üretimiyle ortalama 1,49 kW güç çıkışı elde edilmiştir. Yıl boyunca 2.630 saat aktif çalışmış, 1.780 L dizel tüketmiştir. Yakıt tüketim grafiği, jeneratörün çoğunlukla düşük yük koşullarında çalıştığını ve üretim stratejisinin sistemin yenilenebilir bileşenleriyle uyumlu olarak optimize edildiğini göstermektedir.



Görsel 10. Senaryo 1'e ait dizel jeneratör elektrik üretim grafiği

Batarya ve konvertör değerlendirildiğinde; Senaryo 1'de 27 adet kurşun-asit batarya kullanılmış ve ortalama doluluk oranı %76–98 aralığında seyretmiştir. Yıllık enerji girişi 2.390 kWh, enerji çıkışı 1.912 kWh olup bataryaların sistemde dengeleme işlevi başarıyla gerçekleşmiştir. Senaryo 2'de batarya kapasitesi 60 kWh'a yükseltilmiş, enerji çıkışı 2.379 kWh'ye ulaşmış ve sistemin özerk çalışma süresi 25,6 saat olmuştur. Bu senaryoda konvertör verimliliği artmış, enerji kayıpları azalmıştır. Senaryo 3'te ise 100 kWh Li-ion bataryalar kullanılmış, yıllık enerji çıkışı 5.128 kWh'ye yükselmiştir. Yüksek çevrim ömrü ve düşük kayıplar sayesinde sistemin enerji sürekliliği önemli ölçüde artmıştır. Üç senaryoda da konvertör verimleri %8–10 aralığında seyretmiş, sistem kararlılığının korunmasında etkili rol oynamıştır.

3.3. Çevresel Değerlendirme

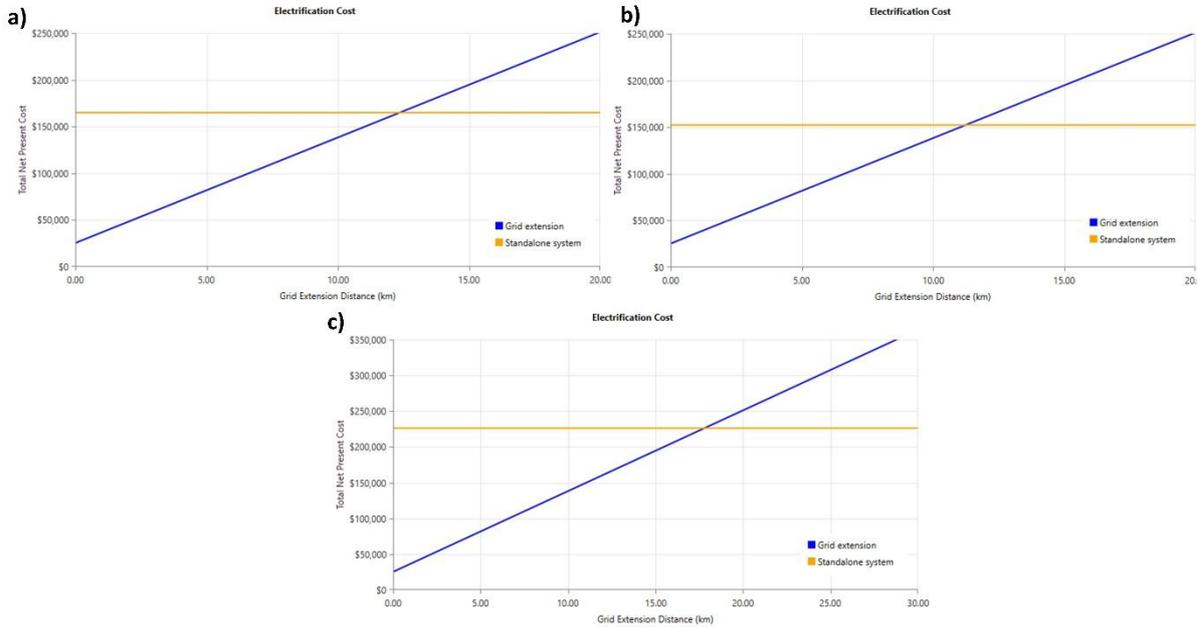
Çevresel analiz sonuçları, hibrit yenilenebilir enerji sisteminin emisyon azaltımı açısından oldukça başarılı olduğunu göstermektedir (Çizelge 4). Senaryo 1'de sistemde kullanılan dizel jeneratörün katkısı nedeniyle yıllık CO₂ emisyonu 4.660 kg, CO 29,4 kg, SO₂ 11,4 kg ve NO_x 27,6 kg olarak hesaplanmıştır. Buna karşın, Senaryo 2 ve Senaryo 3'te tamamen yenilenebilir bileşenlerle çalışılması sonucunda tüm emisyon değerleri sıfır (0 kg/yıl) seviyesine düşmüştür. Bu durum, sistemin dizel bağımlılığının ortadan kaldırılmasıyla %100 oranında karbon salımı azaltımı sağlandığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 4. Hibrit sistemin emisyon sonuçları

| Kirleticiler | Senaryo 1 | Senaryo 2 | Senaryo 3 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| CO ₂ (kg/yıl) | 4660 | 0 | 0 |
| CO (kg/yıl) | 29,4 | 0 | 0 |
| SO ₂ (kg/yıl) | 11,4 | 0 | 0 |
| NO _x (kg/yıl) | 27,6 | 0 | 0 |

3.4. Şebeke Uzaklığı Analizi

HOMER Pro'nun Grid Extension modülü kullanılarak yapılan analizde, şebeke bağlantısının ekonomik açıdan avantajlı olacağı sınır mesafesi belirlenmiştir (Görsel 11). Senaryo 1 için kırılma noktası (breakeven distance) 12,37 km, Senaryo 2 için 11,24 km ve Senaryo 3 için 17,80 km olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, ilgili mesafelerin üzerinde şebeke genişletmenin ekonomik olmaktan çıktığını ve bağımsız (off-grid) sistemlerin daha düşük NPC sunduğunu göstermektedir. Grafikte mavi eğri şebeke uzatım maliyetinin mesafe ile doğrusal olarak arttığını, turuncu çizgi ise bağımsız sistem maliyetinin sabit kaldığını temsil etmektedir. Özellikle 15 km ve üzerindeki kırsal bölgelerde, iletim hattı yatırım ve bakım maliyetlerinin artması nedeniyle yenilenebilir tabanlı sistemlerin tercih edilmesi daha ekonomik ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.



Görsel 11. Senaryolara göre şebeke mesafesi a) Senaryo 1 b) Senaryo 2 c) Senaryo 3

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Sivas ilinde yer alan kırsal bir sağlık ocağı için yenilenebilir enerji tabanlı üç farklı hibrit sistem senaryosu teknik, ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde, Senaryo 2 en düşük maliyet (NPC = 152.319 \$, LCOE = 0,60 \$/kWh) ve sıfır emisyon değeriyle optimum çözüm olduğu belirlenmiştir. Dizel destekli yapı (Senaryo 1) enerji sürekliliği açısından avantaj sağlasa da yakıt maliyetleri nedeniyle ekonomik sürdürülebilirliği zayıftır. Yalnızca rüzgâr–batarya sisteminden oluşan Senaryo 3 ise yatırım maliyetinin yüksekliği ve mevsimsel üretim dalgalanmaları nedeniyle dezavantajlıdır. Çevresel değerlendirmede, yenilenebilir sistemlerin CO₂, SO₂, NO_x ve CO salımlarını tamamen ortadan kaldırdığı, dolayısıyla karbon-nötr bir yapı sunduğu görülmüştür. Ayrıca şebeke genişletme analizine göre 11–18 km'nin üzerindeki uzaklıklarda off-grid hibrit sistemler ekonomik olarak daha avantajlıdır. Sonuç olarak, Sivas gibi orta rüzgâr potansiyeline sahip bölgelerde PV–

rüzgâr tabanlı sistemlerin kırsal sağlık tesisleri için sürdürülebilir ve güvenilir bir enerji çözümü sunduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Sayed ET, Olabi AG, Alami AH, Radwan A, Mdallal A, Rezk A, et al. Renewable energy and energy storage systems. *Energies* 2023;16:1415.
- [2] Kumar Y, Ringenberg J, Depuru SS, Devabhaktuni VK, Lee JW, Nikolaidis E, et al. Wind energy: Trends and enabling technologies. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;53:209–24.
- [3] Acosta-Silva YDJ, Torres-Pacheco I, Matsumoto Y, Toledano-Ayala M, Soto-Zarazúa GM, Zelaya-Ángel O, et al. Applications of solar and wind renewable energy in agriculture: A review. *Sci Prog* 2019;102:127–40. <https://doi.org/10.1177/0036850419832696>.
- [4] AL-Shammari ZWJ, Azizan MM, Rahman ASF. Feasibility Analysis of a Hybrid System for a Health Clinic in a Rural Area South-Eastern Iraq. In: Md Zain Z, Ahmad H, Pebrianti D, Mustafa M, Abdullah NRH, Samad R, et al., editors. *Proc. 11th Natl. Tech. Semin. Unmanned Syst. Technol.* 2019, vol. 666, Singapore: Springer Nature Singapore; 2021, p. 1193–202. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5281-6_84.
- [5] Khalil L, Bhatti KL, Awan MAI, Riaz M, Khalil K, Alwaz N. Optimization and designing of hybrid power system using HOMER pro. *Mater Today Proc* 2021;47:S110–5.
- [6] Ross-Hopley D, Ugwu, Lord, Ibrahim H. Review of Techno-Economic Analysis Studies Using HOMER Pro Software. *Eng Proc* 2024;76:94.
- [7] Yakub AO, Same NN, Owolabi AB, Nsafon BEK, Suh D, Huh J-S. Optimizing the performance of hybrid renewable energy systems to accelerate a sustainable energy transition in Nigeria: A case study of a rural healthcare centre in Kano. *Energy Strategy Rev* 2022;43:100906.
- [8] Al-Karaghoul A, Kazmerski LL. Optimization and life-cycle cost of health clinic PV system for a rural area in southern Iraq using HOMER software. *Sol Energy* 2010;84:710–4.
- [9] Ayodele TR, Moseitlhe TC, Yusuff AA, Ogunjuyigbe ASO. Off-grid hybrid renewable energy system with hydrogen storage for South African rural community health clinic. *Int J Hydrog Energy* 2021;46:19871–85.
- [10] Olatomiwa L, Longe OM, Abd’Azeez TA, Ambafi JG, Jack KE, Sadiq AA. Optimal planning and deployment of hybrid renewable energy to rural healthcare facilities in Nigeria. *Energies* 2023;16:7259.
- [11] Ani VA, Abubakar B. Feasibility analysis and simulation of integrated renewable energy system for power generation: a hypothetical study of rural health clinic. *J Energy* 2015;2015:802036.
- [12] Islam MdMM, Kowsar A, Haque AKMM, Hossain MK, Ali MdH, Rubel MHK, et al. Techno-economic Analysis of Hybrid Renewable Energy System for Healthcare Centre in Northwest Bangladesh. *Process Integr Optim Sustain* 2023;7:315–28. <https://doi.org/10.1007/s41660-022-00294-8>.
- [13] Ahmed P, Rahman MF, Haque AM, Mohammed MK, Toki GI, Ali MH, et al. Feasibility and techno-economic evaluation of hybrid photovoltaic system: a rural healthcare center in Bangladesh. *Sustainability* 2023;15:1362.
- [14] Meteoroloji Genel Müdürlüğü n.d. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SIVAS> (accessed October 15, 2025).
- [15] NASA POWER | Data Access Viewer (DAV) n.d. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed October 8, 2025).
- [16] Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli n.d. <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/> (accessed October 15, 2025).
- [17] TCMB - Consumer Prices n.d. <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/EN/TCMB+EN/Main+Menu/Statistics/Inflation+Data> (accessed April 28, 2025).

DETERMINATION OF ANTIMICROBIAL AND ANTI-MRSA ACTIVITY OF *HELLEBORUS ORIENTALIS* EXTRACTS

Feyza OLCAY

Selcuk University, Faculty of Science, Biology

feyzaolcay89@gmail.com- ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2597-6820>

Dr. Öğr. Ü. Erdoğan GÜNEŞ

Selcuk University, Faculty of Science, Biology

erdogangunes@selcuk.edu.tr - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2833-5710>

Abstract

The aim of this study was to determine the antimicrobial activity of ethanol and water extracts of *Helleborus orientalis* against standard pathogenic microorganisms and the anti-MRSA activity against clinically sourced MRSA strains. The broth microdilution method was used to assess antimicrobial activity. The tested strains were exposed to extract concentrations ranging from 12.5 to 0.006 mg/ml. The ethanol extract showed antibacterial activity against standard Gram-positive bacterial strains, including *Staphylococcus aureus* and *Sarcina lutea*, at a dose of 3.12 mg/mL, while the most effective strain was the Gram-positive *Bacillus cereus* (MIC 0.78 mg/mL). No activity was detected against Gram-negative bacteria such as *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* and *Salmonella enteritidis*. It was also observed that the ethanol extract did not exhibit antifungal activity against the yeast strain *Candida albicans*. However, It demonstrated anti-MRSA activity at a concentration of 3.12 mg/mL against all MRSA strains tested (MIC 6.25 mg/mL, except for MRSA strain 6). In contrast, the water extract showed no antibacterial and antifungal activity against any of the standard bacterial strains and yeast strains tested. Similarly, it did not show anti-MRSA activity against the MRSA strains studied. In conclusion It can be stated that the ethanol extract of the *Helleborus orientalis* is more effective than the water extract, and that the ethanol extract is active against Gram-positive bacteria than Gram-negative bacteria.

Keywords: Antibacterial, Antifungal, Anti-MRSA activity, *Helleborus orientalis*.

ENTERPRISE RESOURCE PLANNING IN TÜRKİYE: MODELS, ADOPTION RISKS, AND DOMESTIC SOLUTIONS

Prof. Serdar ULUBEYLİ

Zonguldak Bülent Ecevit University, ulubeyli@beun.edu.tr - 0000-0003-0871-7391

Asst. Prof. Volkan ARSLAN

Zonguldak Bülent Ecevit University, volkanarslan@beun.edu.tr - 0000-0002-0368-5653

Abdumelik KOÇIN

Ankara Development Agency, akocin@ankaraka.org.tr - 0009-0003-6649-4058

ABSTRACT

Enterprise Resource Planning (ERP) systems have been characterised as integrated platforms that unify organisational data and processes across finance, operations, supply chain, and human resources, thereby supporting timely and consistent decision-making. In this paper, the evolution of ERP was outlined from early inventory control and material requirement planning to contemporary architectures, and the principal deployment models were summarised. The implementation process was described as a staged endeavour that requires project governance, user training, process standardisation, and continuous improvement. Specific risks were noted, including limited top-management commitment, insufficient training, change resistance, and costly customisation, while testing, data migration, and performance monitoring were emphasised as critical controls. A second focus was placed on Türkiye where a diverse vendor ecosystem exists, including global suites and domestically developed solutions serving the local regulatory and reporting needs. The local market was discussed with reference to product families and their sectoral positioning, and localisation was considered essential for long-term effectiveness. The contribution of the paper is a concise and Türkiye-centred roadmap that connects system definitions, deployment choices, and implementation governance with practical realities of the national software landscape.

Keywords: Construction Management, Digital Transformation, ERP, Türkiye

ENTERPRISE RESOURCE PLANNING FOR CONSTRUCTION: BENEFITS, ADOPTION BARRIERS, AND A PRACTICAL ROADMAP

Prof. Serdar ULUBEYLİ

Zonguldak Bülent Ecevit University, ulubeyli@beun.edu.tr - 0000-0003-0871-7391

Asst. Prof. Volkan ARSLAN

Zonguldak Bülent Ecevit University, volkanarslan@beun.edu.tr - 0000-0002-0368-5653

Abdumelik KOÇİN

Ankara Development Agency, akocin@ankaraka.org.tr - 0009-0003-6649-4058

ABSTRACT

The construction industry has undergone a gradual digital transformation driven by the increasing complexity, competitiveness, and the demand for efficient information management. Enterprise Resource Planning (ERP) systems have emerged as a core technological framework that enables data integration and standardisation across diverse project activities. This paper analyses the role of ERP in enhancing operational coordination, cost control, and strategic decision-making within the domain of construction management. A review of the literature and sectoral evidence identifies key benefits, implementation stages, and barriers to adoption. The study emphasises that ERP implementation should be viewed as a continuous process encompassing the adaptation, active use, and improvement, all supported by the structured governance and user engagement. Adoption challenges such as high initial costs, limited training, and resistance to organisational change, remain critical, while localisation and interoperability were found to be decisive for the sectoral adaptation, particularly in countries such as Türkiye. The paper concludes that aligning technological capability with organisational readiness is essential for sustainable digital transformation. By integrating the change management, training, and local adaptation into their ERP strategies, construction firms can achieve greater transparency, productivity, and resilience across all project phases.

Keywords: Construction Management, Digital Transformation, ERP

COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL

Siti Hamidah, Lee Nian Yian, Azizi Mohd

Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Teknologi Malaysia

Abstract:

Elateriospermum tapos seed (buah perah) is the one of the rich sources of polyunsaturated fatty acids. It contains high percentage of oleic acid which is the important component to develop nervous system and also α -linolenic acid (ALA) which is the precursor of omega-3 fatty acids series to synthesize eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). However, there is less study about this valuable oilseed and exploit its potential. Therefore, this paper is to assess the comparison of physico-chemical properties and fatty composition of perah oil to palm oil and soybean oil. From the comparison, perah oil shows low peroxide value means it has good oxidative stability and also high iodine values shows that it can be used in paint industry. The study shown that perah oil is comparable to palm oil and soybean oil, so it has high potential to be exploited in the oleochemical, pharmaceutical, cosmetics and paint industries.

Keywords: α -linolenic acid, palm oil, perah oil, soybean oil

PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES

Nor Hayati Ibrahim, Shamini Nair Achudan

Department of Food Science, Faculty of Agrotechnology and Food Science, Universiti
Malaysia Terengganu, Terengganu, Malaysia

Abstract:

This study was conducted in order to determine the physical properties and stability of mayonnaise-like emulsions as affected by modified yam starches. Native yam starch was modified via pre-gelatinization and cross-linking phosphorylation procedures. The emulsions (50% oil dispersed phase) were prepared with 0.3% native potato, native yam, pre-gelatinized yam and cross-linking phosphorylation yam starches. The droplet size of surface weighted mean diameter was found to be significantly ($p < 0.05$) lower in the sample with cross-linking phosphorylation yam starch as compared to other samples. Moreover, the viscosity of the sample with pregelatinized yam starch was observed to be higher than that of other samples. The phase separation stability was low in the freshly prepared and stored (45 days, 5°C) emulsions containing native yam starch. This study thus generally suggested that modified yam starches were more suitable (i.e. better physical properties and stability) to be used as stabilizers in a similar system i.e. light mayonnaises, rather than a native yam starch.

Keywords: Oil-in-water emulsions, low-fat mayonnaises, modified yam starches, droplet size distribution, viscosity.

OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.) VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

V.Bharathi, Jamila Patterson, R.Rajendiran

Suganthi Devadason Marine Research Institute, Tuticorin, TamilNadu, India

Abstract:

Optimization of extraction of phenolic compounds from *Avicennia marina* using response surface methodology was carried out during the present study. Five levels, three factors rotatable design (CCRD) was utilized to examine the optimum combination of extraction variables based on the TPC of *Avicennia marina* leaves. The best combination of response function was 78.41 °C, drying temperature; 26.18°C; extraction temperature and 36.53 minutes of extraction time. However, the procedure can be promptly extended to the study of several others pharmaceutical processes like purification of bioactive substances, drying of extracts and development of the pharmaceutical dosage forms for the benefit of consumers.

Keywords: *Avicennia marina*, Central Composite Rotatable Design (CCRD), Response Surface Methodology, Total Phenolic contents (TPC)

CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION

Abdelatif S. H. El-Jasser

Department of Nutrition, Riyadh 11488, P.O Box 35047, Saudi Arabia

Abstract:

The aim of the present study was to investigate the chemical and biological properties of local cowpea seed protein cultivated in Gizan region. The results showed that the cowpea and its products contain high level of protein (22.9-77.6%), high carbohydrates (9.4-64.3%) and low fats (0.1-0.3%). The trypsin and chymotrypsin activities were found to be 32.2 and 15.2 units, respectively. These activities were not affected in both defatted and protein concentrate whereas they were significantly reduced in isolated protein and cooked samples. The phytate content of cooked and concentrated cowpea samples varied from 0.25% -0.32%, respectively. Tannin content was found to be 0.4% and 0.23% for cooked and raw samples, respectively. The in vitro protein digestibility was very high in cowpea seeds (75.04-78.76%). The biological evaluation using rats showed that the group fed with animal feed containing casein gain more weight than those fed with that containing cowpea. However, the group fed with cooked cowpea gain more weight than those fed with uncooked cowpea. On the other hand, in vivo digestion showed high value (98.33%) among the group consumed casein compared to other groups those consumed cowpea contains feed. This could be attributed to low antinutritional factors in casein contains feed compared to those of cowpea contains feed because cooking significantly increased the digestion rate (80.8% to 83.5%) of cowpea contains feed. Furthermore, the biological evaluation was high (91.67%) of casein containing feed compared to that of cowpea containing feed (80.83%-87.5%). The net protein utilization (NPU) was higher (89.67%) in the group fed with casein containing feed than that of cowpea containing feed (56.33%-69.67%).

Keywords: Biological properties, Cowpea seed protein, Antinutritional factors, In vitro digestibility

INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN

A. Molee, N. Duanghaklang, P. Mernkrathoke

University of Technology, Nakhon Ratchasima Thailand

Abstract:

The objective was to determine the single gene and interaction effect of composite genotype of beta-kappa casein and DGAT1 gene on milk yield (MY) and milk composition, content of milk fat (%FAT), milk protein (%PRO), solid not fat (%SNF), and total solid (%TS) in crossbred Holstein cows. Two hundred and thirty- one cows were genotyped with PCR-RFLP for DGAT1 and composite genotype data of beta-kappa casein from previous work were used. Two model, (1), and (2), was used to estimate single gene effect, and interaction effect on the traits, respectively. The significance of interaction effects on all traits were detected. Most traits have consistent pattern of significant when model (1), and (2) were compared, except the effect of composite genotype of betakappa casein on %FAT, and the effect of DGAT1 on MY, which the significant difference was detected in only model (1).The results suggested that when the optimum of all traits was necessary, interaction effect should be concerned.

Keywords: composite genotype of beta-kappa casein, DGAT1gene, Milk composition, Milk yield

REVEA LING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NACL: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE

Raza Hussain, Claire Gaiani, Joël Scher

University of Technology, Nakhon Ratchasima Thailand

Abstract:

Dispersions of casein micelles (CM) were studied at a constant protein concentration of 5 wt % in high NaCl environment ranging from 0% to 12% by Dynamic light scattering (DLS) and Fourier Transform Infrared (FTIR). The rehydration profiles obtained were interpreted in term of wetting, swelling and dispersion stages by using a turbidity method. Two behaviours were observed depending on the salt concentration. The first behaviour (low salt concentration) presents a typical rehydration profile with a significant change between 3 and 6% NaCl indicating quick wetting, swelling and long dispersion stage. On the opposite, the dispersion stage of the second behaviour (high salt concentration) was significantly shortened indicating a strong modification of the protein backbone. A salt increase result to a destabilization of the micelle and the formation of mini-micelles more or less aggregated indicating an average micelles size ranging from 100 to 200 nm. For the first time, the estimations of secondary structural elements (irregular, β -sheet, α -helix and turn) by the Amide III assignments were correlated with results from Amide I.

Keywords: Casein, DLS, FTIR, Ionic environment.

PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY

Pattama Ratana-Arporn, Pongtep Wilaipun

Assistant Professor in Faculty of Fisheries, Kasetsart University , Thailand.

Assistant Professor in Faculty of Fisheries, Kasetsart University , Thailand

Abstract:

White scar oyster (*Crassostrea belcheri*) is often eaten raw and being the leading vehicle for foodborne disease, especially *Salmonella Weltevreden* which exposed the prominent and most resistant to radiation. Gamma irradiation at a low dose of 1 kGy was enough to eliminate *S. Weltevreden* contaminated in oyster meat at a level up to 5 log CFU/g while it still retain the raw characteristics and equivalent sensory quality as the non-irradiated one. Process development of ready-to-eat chilled oyster meat was conducted by shucking the meat, individually packed in plastic bags, subjected to 1 kGy gamma radiation at chilled condition and then stored in 4oC refrigerated temperature. Microbiological determination showed the absence of *S. Weltevreden* (5 log CFU/g initial inoculated) along the whole storage time of 30 days. Sensory evaluation indicated the decreasing in sensory scores along storage time which determining the product shelf life to be 18 days compared to 15 days of nonirradiated one. The most advantage of developed process was to provide the safe raw oyster to consumers and in addition sensory quality retained and 3-day extension shelf life also exist.

Keywords: decontamination, food safety, irradiation, oyster, *Salmonella Weltevreden*

USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS

Phd. Reza Sigari Tabrizi, Dr. Yeap Peik Foong, Nazli Ebrahimi
Department of Management, University of Malaya, Malaysia

ABSTRACT

This study employs Interpretive Structural Modeling (ISM) to analyze and identify the complex interrelationships among various criteria critical to effective knowledge management within Malaysian organizations. Knowledge management is increasingly recognized as a strategic asset, yet organizations face challenges in prioritizing and understanding how different factors influence one another. The research begins by reviewing existing literature to compile a comprehensive list of criteria, including organizational culture, technology infrastructure, leadership support, and employee engagement. Using expert input and ISM methodology, the study constructs a hierarchical model that visually represents the dependencies and driving forces among these criteria. Findings reveal that leadership commitment and organizational culture serve as foundational drivers that significantly impact other elements such as technology adoption and knowledge sharing practices. The model also highlights feedback loops and mutual influences that complicate straightforward management approaches. By clarifying these relationships, the research provides managers with a structured framework to develop targeted strategies for enhancing knowledge management effectiveness. The study contributes to both theoretical understanding and practical application, offering insights relevant to organizations in Malaysia and comparable emerging economies. Future research directions include validating the model across different sectors and integrating quantitative data for more robust analysis.

Keywords: Knowledge management, Interpretive Structural Modeling, organizational culture, leadership, Malaysia

EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET

Ioan Popa, Radu Lupu, Cristiana Tudor

Department of Finance, Bucharest University of Economic Studies, Romania

ABSTRACT

This paper investigates the role of market beta in asset pricing within the Romanian stock market, aiming to understand how systematic risk influences expected returns in an emerging market context. Market beta, a measure of an asset's sensitivity to overall market movements, is a fundamental concept in financial theory, yet its empirical validity can vary across markets. The study uses historical stock price data and market indices from the Bucharest Stock Exchange over a ten-year period. Employing regression analysis and the Capital Asset Pricing Model (CAPM), the research tests the relationship between beta values and realized returns for a diverse set of equities. Results indicate a positive but nonlinear association, suggesting that while higher beta stocks generally yield higher returns, the relationship is influenced by market volatility and investor behavior specific to Romania. The paper also explores sectoral differences and the impact of macroeconomic factors on beta's predictive power. These findings contribute to a nuanced understanding of risk-return dynamics in transitional economies and offer practical implications for portfolio management and risk assessment. The study recommends further investigation into alternative risk measures and the integration of behavioral finance perspectives to enhance asset pricing models in emerging markets.

Keywords: Market beta, asset pricing, Romanian stock market, CAPM, systematic risk

ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira, Filipa Vieira

Department of Finance, Bucharest University of Economic Studies, Romania

ABSTRACT

This research evaluates an offshore wind power project through a comprehensive assessment encompassing economic viability, strategic alignment, and environmental impact. As renewable energy gains prominence in global energy transitions, offshore wind offers significant potential but also presents unique challenges. The study begins by analyzing project costs, expected revenues, and financing structures to determine economic feasibility. Strategic assessment considers alignment with national energy policies, market demand, and stakeholder interests. Environmental evaluation focuses on potential impacts on marine ecosystems, biodiversity, and local communities, incorporating environmental impact assessments and stakeholder consultations. The methodology integrates cost-benefit analysis, SWOT analysis, and ecological risk assessment to provide a holistic view. Findings demonstrate that while the project promises substantial long-term economic and environmental benefits, initial capital costs and ecological concerns require careful management. The research highlights the importance of adaptive strategies to mitigate environmental risks and optimize stakeholder engagement. The study offers valuable insights for policymakers, investors, and environmental planners aiming to balance sustainable development with energy needs. Future work is suggested to monitor project implementation and assess cumulative environmental effects over time.

Keywords: Offshore wind power, economic assessment, environmental impact, renewable energy, strategic planning

APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES

Dr. Omid Jadidi, Assis. Prof. Dr. Fatemeh Firouzi, Enzo Bagliery
Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Iran

ABSTRACT

Supplier selection is a critical decision-making process in supply chain management, directly affecting operational efficiency and competitiveness. This study applies the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method to address supplier selection challenges by evaluating multiple criteria simultaneously. The research identifies key criteria such as cost, quality, delivery reliability, and sustainability performance through literature review and expert consultations. Using a case study from the manufacturing sector, the TOPSIS approach ranks potential suppliers based on their closeness to the ideal solution, enabling decision-makers to identify the most suitable partner. The methodology incorporates weighting schemes to reflect organizational priorities and sensitivity analysis to test robustness. Results demonstrate that TOPSIS provides a transparent and systematic framework for complex supplier evaluation, improving decision quality and stakeholder confidence. The study also discusses practical implementation considerations and potential integration with other multi-criteria decision-making tools. By enhancing supplier selection processes, organizations can achieve cost savings, quality improvements, and stronger supply chain resilience. The paper concludes by recommending further research on dynamic supplier evaluation models incorporating real-time data and risk factors.

Keywords: Supplier selection, TOPSIS, multi-criteria decision making, supply chain management

CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY

Ajay Gupta, Arvind Bhardwaj, Arun Kanda

Department of Operations Management, Indian Institute of Management, Ahmedabad, India

ABSTRACT

The Theory of Constraints (TOC) is an emerging management philosophy that focuses on identifying and addressing the most critical limiting factor (constraint) that impedes organizational performance. This paper outlines the core principles of TOC and examines its application across various industries to improve process flow, productivity, and profitability. The study begins by explaining the fundamental concepts, including the five focusing steps and the importance of continuous improvement. It explores how TOC integrates with other management approaches such as Lean and Six Sigma to create synergistic effects. Through case studies in manufacturing, healthcare, and service sectors, the research illustrates practical benefits such as reduced lead times, inventory optimization, and enhanced throughput. The paper also discusses challenges in implementing TOC, including organizational resistance and the need for cultural change. Furthermore, it highlights recent developments in TOC theory and tools, such as the Thinking Processes and Critical Chain Project Management. The study concludes that TOC offers a powerful framework for addressing complex operational problems and driving sustainable competitive advantage. It encourages further empirical research to validate TOC's effectiveness in diverse contexts and to explore its integration with digital transformation initiatives.

Keywords: Theory of Constraints, operational management, process improvement, continuous improvement

FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION

Dahir A. Ga'al, Wardah Zainal Abidin

Department of Information Systems, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

ABSTRACT

Effective policy management is essential for ensuring compliance, governance, and strategic alignment within enterprises. This paper proposes a comprehensive framework for managing enterprise policies, addressing challenges in policy creation, dissemination, enforcement, and monitoring. The framework integrates technological solutions, organizational processes, and stakeholder involvement to facilitate coherent policy administration. It emphasizes the importance of clear policy hierarchies, version control, and audit trails to maintain transparency and accountability. The study includes a review of existing policy management tools and identifies gaps related to scalability, adaptability, and user engagement. Using qualitative data from industry experts and case studies, the research validates the framework's applicability across different sectors. The findings suggest that adopting such a framework can reduce policy conflicts, improve regulatory compliance, and enhance organizational agility. The paper concludes with recommendations for implementing the framework, highlighting the role of leadership commitment and continuous evaluation. Future research directions include developing automated policy management systems using artificial intelligence and machine learning to further optimize enterprise governance.

Keywords: Policy management, enterprise governance, compliance, organizational processes

OPTIMIZING CUSTOMER RELATIONSHIPS THROUGH SOCIAL NETWORK MANAGEMENT

Assis. Prof. Dr. Srisawas Siriporn, Assis. Prof. Dr. Rotchanakitumnuai Siriluck
Department of Marketing, Chulalongkorn University, Thailand

ABSTRACT

In the digital age, managing customer relationships through social networks has become a strategic imperative for businesses seeking competitive advantage. This study explores strategies for optimizing customer engagement and loyalty by leveraging social network management tools and techniques. It examines how companies can analyze social media data to understand customer preferences, sentiment, and behavior patterns. The research employs case studies from various industries to illustrate successful social network campaigns and community-building efforts. Key factors identified include timely communication, personalized content, and proactive issue resolution. The study also addresses challenges such as managing negative feedback, privacy concerns, and resource allocation. By integrating social network management into broader customer relationship management (CRM) systems, organizations can enhance customer satisfaction and retention. The paper offers practical recommendations for marketing professionals and highlights emerging trends such as influencer partnerships and AI-driven analytics. It concludes that effective social network management is vital for fostering strong, long-term customer relationships in an increasingly connected world.

Keywords: Customer relationship management, social networks, customer engagement, digital marketing

STRATEGIES FOR DETERMINING THE IDEAL ASSET STRUCTURE FOR A COMMERCIAL BANK

Dr. Svetlana Saksonova

Department of Finance, Riga Technical University, Latvia

ABSTRACT

This research addresses the critical issue of determining the ideal asset structure for commercial banks to optimize profitability while managing risks. The study reviews theoretical models and empirical evidence related to asset allocation, liquidity management, and capital adequacy. It employs quantitative methods, including portfolio optimization techniques and risk-return analysis, applied to data from Latvian commercial banks. The findings reveal that a balanced asset structure incorporating a mix of loans, securities, and liquid assets contributes to financial stability and competitive performance. The study also considers external factors such as regulatory requirements, market conditions, and economic cycles. Strategic recommendations include dynamic asset rebalancing, diversification, and stress testing to adapt to changing environments. The paper highlights the importance of aligning asset management strategies with overall bank objectives and stakeholder expectations. It concludes that effective asset structure management is essential for sustaining bank growth and resilience in volatile markets. Future research is encouraged to explore the impact of fintech innovations and digital banking trends on asset allocation strategies.

Keywords: Asset structure, commercial banking, portfolio optimization, financial risk management

OPTIMIZING OF GAS CONSUMPTION IN GAS-BURNER SPACE HEATER

Saead Negahdari, Davood Jalali Vahid

Department of Mechanical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Abstract:

Nowadays, the importance of energy saving is clearance to everyone. By attention to increasing price of fuels and also the problems of environment pollutions, there are the most efforts for using fuels littler and more optimum in everywhere. This essay studies optimizing of gas consumption in gas-burner space heaters. In oven of each gas-burner space heaters there is two snags to prevent the hot air (the result of combustion of natural gas) to go out of oven of the gas-burner space heaters directly without delivering its heat to the space of favorite environment like a room. These snags cause a excess circulating that helps hot air deliver its heat to the space of favorite environment. It means the exhaust air temperature will be decreased then when there are no snags. This is the aim of this essay to use maximum potential energy of the natural gas to make heat. In this study, by the help of a finite volume software (FLUENT) consumption of the gas-burner space heaters is simulated and optimized. At the end of this writing, by comparing the results of software and experimental results, it will be proved the authenticity of this method.

Keywords: FLUENT, Heat transfer, Oven of Gas-burner spaceheaters, Simulation.

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITION METER

Geun-Mo Kim, Young-Jae Ryoo

Department of Control System Engineering, Mokpo Nat'l University , Korea

Abstract:

In this paper, an automatic guided mobile robot using a new magnetic position meter is described. In order to measure the lateral position of a mobile robot, a new magnetic position meter is developed. The magnetic position meter can detect the position of a magnetic wire on the center of road. A mobile robot is designed with a sensing system, a steering system and a driving system. The designed mobile robot is tested to verify the performance of automatic guidance.

Keywords: Autonomous vehicle, magnetic position meter, steering, magnet.

A SUPERVISORY SCHEME FOR STEP-WISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS

Fotis N. Koumboulis, Maria P. Tzamtzi

Department of Automation, Halkis Institute of Technology, 34400, Psahna, Evia, Greece.

Abstract:

A supervisory scheme is proposed that implements Stepwise Safe Switching Logic. The functionality of the supervisory scheme is organized in the following eight functional units: Step- Wise Safe Switching unit, Common controllers design unit, Experimentation unit, Simulation unit, Identification unit, Trajectory cruise unit, Operating points unit and Expert system unit. The supervisory scheme orchestrates both the off-line preparative actions, as well as the on-line actions that implement the Stepwise Safe Switching Logic. The proposed scheme is a generic tool, that may be easily applied for a variety of industrial control processes and may be implemented as an automation software system, with the use of a high level programming environment, like Matlab.

Keywords: Supervisory systems, safe switching, nonlinear systems.

GEOMETRY DESIGN SUPPORTED BY MINIMIZING AND VISUALIZING COLLISION IN DYNAMIC PACKING

Johan Segeborn, Johan S. Carlson, Robert Bohlin, Rikard Söderberg

Department of Product and production development at Chalmers University of technology

Abstract:

This paper presents a method to support dynamic packing in cases when no collision-free path can be found. The method, which is primarily based on path planning and shrinking of geometries, suggests a minimal geometry design change that results in a collision-free assembly path. A supplementing approach to optimize geometry design change with respect to redesign cost is described. Supporting this dynamic packing method, a new method to shrink geometry based on vertex translation, interweaved with retriangulation, is suggested. The shrinking method requires neither tetrahedralization nor calculation of medial axis and it preserves the topology of the geometry, i.e. holes are neither lost nor introduced. The proposed methods are successfully applied on industrial geometries.

Keywords: Dynamic packing, path planning, shrinking.

FLEXIBLE HEURISTICS FOR PROJECT SCHEDULING WITH LIMITED RESOURCES

Miloš Šeda

Institute of Automation and Computer Science, Faculty of Mechanical Engineering, Brno
University of Technology, Czech Republic

Abstract:

Resource-constrained project scheduling is an NPhard optimisation problem. There are many different heuristic strategies how to shift activities in time when resource requirements exceed their available amounts. These strategies are frequently based on priorities of activities. In this paper, we assume that a suitable heuristic has been chosen to decide which activities should be performed immediately and which should be postponed and investigate the resource-constrained project scheduling problem (RCPSP) from the implementation point of view. We propose an efficient routine that, instead of shifting the activities, extends their duration. It makes it possible to break down their duration into active and sleeping subintervals. Then we can apply the classical Critical Path Method that needs only polynomial running time. This algorithm can simply be adapted for multiproject scheduling with limited resources.

Keywords: Project management, resource-constrained scheduling, NP-hard problem, CPM, heuristic method.

INTELLIGENT ABS FUZZY CONTROLLER FOR DIVERSE ROADSURFACES

Roozbeh Keshmiri, Alireza Mohamad Shahri

Electronic Research Center, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran,
16844, Iran

Abstract:

Fuzzy controllers are potential candidates for the control of nonlinear, time variant and also complicated systems. Anti lock brake system (ABS) which is a nonlinear system, may not be easily controlled by classical control methods. An intelligent Fuzzy control method is very useful for this kind of nonlinear system. A typical antilock brake system (ABS) by sensing the wheel lockup, releases the brakes for a short period of time, and then reapplies again the brakes when the wheel spins up. In this paper, an intelligent fuzzy ABS controller is designed to adjust slipping performance for variety of roads. There are two major sections in the proposing control system. First section consists of two Fuzzy-Logic Controllers (FLC) providing optimal brake torque for both front and rear wheels. Second section which is also a FLC provides required amount of slip and torque references properties for different kind of roads. Simulation results of our proposed intelligent ABS for three different kinds of road show more reliable and better performance in compare with two other break systems.

Keywords: Fuzzy Logic Control, ABS, Anti lock BrakingSystem.

BIOCONTROL POTENTIAL OF ESSENTIAL OIL FORMULATIONS AGAINST TILAPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS) AND ASSOCIATED STORAGE PESTS

Dr. Kwame O. Mensah

Department of Agricultural Sciences, University of Accra, Ghana

Abstract

The rampant infestation of storage pests in aquaculture products poses significant economic and environmental challenges globally. This study investigates the biocontrol potential of essential oil formulations as natural and eco-friendly alternatives to chemical pesticides targeting Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and associated storage pests. Various essential oils were extracted and formulated, then applied in controlled storage conditions to assess their efficacy in pest repellence and mortality rates. The results demonstrated significant inhibitory effects on pest populations, alongside maintaining the quality and shelf life of the stored fish products. Additionally, the study explored the chemical compositions of the oils and their modes of action, highlighting their potential for sustainable storage pest management in aquaculture. This research advocates for the integration of phytochemical-based biocontrol agents in standard storage protocols to improve fish product preservation while minimizing environmental hazards from synthetic chemicals.

Keywords: biocontrol, essential oils, Tilapia, storage pests, aquaculture

IMMUNOGENIC RESPONSE OF OUTER MEMBRANE PROTEINS OF VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS ON GROUPER (EPINEPHELUS FUSCOGUTTATUS)

Liang Wei Chen

Faculty of Marine Biology, Shanghai Ocean University, China

Abstract

Vibrio parahaemolyticus is a pathogenic bacterium causing significant morbidity in marine aquaculture, notably affecting grouper species (*Epinephelus fuscoguttatus*). This study characterizes the immunogenic properties of outer membrane proteins (OMPs) of *V. parahaemolyticus*, aiming to evaluate their potential as vaccine candidates to enhance grouper immune defenses. The OMPs were isolated, purified, and subjected to immunological assays in controlled experimental infections. Results showed that these proteins elicit robust immunogenic responses, inducing specific antibody production and increased survival rates among challenged fish. Furthermore, the structural and antigenic analyses support the feasibility of developing OMP-based immunoprophylactic strategies in grouper aquaculture. These findings contribute to improved disease management and sustainable aquaculture practices.

Keywords: *Vibrio parahaemolyticus*, outer membrane proteins, immunogenicity, grouper, aquaculture vaccines

CHARACTERIZATION AND ENHANCED PRODUCTION OF CELLULASE ENZYMES FROM ENDOPHYTIC FUNGI ISOLATED IN TROPICAL FORESTS

Maria Fernanda López

Diego Rafael Oliveira

Department of Biotechnology, University of São Paulo, Brazil

Abstract

Cellulase enzymes are crucial biocatalysts extensively utilized in industrial applications such as biofuel production and waste management. This research focuses on the isolation and characterization of cellulase-producing endophytic fungi from tropical forest ecosystems, followed by the optimization of enzyme production through fermentation process refinements. Molecular and biochemical analyses confirmed the strains' identities and their cellulolytic capabilities under varied environmental conditions. Enhanced production was achieved using optimized substrates and culture parameters, resulting in increased enzyme yield and activity. The study provides insights into exploiting natural fungal biodiversity for sustainable biotechnology applications, promoting efficient cellulose degradation and valorization of lignocellulosic biomass.

Keywords: cellulase, endophytic fungi, tropical forests, enzyme production, biotechnology

SOMATIC EMBRYOGENESIS FROM LEAF AND NODE EXPLANTS OF BLUE DAISY (FELICIA AMELLOIDES)

Anoma Perera Wijesinghe

Department of Microbiology, University of Karachi, Pakistan

Abstract

Somatic embryogenesis is a pivotal technique for the clonal propagation and genetic improvement of ornamental plants. This study investigates the induction of somatic embryos from leaf and node explants of Blue Daisy (*Felicia amelloides*), an economically valuable ornamental species. Various culture media compositions and plant growth regulator concentrations were tested to optimize embryogenic response and developmental stages. Successful somatic embryo formation was observed, with significant differences between explant types regarding induction frequency and embryo maturation. The regenerated plants exhibited normal morphology and vigorous growth. These findings have important implications for large-scale propagation and conservation of *Felicia amelloides* through tissue culture techniques.

Keywords: somatic embryogenesis, *Felicia amelloides*, plant tissue culture, clonal propagation, ornamental plants

STRUCTURAL INSIGHTS INTO THE RESISTANCE OF CAMPYLOBACTER JEJUNI CHAPERONE PROTEINS TO ANTIMICROBIAL PEPTIDES

Dr. Sadia Rahman

Department of Microbiology, University of Karachi, Pakistan

Abstract

Campylobacter jejuni, a leading cause of bacterial gastroenteritis, exhibits resistance to host antimicrobial peptides (AMPs), complicating infection control. This study elucidates structural mechanisms underlying the resistance of *C. jejuni* chaperone proteins to AMPs by integrating crystallography and molecular dynamics simulations. Findings reveal conformational adaptations and binding pockets that neutralize antimicrobial activity, offering a molecular basis for pathogen survival in hostile environments. Such knowledge aids in designing novel therapeutic agents targeting these protective chaperones, ultimately contributing to effective treatment strategies against Campylobacter infections.

Keywords: Campylobacter jejuni, chaperone proteins, antimicrobial peptides, structural biology, bacterial resistance

MICROBIAL COMMUNITY STRUCTURE OF AMMONIA-OXIDIZING ARCHAEA AND BACTERIA IN AEROBIC WASTEWATER BIOREACTORS

Supaporn Kittipong

Nattapol Jirasaku

Department of Environmental Science, Kasetsart University, Thailand

Abstract

Effective nitrogen removal in wastewater treatment heavily relies on ammonia-oxidizing microorganisms. This study characterizes the community structure of ammonia-oxidizing archaea (AOA) and bacteria (AOB) within aerobic bioreactors using high-throughput sequencing and quantitative PCR methods. Community composition dynamics under varying operational conditions were analyzed, revealing dominant taxa associated with process efficiency. The balance between AOA and AOB populations directly influences nitrification performance, with implications for optimizing bioreactor design and operation. This research enhances the understanding of microbial ecology in engineered ecosystems, offering pathways to improve wastewater nitrogen removal.

Keywords: ammonia-oxidizing archaea, ammonia-oxidizing bacteria, wastewater treatment, microbial community, nitrification

SYNTHETIC ELASTIN-BASED COATINGS AS A BIOMIMETIC PLATFORM FOR ENHANCED CELL ADHESION

Assoc. Prof. Dr. Giulia Romano

Department of Environmental Science, Kasetsart University, Thailand

Abstract

Development of biomimetic surfaces is critical for advancing tissue engineering and implant integration. This study investigates synthetic elastin-like polymer coatings as platforms to enhance cell adhesion, proliferation, and differentiation. Characterization of coating physicochemical properties and their influence on cellular responses using fibroblasts and stem cells revealed significant improvements over traditional substrates. The elastin-mimetic design offers flexibility and biocompatibility, fostering favorable cell-material interactions. These findings support the use of elastin-based coatings in biomedical device fabrication and regenerative medicine applications.

Keywords: elastin-based coatings, biomimetics, cell adhesion, tissue engineering, biomedical materials

NEW RECORD OF PARASITE-HOST INTERACTIONS OF DIPLOSTOMUM SPATHACEUM IN ZARAFSHAN RIVER (CENTRAL UZBEKISTAN)

Dr. Niloufar Esmailova

Department of Zoology, Tashkent State University, Uzbekistan

Abstract

Diplostomum spathaceum is a parasitic trematode affecting fish species with implications for aquaculture and freshwater ecosystems. This study documents previously unreported host-parasite interactions within the Zarafshan River ecosystem in Central Uzbekistan. Through parasitological surveys and molecular identification, new fish host species were identified, expanding knowledge of the parasite's distribution and life cycle. The ecological significance of these findings is discussed concerning fish health and management strategies in the region. This research enhances understanding of biodiversity and host dynamics, contributing to aquatic parasitology and conservation biology.

Keywords: *Diplostomum spathaceum*, parasite-host interaction, fish parasites, Zarafshan River, freshwater ecology

ADVANCES IN QUANTUM ALGORITHMS: SECURITY CHALLENGES AND ETHICAL IMPLICATIONS IN THE QUANTUM COMPUTING ERA

John Smith

Department of Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, USA

Fatima Al-Harbi

Department of Electrical Engineering, King Abdulaziz University, Saudi Arabia

Omar Khalid

Faculty of Engineering, University of Karachi, Pakistan

ABSTRACT

Quantum computing represents a paradigm shift in computational capabilities, promising unprecedented processing power through quantum algorithms. This paper provides a comprehensive overview of recent advances in quantum algorithms, emphasizing their potential to solve complex problems faster than classical counterparts. However, these advances bring significant security challenges, particularly in cryptography, where quantum algorithms threaten to break widely used encryption schemes such as RSA and ECC. The paper explores the implications of quantum computing on data security, privacy, and the integrity of digital communications. Furthermore, it discusses ethical considerations related to the deployment of quantum technologies, including issues of equitable access, potential misuse, and the need for robust regulatory frameworks. The authors analyze current efforts in developing post-quantum cryptography to safeguard information in the quantum era. Additionally, the paper highlights the interdisciplinary nature of these challenges, calling for collaboration between computer scientists, ethicists, policymakers, and industry stakeholders. Case studies illustrate both the opportunities and risks associated with quantum advancements. Ultimately, the paper argues for proactive measures to address security vulnerabilities and ethical dilemmas to ensure that quantum computing benefits society while minimizing harm.

Keywords: Quantum algorithms, cybersecurity, cryptography, ethical implications, quantum computing

ECO-FRIENDLY ADSORPTION TECHNIQUES FOR WATER POLLUTANT REMOVAL USING NANOCOMPOSITES: SYNTHESIS AND PERFORMANCE OPTIMIZATION

Amira Benali

Department of Chemical Engineering, University of Casablanca, Morocco

Dr. Youssef El Fassi

Institute of Environmental Sciences, Hassan II University, Morocco

ABSTRACT

Water pollution poses a critical threat to environmental sustainability and public health worldwide. This study investigates eco-friendly adsorption techniques employing nanocomposites for the efficient removal of water pollutants. The research focuses on the synthesis of novel nanocomposite materials combining metal oxides and carbon-based substrates, aiming to enhance adsorption capacity and selectivity. Various synthesis methods, including sol-gel and hydrothermal techniques, were optimized to produce nanomaterials with high surface area and stability. Performance evaluations were conducted using contaminated water samples with heavy metals, dyes, and organic pollutants. Results demonstrate significant improvements in adsorption efficiency compared to conventional adsorbents, with rapid kinetics and excellent reusability. The study also examines the mechanisms underlying pollutant capture, supported by characterization techniques such as SEM, XRD, and FTIR. Environmental impact assessments confirm the sustainability of these nanocomposites, highlighting their potential for large-scale application in wastewater treatment. Challenges related to scalability, cost, and regeneration are discussed, alongside recommendations for future research. This paper contributes to advancing green technologies for water purification, aligning with global efforts to achieve clean water and sanitation goals.

Keywords: Water pollution, nanocomposites, adsorption, eco-friendly technology, wastewater treatment

ENHANCING GREEN HYDROGEN PRODUCTION THROUGH BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES

Nadia Bouziane

Renewable Energy Department, University of Algiers, Algeria

Karim El Mansouri

Department of Chemical Engineering, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

Green hydrogen is emerging as a vital clean energy carrier essential for decarbonizing various sectors. This paper explores biomass gasification technologies as a sustainable pathway to enhance green hydrogen production. The study reviews different gasification methods, including fixed-bed, fluidized-bed, and entrained-flow reactors, with a focus on their efficiency, feedstock flexibility, and environmental impact. Experimental data and simulation models are used to optimize operational parameters such as temperature, pressure, and biomass composition to maximize hydrogen yield. The integration of gas cleaning and separation technologies is analyzed to improve hydrogen purity and process viability. The paper also discusses economic and policy factors influencing the adoption of biomass-based hydrogen production in North Africa. Challenges such as feedstock availability, tar formation, and scaling are addressed. The authors conclude that biomass gasification presents a promising, renewable alternative to fossil-based hydrogen, contributing to energy transition and climate goals. Recommendations include further research on catalyst development and system integration to enhance process sustainability and commercial feasibility.

Keywords: Green hydrogen, biomass gasification, renewable energy, hydrogen production, sustainable technology

SPATIAL MODELING OF SOIL EROSION IMPACTS ON WATER REGULATION IN THE HIGH ATLAS REGION

Laila Bensalem

Department of Environmental Science, Cadi Ayyad University, Morocco

Rachid El Amrani

Institute of Geography, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

Soil erosion significantly affects water regulation and ecosystem services, particularly in mountainous regions like the High Atlas. This study employs spatial modeling techniques to assess the impact of soil erosion on water retention and runoff patterns in this ecologically sensitive area. Using GIS and remote sensing data, soil erosion susceptibility maps were generated based on factors such as slope, land cover, rainfall intensity, and soil type. Hydrological models were integrated to simulate changes in water regulation services under various erosion scenarios. The results reveal critical zones where erosion severely compromises water availability and quality, threatening agriculture and local livelihoods. The study highlights the importance of sustainable land management practices and reforestation efforts to mitigate erosion effects. Policy implications are discussed, emphasizing the need for targeted interventions and community engagement in conservation. This research provides valuable insights for environmental planners and decision-makers aiming to preserve water resources and ecological balance in the High Atlas region.

Keywords: Soil erosion, water regulation, spatial modeling, GIS, High Atlas

DEEP LEARNING-BASED TRAFFIC SIGN RECOGNITION UNDER VARIABLE ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Ahmed Benali

Department of Computer Engineering, University of Rabat, Morocco

Yassine El Khatib

Faculty of Engineering, University of Marrakech, Morocco

Sara Alami

Department of Artificial Intelligence, Mohammed VI Polytechnic University, Morocco

ABSTRACT

Accurate traffic sign recognition is crucial for the safety and efficiency of autonomous vehicles and advanced driver-assistance systems (ADAS). This paper presents a deep learning-based approach to traffic sign recognition that performs robustly under variable environmental conditions such as rain, fog, and low light. The proposed convolutional neural network (CNN) architecture is trained on an extensive dataset augmented with synthetic environmental distortions to improve generalization. Experimental results demonstrate high accuracy and real-time processing capability, outperforming traditional computer vision methods. The study also evaluates the model's resilience to occlusions and partial visibility. Additionally, the paper discusses the integration of this recognition system into broader vehicular networks and its potential impact on traffic safety. Challenges related to dataset diversity and computational efficiency are addressed, with suggestions for future improvements. The research contributes to advancing intelligent transportation systems and promoting safer road environments.

Keywords: Traffic sign recognition, deep learning, convolutional neural networks, autonomous vehicles, environmental robustness

DC BUS VOLTAGE CONTROL AND POWER FACTOR IMPROVEMENT USING BIDIRECTIONAL CONVERTERS

Chinedu Okafor

Department of Electrical Engineering, University of Lagos, Nigeria

Amina Yusuf

Faculty of Engineering, Ahmadu Bello University, Nigeria

Emeka Nwosu

Department of Power Systems, University of Nigeria, Nsukka

ABSTRACT

This paper investigates the application of bidirectional converters for DC bus voltage control and power factor improvement in power electronic systems. The study presents a control strategy that enables efficient energy flow between DC and AC sides, stabilizing voltage levels and enhancing power quality. Simulation models demonstrate the effectiveness of the proposed approach in reducing voltage fluctuations and reactive power consumption under varying load conditions. Experimental validation using a prototype system confirms the theoretical findings. The paper discusses the implications for renewable energy integration, electric vehicles, and smart grid applications where stable DC bus voltage and high power factor are critical. Challenges such as converter losses, control complexity, and system scalability are analyzed. The research offers valuable insights for engineers designing advanced power conversion systems aimed at improving energy efficiency and grid stability.

Keywords: Bidirectional converters, DC bus voltage, power factor correction, power electronics, renewable energy

OPTIMIZING WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEMS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Moses Umiaghe

Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Benin, Nigeria

Chika Obi

Faculty of Engineering, Nnamdi Azikiwe University, Nigeria

ABSTRACT

Wireless power transfer (WPT) technology is gaining traction in industrial applications due to its potential to enhance operational flexibility and reduce maintenance costs. This paper focuses on optimizing WPT systems for industrial environments, addressing challenges such as power loss, electromagnetic interference, and alignment issues. Various WPT techniques, including inductive coupling and resonant magnetic coupling, are evaluated for efficiency and reliability. The study employs simulation and experimental setups to analyze system performance under different load conditions and distances. Results indicate that optimized coil design, frequency tuning, and adaptive control strategies significantly improve power transfer efficiency. The paper also explores integration with industrial automation systems and safety considerations. Recommendations for future research include exploring hybrid WPT systems and materials innovation to further enhance performance. This work contributes to advancing WPT adoption in manufacturing, logistics, and robotics sectors.

Keywords: Wireless power transfer, industrial applications, power efficiency, electromagnetic compatibility, system optimization

BRIDGING THE SKILLS GAP IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS EDUCATION FOR INDUSTRY READINESS IN RIVERS STATE

Ngozi Eze

Department of Technical Education, Rivers State University, Nigeria

Emeka Okeke

Faculty of Engineering, University of Port Harcourt, Nigeria

ABSTRACT

The rapid technological advancements in electrical and electronics industries demand a workforce equipped with relevant skills and competencies. This paper examines the existing skills gap in electrical and electronics education in Rivers State, Nigeria, and proposes strategies to enhance industry readiness among graduates. Through surveys and interviews with educators, students, and industry stakeholders, the study identifies deficiencies in curriculum content, practical training, and industry-academia collaboration. It highlights the mismatch between academic preparation and industry expectations, which hampers employability and productivity. The research advocates for curriculum modernization incorporating emerging technologies, increased hands-on learning opportunities, and strengthened partnerships with industry players. Additionally, it emphasizes the role of government policies and funding in supporting educational reforms. Case studies of successful initiatives are presented to illustrate best practices. The paper concludes that addressing the skills gap is essential for economic growth and technological innovation in Rivers State and beyond.

Keywords: Skills gap, electrical education, industry readiness, curriculum development, Nigeria

OPTIMIZATION OF SOLAR ENERGY HARVESTING SYSTEMS USING MONTE CARLO SIMULATIONS

Ahmed El-Sayed

Department of Renewable Energy, Cairo University, Egypt

Fatima Hassan

Department of Electrical Engineering, Cairo University, Egypt

Omar Khalil

Department of Mechanical Engineering, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

The growing demand for sustainable and efficient energy solutions has intensified research into optimizing solar energy harvesting systems. This study presents a comprehensive approach to enhancing the performance of photovoltaic (PV) systems by employing Monte Carlo simulations to model and optimize energy capture under varying environmental conditions. The purpose of this research is to develop a robust simulation framework that accounts for stochastic variations in solar irradiance, temperature, and panel orientation to predict system output more accurately. The methodology involves generating numerous random samples of environmental parameters and simulating their impact on the PV system's energy yield. Results indicate that Monte Carlo simulations provide significant insights into the probabilistic performance of solar panels, allowing for the identification of optimal configurations that maximize energy harvesting efficiency. The study also compares traditional deterministic models with the stochastic approach, demonstrating improved accuracy and reliability in system design. Furthermore, sensitivity analyses reveal key factors influencing system performance, guiding future engineering improvements. The conclusions emphasize the importance of incorporating uncertainty and variability into solar energy system design to enhance resilience and output. This research contributes to the field by offering a practical tool for engineers and policymakers aiming to implement more efficient solar energy solutions in diverse climatic regions.

Keywords: solar energy, Monte Carlo simulations, photovoltaic optimization, renewable energy, stochastic modeling

REMOTE SENSING-BASED SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN EXPANSION IN CASABLANCA (MOROCCO): ENVIRONMENTAL IMPACTS

Nadia Benali

Department of Geography, Mohammed V University, Morocco

Youssef El-Mahdi

Department of Environmental Science, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

Urban expansion in rapidly growing cities poses significant environmental challenges, particularly in coastal regions like Casablanca, Morocco. This research employs remote sensing techniques combined with spatio-temporal analysis to investigate the patterns and environmental impacts of urban growth over the past two decades. The study's objective is to quantify urban sprawl, identify hotspots of expansion, and assess associated effects on land use, vegetation cover, and local ecosystems. Satellite imagery from multiple time points was processed and analyzed using Geographic Information Systems (GIS) to map changes in urban footprint and natural habitats. Results reveal a marked increase in built-up areas, often encroaching on agricultural lands and green spaces, leading to habitat fragmentation and increased surface temperatures. The analysis highlights critical zones where urbanization pressures threaten biodiversity and exacerbate environmental degradation. The study also discusses implications for urban planning and sustainable development, emphasizing the need for integrated policies that balance growth with environmental conservation. By providing a detailed spatial and temporal perspective, this research offers valuable insights for decision-makers aiming to mitigate negative environmental consequences of urbanization in Casablanca and similar contexts worldwide.

Keywords: urban expansion, remote sensing, spatio-temporal analysis, environmental impact, Casablanca

EVALUATION OF GAMMA-RAY AND NEUTRON DISCRIMINATION TECHNIQUES IN SCINTILLATION DETECTORS

John O. Adeyemi

Department of Physics, University of Lagos, Nigeria

Chinedu Nwosu

Department of Nuclear Engineering, University of Lagos, Nigeria

Amina Yusuf

Department of Applied Physics, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Effective discrimination between gamma rays and neutrons is critical for applications in nuclear safety, medical imaging, and radiation detection. This study evaluates various discrimination techniques applied to scintillation detectors, focusing on their accuracy, efficiency, and practical implementation. The research aims to compare pulse shape discrimination (PSD), time-of-flight (TOF), and digital signal processing methods under controlled experimental conditions. Using a series of calibrated gamma and neutron sources, detector responses were recorded and analyzed to assess the ability of each technique to correctly identify radiation types. Results demonstrate that PSD methods offer high discrimination capability with relatively simple hardware requirements, while TOF provides superior accuracy but demands more complex instrumentation. Digital signal processing techniques show promise for real-time applications due to their flexibility and adaptability. The study also investigates the influence of detector material properties and electronic noise on discrimination performance. Conclusions highlight the trade-offs between accuracy, complexity, and cost, recommending specific techniques based on application needs. This research advances the understanding of scintillation detector optimization and supports the development of more reliable radiation detection systems.

Keywords: gamma-ray discrimination, neutron detection, scintillation detectors, pulse shape discrimination, radiation safety

MATHEMATICAL MODELING OF OXYGEN TRANSPORT IN HUMAN CIRCULATORY SYSTEM*i*

Chinedu Nwosu

Department of Biomedical Engineering, University of Lagos, Nigeria

Amina Yusuf

Department of Applied Mathematics, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Oxygen transport within the human circulatory system is a complex physiological process essential for cellular metabolism and overall health. This paper develops a detailed mathematical model to simulate oxygen delivery and consumption dynamics in blood flow through arteries, veins, and capillaries. The objective is to provide a quantitative framework that captures the interaction between oxygen diffusion, hemoglobin binding, and tissue uptake under various physiological conditions. The model incorporates differential equations describing convective transport, diffusion gradients, and biochemical reactions, solved using numerical methods. Validation is performed by comparing simulation results with experimental data from clinical studies. The findings reveal critical factors affecting oxygen availability, such as blood flow velocity, vessel geometry, and metabolic demand. Sensitivity analyses identify parameters that significantly influence oxygen transport efficiency, offering insights into pathological states like hypoxia and ischemia. The study's conclusions underscore the model's potential as a tool for medical research, diagnosis, and treatment planning, particularly in cardiovascular and respiratory disorders. By integrating physiological complexity with mathematical rigor, this work contributes to advancing computational medicine and personalized healthcare.

Keywords: oxygen transport, circulatory system, mathematical modeling, biomedical engineering, numerical simulation

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BAMBOO WOOD NANOFIBERS AND THEIR PHOTODEGRADATION EFFECTS ON DYES

Sara El-Mansouri

Department of Chemical Engineering, Hassan II University, Morocco

Rachid Bennis

Department of Materials Science, Hassan II University, Morocco

ABSTRACT

Nanofibers derived from bamboo wood represent a promising class of sustainable materials with potential applications in environmental remediation. This study focuses on the synthesis of bamboo wood nanofibers (BWNs) and investigates their photodegradation effects on organic dyes commonly found in industrial wastewater. The objective is to develop eco-friendly nanomaterials capable of enhancing dye degradation under light exposure. BWNs were extracted using chemical and mechanical treatments and characterized through scanning electron microscopy (SEM), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and X-ray diffraction (XRD) to determine their morphology and chemical properties. Photodegradation experiments were conducted by exposing dye solutions mixed with BWNs to simulated sunlight, monitoring dye concentration changes via UV-Vis spectroscopy. Results indicate that BWNs significantly accelerate dye breakdown compared to control samples, attributed to their high surface area and photocatalytic activity. The study also examines the influence of pH, nanofiber concentration, and light intensity on degradation efficiency. Findings suggest that bamboo nanofibers offer a sustainable and effective approach for wastewater treatment, reducing environmental pollution. The research contributes to the development of green nanotechnology and supports the valorization of bamboo as a renewable resource.

Keywords: bamboo nanofibers, photodegradation, wastewater treatment, dye removal, sustainable materials

EXPERIMENTAL AND PROBABILISTIC STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D-PRINTED CONDUCTIVE POLYMERS

Olufemi Adewale

Department of Mechanical Engineering, University of Ibadan, Nigeria

Kemi Olatunji

Department of Materials Science, University of Ibadan, Nigeria

ABSTRACT

The advent of 3D printing technology has opened new avenues for fabricating conductive polymers with tailored mechanical properties for electronic and structural applications. This study presents an experimental and probabilistic investigation into the mechanical behavior of 3D-printed conductive polymer composites. The research aims to characterize tensile strength, elasticity, and durability under varying printing parameters and environmental conditions. Specimens were fabricated using fused deposition modeling (FDM) with different polymer blends and conductive fillers. Mechanical tests, including tensile and flexural assessments, were performed following standardized protocols. Statistical methods were applied to analyze variability and predict performance reliability. Results reveal that printing orientation, filler concentration, and post-processing significantly affect mechanical properties. Probabilistic models developed in the study enable prediction of failure probabilities under different stress scenarios, providing valuable information for design optimization. The conclusions emphasize the importance of integrating experimental data with probabilistic analysis to enhance the reliability of 3D-printed conductive materials. This research supports the advancement of additive manufacturing in producing functional and durable polymer components for diverse industrial uses.

Keywords: 3D printing, conductive polymers, mechanical properties, probabilistic modeling, additive manufacturing

ANALYSIS OF LAST-MILE TRANSPORTATION ISSUES FACED BY AIRPORT PASSENGERS IN NIGERIA

Kehinde Azeezat Shodipo
Department of Transport Studies, University of Lagos, Nigeria
Abdul-Rahman Taiwo Ajala
Department of Urban Planning, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Last-mile transportation remains a critical challenge for airport passengers in Nigeria, impacting travel efficiency, comfort, and overall satisfaction. This study investigates the specific issues faced by travelers during the final leg of their airport journeys, including accessibility, availability, cost, and safety of transport options. The research employs surveys and interviews with passengers at major Nigerian airports to collect qualitative and quantitative data on travel patterns and preferences. Geographic information system (GIS) tools are used to map transport networks and identify service gaps. Findings indicate significant deficiencies in public transport connectivity, inadequate infrastructure, and high reliance on informal transport modes. The study also explores the socio-economic factors influencing passenger choices and the implications for airport accessibility. Recommendations include improving multimodal integration, enhancing regulatory frameworks, and investing in infrastructure development to facilitate smoother last-mile connections. The paper contributes to transportation planning literature by highlighting context-specific challenges in developing countries and proposing practical solutions to improve passenger experience and urban mobility.

Keywords: last-mile transportation, airport passengers, Nigeria, transport accessibility, urban mobility

PSYCHOLOGICAL IMPACT AND PROJECT OUTCOMES: A MODERATED MEDIATION ANALYSIS IN CONSTRUCTION INDUSTRY

Maria Petrova

Department of Industrial Psychology, Technical University of Sofia, Bulgaria

ABSTRACT

This study investigates the psychological impact of workplace stressors on project outcomes within the construction industry, employing a moderated mediation analysis to understand complex relationships among variables. Construction projects are often high-pressure environments characterized by tight deadlines, safety risks, and fluctuating team dynamics, which can negatively affect workers' mental health. The research aims to examine how psychological factors such as stress, job satisfaction, and emotional exhaustion influence project performance, while also exploring the moderating role of organizational support. Data were collected from 350 construction professionals across multiple projects using standardized questionnaires and performance metrics. The analysis reveals that psychological stress significantly mediates the relationship between job demands and project outcomes, with organizational support buffering this effect. Findings suggest that supportive management practices and mental health interventions can improve both employee well-being and project success. The study contributes to construction management literature by highlighting the importance of addressing psychological factors to enhance productivity and reduce turnover. Practical recommendations include implementing stress management programs and fostering positive workplace cultures. This research underscores the critical need for integrating psychological considerations into project planning and execution to achieve sustainable performance in the construction sector.

Keywords: psychological impact, construction industry, project outcomes, organizational support, stress management

YOLOV8-BASED AUTOMATED PAVEMENT CRACK IDENTIFICATION USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

Assoc. Prof. Dr. Sophie Jorio
Department of Civil Engineering, University of Lyon, France

ABSTRACT

The maintenance of road infrastructure is vital for transportation safety and efficiency, with pavement crack detection being a key component. This study presents an automated pavement crack identification system based on the YOLOv8 deep learning model combined with advanced image processing techniques. The objective is to improve the accuracy and speed of crack detection compared to traditional manual inspections, which are time-consuming and subjective. A large dataset of pavement images was collected under varying environmental conditions and annotated for training the model. The YOLOv8 algorithm was optimized to detect cracks of different sizes and types, including longitudinal, transverse, and alligator cracks. Image preprocessing steps such as noise reduction and contrast enhancement were applied to improve detection performance. Experimental results demonstrate that the proposed system achieves high precision and recall rates, outperforming previous models in both accuracy and computational efficiency. The automated approach offers a scalable solution for real-time monitoring and maintenance planning, reducing costs and enhancing road safety. The study also discusses challenges related to lighting variations and surface textures, proposing future improvements for robustness. This research contributes to smart infrastructure management by integrating state-of-the-art AI techniques with practical engineering applications.

Keywords: YOLOv8, pavement crack detection, image processing, deep learning, infrastructure maintenance

THERAPEUTIC COUCH DYNAMICS IN MODERN PSYCHOTHERAPY PRACTICES

Andrei Popescu

Department of Clinical Psychology, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

The therapeutic couch has long been a symbolic and functional element in psychotherapy, influencing the dynamics between therapist and client. This paper explores the evolving role of the therapeutic couch in modern psychotherapy practices, examining its psychological and relational significance. Drawing on qualitative interviews with psychotherapists and clients, as well as observational studies, the research investigates how the physical setting, including the use of the couch, affects therapeutic alliance, client comfort, and disclosure. The study highlights that while some therapists maintain traditional use of the couch to facilitate free association and reduce eye contact, others adapt or reject it to foster more egalitarian and interactive sessions. The findings suggest that the couch's role is context-dependent and intertwined with therapeutic modality, client preferences, and cultural factors. Additionally, the paper discusses the symbolic meanings attributed to the couch and its impact on transference and countertransference processes. The research contributes to understanding how physical space shapes therapeutic encounters and offers recommendations for flexible use of therapy settings to optimize treatment outcomes. This study emphasizes the importance of therapist awareness of environmental factors as part of holistic psychotherapy practice.

Keywords: therapeutic couch, psychotherapy, therapeutic alliance, clinical psychology, therapy environment

SUSTAINABLE IRRIGATION METHODS INCORPORATING ANTI-EROSION MEASURES

Dr. Nino Beridze

Department of Environmental Engineering, Tbilisi State University, Georgia

ABSTRACT

Sustainable irrigation is critical for ensuring agricultural productivity while preserving soil integrity and preventing erosion. This study evaluates innovative irrigation methods that integrate anti-erosion measures to enhance water efficiency and soil conservation. The research focuses on drip and sprinkler irrigation systems combined with contour farming, vegetative barriers, and soil cover techniques in diverse climatic zones. Field experiments were conducted over two growing seasons to measure water usage, soil loss, and crop yield under different irrigation and erosion control treatments. Results indicate that combining sustainable irrigation with anti-erosion practices significantly reduces runoff and soil degradation while maintaining or improving crop productivity. The study also assesses economic feasibility and environmental benefits, emphasizing the role of farmer education and policy support in adoption. Challenges such as initial investment costs and maintenance requirements are discussed. This research contributes to sustainable agriculture by providing practical guidelines for integrating water management and soil conservation, promoting long-term land productivity and ecosystem health. The findings support policy initiatives aimed at climate resilience and resource-efficient farming in vulnerable regions.

Keywords: sustainable irrigation, soil erosion, water conservation, agriculture, environmental engineering

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE STRENGTH WITH CEMENT PARTIALLY REPLACED BY BLACK CARBON AND TiO₂ ADDITIVES

Ravi Kumar

Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Delhi, India

ABSTRACT

This experimental study investigates the effects of partially replacing cement with black carbon and titanium dioxide (TiO₂) additives on the mechanical properties of concrete. The objective is to enhance concrete strength and durability while reducing environmental impact by lowering cement consumption. Various concrete mixes were prepared with different proportions of black carbon and TiO₂, and subjected to compressive strength, flexural strength, and durability tests over curing periods of 7, 14, and 28 days. Results show that certain replacement levels improve compressive strength and resistance to environmental degradation compared to conventional concrete. The photocatalytic properties of TiO₂ also contribute to self-cleaning and pollution reduction effects. Microstructural analysis reveals improved bonding and reduced porosity in modified mixes. The study discusses optimal additive ratios and potential applications in sustainable construction. Limitations related to workability and cost implications are addressed. This research advances knowledge on eco-friendly concrete materials, offering pathways to greener infrastructure development.

Keywords: concrete strength, black carbon, titanium dioxide, sustainable construction, material additives

ASSESSING THE IMPACT OF UNREGULATED SOLID WASTE MANAGEMENT IN KADUNA URBAN AREAS

Chinedu Okafor

Department of Environmental Science, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria

ABSTRACT

Unregulated solid waste management poses significant environmental and public health risks in rapidly urbanizing areas. This study assesses the impact of informal and poorly managed waste disposal practices in Kaduna urban areas, Nigeria. Using field surveys, waste characterization, and community interviews, the research documents the types, sources, and quantities of solid waste generated, along with disposal methods and their consequences. Findings reveal widespread open dumping, inadequate collection services, and burning of waste, leading to soil, water, and air pollution. The study highlights health issues such as respiratory diseases and vector-borne illnesses linked to poor waste management. It also examines socio-economic factors contributing to the persistence of unregulated practices, including lack of infrastructure, policy enforcement, and public awareness. Recommendations include strengthening municipal waste services, promoting recycling initiatives, and implementing community-based waste management programs. The research underscores the urgent need for integrated solid waste management strategies to improve urban environmental quality and public health in Kaduna and similar contexts.

Keywords: solid waste management, urban pollution, public health, Kaduna, environmental policy

DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSING IN LOW-INCOME COMMUNITIES

Dr. Fatima Abiola

Department of Architecture, University of Lagos, Nigeria

ABSTRACT

Energy-efficient housing design is essential for reducing energy consumption and improving living conditions in low-income communities. This paper explores design strategies tailored to the socio-economic and climatic contexts of such communities, focusing on passive cooling, natural lighting, insulation, and use of locally available materials. The study involves case analyses of existing housing projects and simulations to evaluate thermal performance and energy savings. Results demonstrate that incorporating vernacular architectural elements and innovative low-cost technologies can significantly reduce reliance on mechanical cooling and artificial lighting. The research also addresses challenges such as affordability, cultural acceptance, and scalability. Community engagement and participatory design emerge as critical factors for successful implementation. The paper advocates for policy frameworks that incentivize sustainable housing development and capacity building among local builders. By promoting energy-efficient design, this study contributes to environmental sustainability, economic resilience, and improved quality of life for marginalized populations.

Keywords: energy-efficient housing, low-income communities, sustainable design, passive cooling, architecture